

# Die Küste

ARCHIV  
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK  
AN DER NORD- UND OSTSEE

ARCHIVE  
FOR RESEARCH AND TECHNOLOGY  
ON THE NORTH SEA AND BALTIC COAST



3950-A-2012-0000054

# Die Küste

**ARCHIV  
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK  
AN DER NORD- UND OSTSEE**

**ARCHIVE  
FOR RESEARCH AND TECHNOLOGY  
ON THE NORTH SEA AND BALTIC COAST**

**HERAUSGEBER:  
KURATORIUM FÜR FORSCHUNG IM KÜSTENINGENIEURWESEN**

**Heft 46 – 1988**

**DRUCK UND KOMMISSIONSVERLAG:  
WESTHOLSTEINISCHE VERLAGSANSTALT BOYENS & CO. HEIDE I. HOLST.**

ISSN 0452-7739  
ISBN 3-8042-0447-3

---

Nachdruck aus dem Inhalt nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet: Kuratorium für Forschung  
im Küsteningenieurwesen.

Vorsitzender: Erster Baudirektor Dr.-Ing. GÖHREN, Dalmannstraße 1-3, 2000 Hamburg 11.

Geschäftsführer: Dr.-Ing. Heinz WISMER, Hindenburgufer 247, 2300 Kiel.

Schriftleiter: Dr.-Ing. Harald GÖHREN, Dalmannstraße 1-3, 2000 Hamburg 11.

## Inhaltsverzeichnis

### Vorwort

REINKE, JOHANN THEODOR:

Ueber die Ebbe- und Fluth-Observationen auf der Elbe  
(Nachdruck aus: Hamburgische Adreß-Comptoir-Nachrichten 1786 + 1787 mit  
ergänzenden Anmerkungen von Dr.-Ing. HANS RÖHDE) . . . . . 001

WOLTMAN, REINHARD:

Einige Bemerkungen über die hohe Sturmfluth in der Nacht vom 3<sup>ten</sup> auf den 4<sup>ten</sup>  
Februar 1825, und über die dadurch verursachten Deichbrüche und Ueberschwem-  
mungen  
(Nachdruck aus: Hannoversches Magazin 1825 mit ergänzenden Anmerkungen  
von Dr.-Ing. HARALD GÖHREN) . . . . . 005

HÜBBE, HEINRICH:

Einige Wasserstands-Beobachtungen im Fluthgebiete des Elbstromes  
(Hamburg, auszugsweiser Nachdruck von 1842 mit ergänzenden Anmerkungen  
von Prof. Dr.-Ing. WINFRIED SIEFERT) . . . . . 019

HÜBBE, HEINRICH:

Erfahrungen und Beobachtungen im Gebiete der Strombaukunst, 1. Theil  
(Hamburg, auszugsweiser Nachdruck von 1853 mit ergänzenden Anmerkungen  
von Prof. Dr.-Ing. WINFRIED SIEFERT) . . . . . 049

DALMANN, JOHANNES:

Ueber Stromcorrectionen im Fluthgebiet  
(Hamburg, auszugsweiser Nachdruck von 1856 mit ergänzenden Anmerkungen  
von Prof. Dr.-Ing. WINFRIED SIEFERT) . . . . . 095

HÜBBE, HEINRICH:

Ueber die Eigenschaften und das Verhalten des Schlicks  
(Nachdruck aus: Zeitschrift für Bauwesen 1860 mit ergänzenden Anmerkungen  
von Dr.-Ing. HERMANN CHRISTIANSEN) . . . . . 125

HÜBBE, HEINRICH:

Von der Beschaffenheit und dem Verhalten des Sandes  
(Nachdruck aus: Zeitschrift für Bauwesen 1861 mit ergänzenden Anmerkungen  
von Dr.-Ing. ALFRED FÜHRBÖTER) . . . . . 151

LENTZ, HUGO:

Strömung und Salzgehalt der Elbe bei Cuxhaven  
(Nachdruck aus: Zeitschrift für Bauwesen 1888 mit ergänzenden Anmerkungen  
von Dr.-Ing. HEINZ WISMER) . . . . . 209

## Vorwort

Das KURATORIUM FÜR FORSCHUNG IM KÜSTENINGENIEURWESEN hat auf seiner 32. Sitzung den Vorschlag aufgegriffen, einige herausragende ältere Arbeiten aus dem Sachgebiet des Küsteningenieurwesens nachzudrucken. Es sind Arbeiten, die in den Archiven allmählich in Vergessenheit geraten. Sie sind es aber wert, der jetzt an der Küste tätigen Ingenieur-Generation im Rückblick zu zeigen, wie schon unsere Vorfahren bemüht waren, für Wasserbauarbeiten im Küstenraum nicht nur technische Lösungen zu suchen, sondern als unerläßliche Grundlagen dafür die Naturkräfte in ihrem komplexen Wechselspiel zu erforschen und zu verstehen. Der Leser dieser alten Schriften wird immer wieder mit Respekt feststellen, mit welch einfachen Hilfsmitteln die „Küsteningenieure“ voriger Jahrhunderte zum Teil arbeiten mußten, wie weitgehend aber auch schon zu ihrer Zeit Erkenntnisse gewonnen und verwertet wurden, die heute noch uneingeschränkt gültig sind.

Für das vorliegende Heft sind 8 Aufsätze Hamburger Wasserbauer ausgewählt worden. Es handelt sich um Männer, die als Wasserbaudirektoren oder Wasserbauinspektoren für die Entwicklung des Hamburger Hafens maßgebend verantwortlich waren, und zwar:

JOHANN THEODOR REINKE

Strom- und Kanalbaudirektor in Hamburg von 1796–1814

REINHARD WOLTMAN

Direktor der Strom- und Uferwerke in Hamburg von 1814–1836

HEINRICH HÜBBE

Wasserbaudirektor in Hamburg von 1836–1856

JOHANNES CHRISTIAN WILHELM DALMANN

Wasserbaudirektor in Hamburg von 1858–1875

HUGO LENTZ

Wasserbauinspektor in Cuxhaven von 1864–1902

M. KRAUSE (Die Küste, Jahrgang 9, 1961) hat die Lebensbilder dieser Wasserbauingenieure gezeichnet und ihre wissenschaftlichen Arbeiten zusammengestellt.

Wenn WOLTMAN, HÜBBE, DALMANN und LENTZ sich wissenschaftlichen Fragen des Küsteningenieurwesens widmeten, so lag das nicht zuletzt an dem besonderen Aufgabenfeld, das die reichsfreie Hansestadt Hamburg über die Jahrhunderte hinweg auf dem Gebiet des Wasserbaus zu bewältigen hatte. Sie mußte im Stromspaltungsgebiet der Elbe am Übergang des Binnenflusses in das Tideregime gewaltige Strombauarbeiten planen und durchführen, um den Hafen jederzeit schiffbar zu erhalten. Hamburg unterstand ferner der gesamte Elbestrom bis zur Mündung, und zwar bis 1921 (Abgabe an die Reichswasserstraßenverwaltung). In der Elbmündung gehörte seit 1310 Neuwerk zu Hamburg und erforderte als kleine Marscheninsel weit draußen vor der Küste ständigen Aufwand für den Küstenschutz. Seit 1394 (bis 1936) gehörte außerdem das „Amt Ritzebüttel“ (das heutige Cuxhaven mit einigen umgebenden Dörfern) als Gebietsexklave zu Hamburg und erforderte gleichfalls mit seinem Hafen und seinen exponierten Küstenabschnitten aufwendige Arbeiten im Deichbau, in der Vorland-sicherung und im Hafenaufbau.

So war diesen Männern eine Aufgabe anvertraut, in der sich Strombau, Hafenaufbau und Küstenschutz vereinigten, und zwar am größten deutschen Tidefluß, von der Tidegrenze bis in seine Mündung, weit in die Nordsee hinein. Zweifellos hat dies ihr weitgespanntes Interesse für die wissenschaftlichen Fragen des Küsteningenieurwesens im besonderen Maße geweckt und Leistungen gefordert, denen wir heute noch Anerkennung zollen können.

Der Schriftleiter

## Ueber die Ebbe- und Fluth-Observationen auf der Elbe<sup>1)</sup>

VON JOHANN THEODOR REINKE

*Ich bin schon oft befraget worden, warum wöchentlich neben den Wetterbeobachtungen die Zeit der Fluth und Ebbe, oder des Wasserstandes, Erwähnung geschehe. Ich kann es auch manchem Leser nicht verdenken, wenn er wol gar glauben mögte, daß diese Beobachtungen eben nicht verdienten in diesen Blättern eingerückt zu werden, da sie in unseren Kalendern das ganze Jahr hindurch vorher angegeben sind. Daß aber eben bei dieser Angabe sehr große Unrichtigkeiten vorgehen, und, um diesen abzuhelpen, genaue Beobachtungen des Wasserstandes und die Zeiten, wenn solche eintreten, allerdings nöthig und nützlich sind, wird der Leser aus folgendem Aufsätze, der den Herrn RHEINEKE zum Verfasser hat, hinlänglich ersetzen.*

*Ueber diese so merkwürdige Naturbegebenheit und deren Ursache, werde ich in diesen Blättern bald eine umständliche Abhandlung liefern.*

BRODHAGEN.

Seit den 19ten Januar 1786 werden hier in Hamburg beim Niederbaum täglich Beobachtungen der Ebbe und Fluth angestellt, wobei aufs sorgfältigste angemerkt wird: 1) Die Zeit des hohen und des niedrigen Wassers, oder des Eintritts der Ebbe und Fluth; 2) Der jedesmalige höchste und niedrigste Wasserstand an der Scala; 3) Was auf Ebbe und Fluth Einfluß hat, als die Richtung und Stärke des Windes, das Oberwasser, u.s.w.

Das hauptsächlichste hiervon ist neben den Wetterbeobachtungen in den Adreßblättern bekant gemacht worden; und wiewohl zu einer möglichst genauen Vorherbestimmung der Zeit und der Größe der ordinären Fluth eine noch weit größere Anzahl von Beobachtungen erfordert werden, so ist man doch schon im Stande, aus den bisherigen folgendes mit einiger Gewißheit anzugeben.

Bei Neu- und Vollmond ist der Eintritt der Fluth um 0 Uhr 48 Minuten; und der Ebbe um 5 Uhr 6 Minuten.

Bei dem ersten und letzten Viertel ist der Eintritt der Fluth um 5 Uhr 31 Minuten, und der Ebbe um 9 Uhr 49 Minuten. Die Dauer der Fluth beträgt 4 Stunden und 18 Minuten; und die Dauer der Ebbe 8 Stunden und 6 Minuten.

Die Größe der ordinären Fluth beträgt 6 Fuß 8 Zoll; und die Größe der Springfluth 7 Fuß 3 Zoll.

Wegen der Scala, woran die Wasserstände bisher beobachtet worden, ist zu bemerken: daß dieselbe schon seit einigen Jahren vorhanden war, ohne daß sie zu ordentlichen Beobachtungen gebraucht wurde. Es ist nämlich an den Pfählen beim Niederbaum (woselbst auch bei stürmischem Wetter das Wasser ziemlich ruhig ist) ein hinlängs sich starkes Bret vertikal befestiget. Auf demselben ist eine Scala von hamburger Fußmaß getragen, und der Fuß ist, wie gewöhnlich, in 12 Zolle eingetheilet. Der Nullpunkt, d. i. der Punkt, wo sich die Eintheilung von unten herauf anfängt, ist so eingerichtet, daß er mit der höchsten Stelle der Einfahrt des Havens übereinstimmen sollte, welches aber gegenwärtig nicht mehr zutrifft.

Gewöhnlich pflegt man aber bei einem Fluthmesser den Nullpunkt auf ordinär niedrig Wasser zu setzen, welches an diesem Fluthmesser auf 6 Fuß 6 Zoll fällt. Z. E. wenn es in den

<sup>1)</sup> aus: Hamburgische Adreß-Comtoir-Nachrichten 1786 und 1787, Nr. 36

bisherigen Angaben heißt: das Wasser stand auf 6 Fuß 2 Zoll; so sollte hierunter eigentlich verstanden werden: das Wasser stand auf Null. Man würde auch den Nullpunkt der Scala gleich Anfangs an seinen Ort gesetzt, das ist, einen ordentlichen Fluthmesser errichtet haben, wenn hiezu hinlängliche Beobachtungen vorhanden gewesen wären. Da man nun aber die Beobachtungen während 15 Monaten gesamlet; so konte hieraus der Nullpunkt mit Zuverlässigkeit bestimt werden; und man hat nach dieser Bestimmung einen neuen Fluthmesser errichtet, nach welchem künftig, die Wasserstände bemerkt werden sollen. Nach dieser neuen Scala fällt das ordinäre niedrige Wasser auf Null, und das ordinäre hohe Wasser auf 6 Fuß 8 Zoll, wenn nämlich weder Wind noch Oberwasser keine Wirkung auf dasselbe haben. Fällt nun das Wasser niedriger als ordinär, so heist dieses, es stehe am Fluthmesser unter Null.

Der Nutzen solcher Ebbe- und Fluthbeobachtungen ist mancherlei, denn

1) ist es für alle, die auf den Strom verkehren müssen, sehr interessant zu wissen, um welche Zeit an einem gegebenen Tage die Fluth oder Ebbe eintreten wird. Daß man solches aus unserm Kalender nur sehr unvollkommen bestimmen kann, läßt sich mit unzähligen Beispielen beweisen, wovon wir nur eins zur Probe anführen wollen. Den 17ten August 1786 solte es nach dem Kalender Fluth werden um 7 Uhr; und Ebbe um 12 Uhr. Die Fluth trat aber schon ein um 5 Uhr 30 M., und die Ebbe erfolgte schon um 9 Uhr 48 M. Mithin hatte der Kalender die Fluth um eine Stunde 30 M., und die Ebbe um 2 Stunden 12 M. zu spät angegeben. Hätte man nach unsern bisherigen Wahrnehmungen (in so weit es nach so wenigen Observazionen bis izt noch möglich ist) die Zeit berechnet, so würde sich gefunden haben, für die Zeit der Fluth 5 Uhr 44 M., und der Ebbe 10 Uhr 2 M., welches sowohl bei Fluth als Ebbe nur 14 M. von der Beobachtung abweicht.

Es leidet keinen Zweifel, daß man in Vorherbestimmung der Fluth- und Ebbezeit dem Ziele nicht noch viel näher kommen werde. Daß aber hiezu fortgesetzte Observazionen von mehreren Jahren erfordert werden, wird jeder begreifen, der es weiß, wie sorgfältig ein Beobachter seyn müsse, den Gang einer Naturbegebenheit auszuspähen.

2) Es ist sehr interessant, zu wissen, wie tief das Wasser bei außerordentlichen Eräugnissen fallen, und wie hoch es bei einer Sturmfluth steigen könne. Ein solcher außerordentlich niedriger Wasserstand war am 17ten November 1786. Das Wasser war um 3 Fuß 11 Zoll niedriger, als ordinär. Man hat Ursache, zu vermuthen, daß das Wasser schwerlich niedriger kommen möchte. Eine außerordentliche Sturmfluth war am 8ten Oktober 1756, welche unsers Wissens die höchste ist, die durch Beobachtung aufbewahrt worden. Sie ist nämlich in der alten Kunst am Graskeller bemerkt, und durch nivelliren auf unserm neuen Fluthmesser reducirt, wo sie auf 18 Fuß 6 Zoll trift.

Beim Bau der Vorsetzen, Anlegung der Keller und Packräume ist solches genau zu wissen von gutem Nutzen.

3) Beim Deichwesen und Wasserbau überhaupt sind richtige Fluth- und Ebbe-Observazionen unentbehrlich. Man ist ohne solche nicht im Stande, einen Deich gründlich zu beurtheilen, und seine Theile richtig zu bestimmen. Beim Schleusenbau fragt es sich vorzüglich, wie tief man den Schleusenboden legen muß, damit die größte Wassermenge ausfließen könne? Ohne fortgesetzte Beobachtungen des niedrigen Wassers verfährt man aufs Gerathewohl.

4) Bei Sondirungen des Stroms und des Havens ist es allerdings nothwendig, die eigentlichen Punkte des ordinären hohen und niedrigen Wassers zu wissen. Ohne solche geschehn alle Sondirungen blindlings und sind sehr zweifelhaft.

Erste Tabelle Über die Fluth- und Ebbebeobachtungen aus dem Jahrgang 1786

| Januar.    |        |      | Wasserhöhen. |        | Witterungen. |         |                                    |
|------------|--------|------|--------------|--------|--------------|---------|------------------------------------|
| Tage.      | Uhr.   | Min. | Fuß.         | Zoll.  | Wind.        | Wetter. |                                    |
| Sonntag    | 22. V. | 10   | 0            | Eb. 13 | 3            | S.S.W.  | schwacher Wind.                    |
|            | N.     | 4    | 45           | Fl. 7  | 9            | S.S.W.  | schwacher Wind.                    |
| Montag     | 23. V. | 10   | 15           | Eb. 13 | 9            | S.W.    | schwacher Wind.                    |
| Dienstag   | 24. V. | 11   | 30           | Eb. 13 | 6            | S.W.    | mittelmäßiger Wind.                |
| Mittwoch   | 25. N. | 12   | 30           | Eb. 15 | 5            | S.W.    | starker Wind.                      |
| Donnerstag | 26. V. | 8    | 30           | Fl. 8  | 0            | W.S.W.  | Sturm.                             |
|            | N.     | 1    | 30           | Eb. 15 | 0            | W.S.W.  | Sturm.                             |
| Freitag    | 27. V. | 10   | 0            | Fl. 9  | 10           | W.S.W.  | Sturm und Regen.                   |
|            | N.     | 2    | 48           | Eb. 15 | 4            | N.W.    | starker Wind.                      |
| Sonnabend  | 28. V. | 11   | 35           | Fl. 10 | 0            | S.W.    | starker Wind.                      |
|            | N.     | 3    | 44           | Eb. 15 | 5            | W.S.W.  | Sturm.                             |
| Sonntag    | 29. N. | 12   | 32           | Fl. 9  | 8            | S.W.    | mittelmäßiger Wind, Regen.         |
|            | V.     | 4    | 28           | Eb. 15 | 5            | W.S.W.  | mittelmäßiger Wind, neblicht.      |
| Montag     | 30. V. | 12   | 50           | Fl. 9  | 7            | W.S.W.  | stürmisch.                         |
|            | N.     | 4    | 55           | Eb. 15 | 4            | W.S.W.  | stürmisch.                         |
| Dienstag   | 31. V. | 1    | 51           | Fl. 8  | ½            | S.W.    | schwacher Wind, neblicht u. Regen. |
|            | N.     | 5    | 48           | Eb. 14 | 10           | S.W.    | schwacher Wind, neblicht u. Regen. |
| Februar    |        |      |              |        |              |         |                                    |
| Mittwoch   | 1. V.  | 6    | 30           | Eb. 16 | 3            | W.S.W.  | starker Wind und Regen.            |
|            | N.     | 2    | 34           | Fl. 10 | 0            | W.S.W.  | Sturm und Regen.                   |
| Donnerstag | 2. V.  | 7    | 15           | Eb. 18 | 7            | N.W.    | stürmisch, Schnee.                 |
|            | N.     | 3    | 0            | Fl. 12 | 4            | N.N.W.  | starker Wind.                      |
| Freitag    | 3. V.  | 7    | 12           | Eb. 16 | 2            | O.N.O.  | mittelmäßiger Wind, Frost.         |
|            | N.     | 4    | 10           | Fl. 9  | 0            | O.N.O.  | starker Wind.                      |
| Sonnabend  | 4. V.  | 8    | 6            | Eb. 15 | ½            | S.O.    | mittelmäßiger Wind.                |
|            | N.     | 4    | 25           | Fl. 7  | 5½           | S.S.W.  | starker Wind und Schnee.           |

*Diese Beobachtungen, wozu der Herr RHEINKE die erste Veranlassung gegeben hat, und unter dessen Aufsicht sie eigentlich fortgesetzt wurden, haben vorzüglich zum Zwecke, eine richtige und genaue Bestimmung anzugeben, in wie weit die bisherigen Angaben für die Fluthzeiten zu Hamburg richtig sind. Dies läßt sich aber nicht anders, als durch eine Reihe von Beobachtungen, die miteinander verglichen werden müssen, erhalten. Daraus wird man alsdann den Punkt des ordinären niedrigen und den des ordinären hohen Wassers aufmachen können, und es soll alsdann ein vollständiger Fluthmesser gesetzt werden. Auch wird man in diesem Blatte einige allgemeine Betrachtungen über die Beobachtungen der Ebbe und Fluth mittheilen. – Diese Beobachtungen werden täglich beim Niederbaume gemacht.*

*Ich werde sie in der Folge aller Montage mit zu meinen Wetterbeobachtungen ziehen, wo der Leser sie von der Woche vorher mit einemmal übersehen kann.*

BRODHAGEN.

V. und N. bedeutet Vor- und Nachmittag. Fl. Eb. heißt Fluth und Ebbe.

*Ergänzende Anmerkungen zu REINKES Aufsatz: „Ueber die Ebbe- und Fluth-Observationen auf der Elbe“*

(von Dr.-Ing. HANS ROHDE, Hamburg)

In der seit 1767 in Hamburg erscheinenden Zeitung „Hamburgische Adreß-Comtoir-Nachrichten“ wurden von 1774 an tägliche Wetterbeobachtungen veröffentlicht, insbesondere Luftdruck- und Temperaturangaben. Vom 22. Januar 1786 an enthält die Zeitung zusätzlich Angaben über Höhen und Eintrittszeiten von Thw und Tnw, in der Regel in wöchentlichen Zusammenstellungen. Die erste derartige Zusammenstellung von Seite 92 des Jahrganges 1786 ist vorstehend wiedergegeben. Am Schluß der Tabelle gibt der Herausgeber P. H. C. BRODHAGEN, „Lehrer und Aufseher der Handlungsakademie“, einige Erläuterungen zu der Veröffentlichung der Wasserstandsbeobachtungen.

Der Pegel befand sich am „Niederbaum“, der Einfahrt zum Hamburger Hafen. Mit dem „Niederbaum“ konnte die enge, durch Pfahlwerke gebildete Hafeneinfahrt gesperrt werden. Das „Blockhaus“ am Ende der oberstromigen Pfahlreihe, zu der eine Zugangsbrücke von der Bastion Georgius führte, beherbergte Zollstation und militärische Wache. Da die Station ständig besetzt war, und eine Treppe zum Wasser führte, war das Blockhaus am Niederbaum der ideale Ort für einen Pegel. Der erste Pegelbeobachter war ein Korporal OTTE, der wahrscheinlich zur Wachmannschaft gehörte.

Nachdem der Pegel gut ein Jahr in Betrieb war, veröffentlichte REINKE seine Abhandlung in den Adreß-Comt. Nachrichten, Ausgabe vom 7. Mai 1787. Wie BRODHAGEN in der kurzen Vorbemerkung dazu mitteilte, war er schon mehrfach gefragt worden, wozu eigentlich Wasserstandsbeobachtungen ausgeführt und veröffentlicht würden. Das sollte durch die Abhandlung von Reinke erläutert werden. Daß die Abhandlung gerade in der genannten Ausgabe der Zeitung erschien, hatte seinen Grund darin, weil von der nächsten Ausgabe an die Wasserstände auf einen neuen Nullpunkt bezogen werden sollten. Die Veröffentlichung in dieser Form erfolgte bis zum Januar 1808.

Wenn der Hamburger Pegel am Niederbaum auch nicht der älteste im deutschen Küstengebiet der Nordsee war und auch ältere Wasserstandsaufzeichnungen bekannt sind (z. B. von BRAHMS bei Sande vor 1754, von TETENS bei Brunsbüttel 1781 und von WOLTMAN bei Cuxhaven 1784), so ist doch der Aufsatz von REINKE die erste Abhandlung, die sich mit der Veröffentlichung von regelmäßigen Wasserstandsbeobachtungen im Tidegebiet befaßt. Die dort angeführten Erläuterungen und Begründungen haben auch heute noch Gültigkeit und können als klassisch bezeichnet werden. (Weitere Einzelheiten zu den Pegelbeobachtungen am Niederbaum und allgemein zu früheren Wasserstandsbeobachtungen im Tidegebiet mit zahlreichen Literaturhinweisen in: Die Küste, 1975, 28, S. 1-96 und 1977, 30, S. 64-74)

## **Einige Bemerkungen über die hohe Sturmfluth in der Nacht vom 3<sup>ten</sup> auf den 4<sup>ten</sup> Februar 1825, und über die dadurch verursachten Deichbrüche und Ueberschwemmungen<sup>1)</sup>**

VON REINHARD WOLTMAN

Es ist nicht die Absicht, hier eine Beschreibung von den vielen Deichbrüchen und Deichschäden, von daraus entstandenen Ueberschwemmungen und mit diesen verbundenem Verlust an Habe und Gütern zu geben; noch weniger zu erzählen, wie den Nothleidenden überall hülfreiche Hände und wohlthätige Unterstützungen sind gereicht worden; man findet hierüber manche interessante Nachrichten in der kürzlich herausgekommenen *Beschreibung der Sturmfluthen an den Küsten des Königreichs Hannover und des Großherzogthums Oldenburg etc.* von dem Königlich Hannoverschen Ingenieur-Major W. MÜLLER, auf Kosten des Verfassers zum Besten der Ueberschwemmten, Hannover 1825. – Dies Buch ist wegen der guten Nachrichten, Ansichten und Urtheile des Autors lehrreich und den Deichbeamten und Marschbewohnern zu empfehlen.

Meine Absicht geht nicht weiter, als nur das besonders Merkwürdige bei dieser Sturmfluth, und bei den daraus entstandenen Beschädigungen der Deiche, anzuführen, auch beiläufig einige Winke, Erinnerungen und Anleitung zu geben, wie dergleichen außerordentliche Deichschäden künftig in ähnlichen Fällen möchten zu verhüten oder zu vermindern seyn.

Diese Februar-Sturmfluth zeichnet sich vorzüglich durch ihre Höhe aus, worin sie alle vorhergehende an den westlichen Küsten von Deutschland und Holland, so viel man weiß, übertroffen hat. Sie war am Fluthenmesser zu Cuxhaven nach ebenem Wasser 22 Fuß hoch; an eben der Scale war die hohe Fluth 1791 den 22sten März 20 Fuß 9 Zoll, welche bis dahin die höchste gewesen ist. Beide diese Sturmfluthen waren Vollmondsfluthen, zugleich war der Mond in der Erdnähe. Auch die hohe Fluth 1792 den 11ten December von 20 Fuß 3 Zoll war eine Springfluth zwei Tage vor dem Neumond, wobei auch der Mond sich dem Perigoeum näherte. Bei allen diesen drei hohen Sturmfluthen war auch der Mond in Zusammenkunft mit Jupiter. – Der Herr Major MÜLLER hat Nachrichten von verschiedenen Orten über die Höhe der letzten Sturmfluth in seinem angeführten Buche mitgetheilt, wovon eine und andere nicht correct seyn mögen, wonach man aber im Durchschnitt doch ziemlich sicher annehmen kann, daß in der Nähe der See oder in den Mündungen der Flüsse diese Sturmfluth die gewöhnliche Höhe der täglichen Fluth um 12 bis 12½ Fuß überstiegen hat, und dies trifft denn auch mit der Beobachtung zu Cuxhaven gut zusammen, woselbst die ordinaire Fluthhöhe 9¾ Fuß ist, also die Sturmfluth 12¼ Fuß über ordinair war. Übrigens ist nicht nur die Höhe der Wellen, sondern auch das Niveau des ebenen Wassers nach der Lage und Beschaffenheit der Küsten, Ufer und Deiche, allerdings verschieden, an vorspringenden Ecken und Caps niedriger, in Buchten und Busen, wo Wind und Wellen gerade einstehen, höher; und was die Fluthhöhen in den Flüssen landeinwärts betrifft, so werden sie durch mancherlei Umstände, z. B. verschiedene Richtung des Sturmwindes und Stroms, die mehr oder weniger übereinstimmen, desgleichen mehr oder weniger Obenwasser, Inseln und Sandbänke etc. modificirt, daß dieselben Sturmfluthen eines Stroms weiter landeinwärts meistens zwar höher sind, als in der

---

<sup>1)</sup> aus: Hannoversches Magazin 1825, 88.–90. Stück, S. 693–714



auch nur im Durchschnitt, und nicht von einzelnen, gewöhnlichen Fluthen zu verstehen. Hat ein Fluß wenig Wasser, so sind seine einzelnen täglichen Fluthen seewärts höher als landwärts; ist er reichlich mit Wasser versehen, so steigen landeinwärts die Fluthen höher. Ein Kennzeichen, daß an einem Ort die Fluth eben die Höhe erreicht, die sie weiter unterwärts und aufwärts hatte, ist es, wenn Eintritt der Ebbe und Stillstand des Stroms gleichzeitig sind; fällt aber der Wasserspiegel schon, wenn der Strom noch lebhaft eingeht, so war die Fluth seewärts höher; oder steigt das Wasser noch, wenn der Strom schon abgeht, so steigt solche Fluth oberhalb höher. Zu Cuxhaven erreichen die Fluthen selten die Höhe, welche sie außerhalb den Sänden in See haben. Die Höhe der Sturmfluthen auf einem Flusse können übrigens noch durch Nachlassen oder Zunehmen des Windes, durch Deichbrüche und sehr ausgedehnte Ueberschwemmungen verändert werden. Die Februarsfluth hat in Hamburg und weiter aufwärts gewiß nicht die völlige Höhe erreicht, welche sie, bei genugsamer Höhe und Stärke der Deiche, möchte erreicht haben. Sie hat übrigens manche Aehnlichkeit mit der Weihnachtsfluth von 1717, z. B. daß beide mit Blitz und Hagel begleitet waren und plötzlich in einer Stunde über 4 bis 5 Fuß anwuchsen, die Deiche schnell überstiegen, ohne einmal vorher viele Löcher oder Breschen, wie man es nennen möchte, in die äußern Böschungen der Deiche zu machen, Menschen und Vieh in der Nacht, im Schläfe, wovon der Donner und das Brausen des Windes sie nur zum kleinsten Theil aufgeschreckt, gleichsam überrumpelten, und so den größten Schaden verursachten, welcher jedoch, wenigstens in den Marschländern an der Elbe, größer und allgemeiner war in jener Weihnachtsfluth, wo die Deiche noch nicht die jetzige Höhe und Stärke mögen gehabt haben. Verschieden waren die Phasen des Mondes bei diesen beiden Fluthen; jene von 1717 traf im letzten Viertel, diese im Februar zur Zeit des Vollmondes ein; indeß war der Mond beidemal ungefähr in denselben Zeichen der Ecliptik, und in seiner Nähe stand Jupiter.

Man sieht aus vorstehender Tafel, daß die hohen Sturmfluthen nicht allemal eine Folge der Springfluthen sind, sondern fast öfter mit den Vierteln und Erdferne zusammen treffen; auch sind sie auf der Elbe keinesweges ein alleiniger Effect des nordwestlichen Windes, wiewohl cet. par. dieser Wind, der gerade einsteht, die Fluthen zwischen Cuxhaven und Hamburg höher treibt, als irgend ein anderer. Indeß ist es unerhört, daß irgend ein Sturmwind oder Orkan ein stehendes Wasser 18 bis 20 Fuß über sein Niveau sollte erheben können. Nur die strömende Bewegung, die aus einem vorhergehenden Mangel am Gleichgewicht entsteht, und das Wasser in großer Masse gegen eine Küste, insonderheit gegen eine Bucht, oder trichterförmige Mündung eines Flusses führt, woselbst es weiter einwärts immer mehr beschränkt wird, macht, vereint mit Wind und Wellen, die hohen Fluthen. Daher steigen bei uns die Sturmfluthen cet. par. am höchsten, wenn der Sturmwind zuerst in SSO. und Süden anfängt, durch SW. und W. nach NW. übergeht, welches der gewöhnliche Gang der Orkane ist. Die südlichen Winde entfernen und erniedrigen das Wasser längs den holländischen Küsten bis zur Elbe, worauf es mit NW. desto schneller in größerer Masse mit der Fluth wieder zurück strömt. Ohne diese Strömung der gemeinen Fluthen würden wir auch keine so hohe Sturmfluth haben, welche daher cet. par. am höchsten sind, wenn die Strömung der gemeinen Fluth am stärksten, daß ist, wenn, der Mond neu oder voll, oder in der Erdnähe ist. Ein Landsee oder sonst ein stehendes Wasser muß eine große Ausdehnung von wenigstens 1, 2 bis 3 Meilen haben, und von sehr starkem Winde bewegt werden, wenn das Wasser am Leegerwall 2, 4 bis 6 Fuß höher stehen soll. FRANKLIN führt (in seinen Memoirs part. IV. London 1819) die Erfahrung von einem Landsee an, welcher 10 engl. Meilen breit war, dessen Wasser vom Sturm drei Fuß an einem Ufer erhöht, wenn es zugleich am Ufer nebenüber drei Fuß erniedrigt wurde, welches sechs Fuß Unterschied im Niveau giebt. Das Harlemer Meer und andere stehende Gewässer geben ähnliche Erscheinungen, aber keine so große Unter-

schiede, es sey denn, daß das erhobene Wasser nirgend ausweichen, und weder nach der einen oder andern Seite längs den Küsten hinströmen kann. Jeder Strom kann, seiner Breite nach, als ein stehendes Wasser angesehen werden. Auf der Niederelbe sind die hannoverschen und holsteinschen Deiche etwa eine Meile entfernt. Gegen südwestlichen Wind sind diese, gegen nordwestlichen jene, eine Leegerwall, und leiden am meisten vom Wellenschlag, oder wenn die Fluth sehr hoch ist, vom Uebersturz der Wellen. Das letztmal war zur Zeit der vollen Fluth der Wind NW., folglich Wasser und Wellen an den südlichen Deichen am höchsten, welche freilich auch am meisten gelitten haben. Aber der Unterschied in Höhe nach ebenem Wasser gerechnet kann z. B. auf der Distanz der Deiche von einer Meile zwischen Kehdingen und Ditmarsen doch nicht über 1½ bis 2 Fuß betragen haben, der Unterschied der Wellen war gewiß viel größer. Auch sind die Hauptdeiche der Marschländer gewiß nirgend so niedrig, daß die letzte hohe Fluth, nach ebenem Wasser gerechnet, sie hätte übersteigen können; sondern die überschlagenden Wellen haben ohne Zweifel zuerst Ausspülungen, Scharten und Lücken im Scheitel (Kamm oder Kappe) der Deiche gemacht, wodurch alsdann das Wasser in zunehmend größerer Masse sich ergossen, die Deiche in einigen Stellen bis auf den Grund, oder mehrere Fuß darunter weggerissen und durch solche Deich- und Grundbrüche das Land minder oder mehr überschwemmt hat; doch sind diese Ueberschwemmungen diesmal nicht so allgemein und hoch gewesen als 1717, zum wenigsten sind damals vielmehr Menschen und Vieh umgekommen, Häuser zerstört etc., aber die Beschädigungen der Deiche sind jener Zeit wahrscheinlich nicht so mannigfaltig und allgemein gewesen, als diesmal, wo Deiche und Menschen mit mehrern hohen Sturmfluthen in den nächtvorhergehenden drei Monaten schon zu kämpfen gehabt, in einer Jahreszeit, wo die Reparaturen nur unvollkommen haben bewerkstelligt werden können.

Wegen dieser außerordentlichen Beschädigungen der Deiche bei der letzten hohen Sturmfluth ist den Vorstehern des Deichwesens, den Inspectoren, Deichgräfen, Vögten etc. die Erinnerung gemacht worden, man müsse wohl den Deichbau, obschon er mehrere Jahrhunderte alt, noch nicht recht verstehen! Bei eben diesem Orkan sind ungewöhnlich viele Schiffe verunglückt; wird auch jemand daraus schließen wollen, der Schiffbau sey noch nicht gehörig studirt? Das eine wie das andere mag gar wohl noch Verbesserungen fähig seyn; aber bei den Deichen ist es gewiß nicht Unwissenheit, aus welcher ihre unzureichende Stärke und Höhe möchte zu erklären seyn. Denn was ist leichter als genugsam hohe Deiche mit ausgedehnten flachen Böschungen vorzuschreiben und abzustecken? Aber es fehlt, ich will nicht sagen, den ganzen Landschaften, jedoch sehr vielen einzelnen Deichpflichtigen das Vermögen der Ausführung. Dann tritt Mitleid und Nachsicht ein; man glaubt mit nothdürftiger Sicherheit sich begnügen zu müssen, wo eine vollkommene unmöglich ist. Wir müssen und wollen thun, sagen die Deichpflichtigen, was nach den bisherigen Erfahrungen nothwendig ist; aber warum sollen wir mehr thun? Dem lieben Gott können wir doch nicht entlaufen; wenn er uns strafen will, findet er uns überall. Der gutherzige Deichbeamte giebt dergleichen Vorstellungen gern Gehör, und wenn er mit dem positiven Gesetze in der Hand es nicht wollte, würde sein Diensteifer als lieblos und unterdrückend getadelt werden; und solchen Tadel möchte derjenige in der That verdienen, der zur Absicht hätte, durch unerhört hohe und starke Deiche die Marschbewohner der Furcht vor Gott, vor seiner Macht und Zorn zu überheben; so wie auf der anderen Seite die Deichpflichtigen sich versündigen würden, wenn sie aus Trägheit oder Verstocktheit versäumen wollten, was zu ihrer eignen und ihrer Nebenmenschen Erhaltung zu thun, sie so nahe und nachdrücklich durch Erfahrung belehrt wurden. Die Verächter und Faullenzer berauben sich des großen Trostes, Ihn, dem Wind und Meer gehorsam sind, zur Zeit der Noth mit gutem Gewissen und liebevollem Vertrauen auf Seine Hülfe, anrufen zu können: Herr, hilf uns, wir verderben! Es scheint demnach, daß hier

eine heilsame Mittelstraße zwischen Vermessenheit und Nachlässigkeit zu wählen ist; und daß diejenigen, welche ihre Deiche aus wahren Pflichtgefühl nur so hoch und stark machen, als es nach den bisherigen Erfahrungen, insonderheit nach der Fluth mit dem Orkan am 4ten Februar nothwendig ist, sich nichts möchten vorzuwerfen haben, im Fall künftig noch höhere Fluthen kämen, welche diese Deiche abermals überstiegen, zumal wenn Mangel an Kräften, oder an Deich-Erde und Raum, z. B. wo das Vorland verloren, die Landseite des Deichs mit Häusern besetzt ist, mehr zu thun ordentlicher Weise nicht einmal verstatten. Wenn ich demnach der Meinung bin, daß man dem Deichbauwesen, insonderheit in den Gränzen der Meersfluthen rücksichtlich der Höhe und Stärke der Deiche, keine Vorwürfe zu machen habe, vielmehr gestehen müsse, daß man im Allgemeinen dabei schon seit vielen Jahren verständig und vorsichtig verfahren habe: so möchte ich doch keinesweges die Deich-Commünen von manchen Fehlern und Nachlässigkeiten in der jährlichen Reparatur und Unterhaltung der Deiche frei sprechen. Auf manchen Deichen wird gefahren und geritten, dadurch werden sie in der Oberfläche breiter und zugleich niedriger; oder die Auf- und Ueberfahrten, und die Fußsteige von Menschen und Vieh, werden ausgetreten und vom Regen ausgehöhlt, so entstehen niedrige Stellen, Scharten und Lücken, die man nicht jeden Herbst mit gehöriger Sorgfalt zeitig verbessert und verschließt, sondern bei der Deichschau mit strafwürdiger Sicherheit vorbei reitet. Aus diesen Ursachen und Fehlern an der bestimmten ordentlichen Höhe sind mehrere mir bekannte Deichbrüche entstanden.

Nicht minder wird in der Reparatur der Deiche gegen die Stärke und Festigkeit derselben aus Mangel an Fleiß und Sorgfalt gefehlt. Die Deichgeschwornen und übrigen Deichbeamten befehlen den Deichpflichtigen, die entstandenen Löcher auszufüllen und in der Oberfläche zu besoden oder mit Stroh zu besticken, und sind zufrieden, wenn bei ihrer Wiederkunft zur bestimmten Zeit das Anbefohlene quoad oculos geschehen ist, ohne während der Arbeit nachgesehen zu haben, wie man es gemacht hat, obgleich sie sehr wohl wissen, daß z. B. ein ausgespültes Loch mit 100 Karren voll Erde mag gefüllt und geebnet werden, welches, die Erde tüchtig fest eingestampft, 150 dergleichen Karren fassen würde. Dergleichen lose Arbeit verursacht, daß, wenn bald eine hohe Fluth überkommt, die neue Erde alsbald von den ausschlagenden Wellen herausgeworfen, dann der alte Uferrand des Lochs angegriffen und das Loch nach allen Seiten erweitert und vertieft wird; oder behält der reparierte Deich ein paar Jahre Ruhe, so sinkt die lose Erde zusammen, die Böschung des Deichs wird uneben und holperig, und bietet den Wellen neuen Angriff dar. Anstatt also, daß ein jeder Deich mit den Jahren zunehmend besser und fester werden sollte, wird er durch dergleichen Reparatur immer mehr geschwächt und verschlimmert. Wenn ein Loch in einem Deich ausgespült wird, wovon man keine besondere Ursache, z. B. offenbare Nachlässigkeit und Versäumniß des Deicheigners oder sonstige Unregelmäßigkeit, angeben kann; so ist es ein sicherer Beweis, daß es dem Deich an solcher Stelle an genugsamer Festigkeit gefehlt hat, und daß er durch die Reparatur fester werden müsse. Zu dem Ende muß also die neue Füllerde besser, zäher und schwerer, oder doch zum wenigsten eben so gut seyn, als die weggespülte war; sie muß dann in dünnen Lagen nicht über 6 Zoll dick, planirt, und in jeder solcher Schichte recht tüchtig gestampft und mit Erdrammen niedergestoßen werden; auf solche Weise wird der Deich fester, als er früher war, oder als der alte Deich ist. Daß die schartigen, steilen oder gar überhängenden Ränder des Lochs vorher schräg abzustecken sind, versteht sich von selbst, weil sonst das Stampfen an den Rändern herum, wo es am nothwendigsten ist, fruchtlos seyn würde. Wenn neue Deiche, oder ansehnliche Strecken, neu aufgeführt werden, wird in der Regel nicht gestampft, weil, wenn die Erde in regelmäßigen dünnen Lagen aufgefahren wird, der Verkehr mit Pferden und Karren genugsam Festigkeit giebt, oder man spannt auch die Pferde ab und reitet mit denselben vielfältig auf der losen Erde hin und her, und läßt sie auf

diese Weise festtreten. Die Deich-Interessenten, hieran gewöhnt, widersprechen gewöhnlich der Stampfarbeit, vorwendend, die Erde werde von den Pferden genugsam festgetreten. Aber der verständige Deich-Officiant wird dergleichen Entschuldigung nicht annehmen; er sieht leicht, daß in irregulären beschränkten Löchern, von wenigen Ruthen Umfang, wie die meisten Einrisse zu seyn pflegen, auf das Pferdetreten nicht zu rechnen ist, weil es nicht überall und gleichförmig geschehen kann. Dies sind denn die gewöhnlichen Fehler gegen die Festigkeit. Es giebt endlich noch eine dritte Art von Deich-Reparatur, wobei, wie es scheint, in Höhe und Festigkeit zugleich nicht selten gefehlt wird, dies ist die Wiederherstellung der Grund-Deichbrüche, man mag sie gerade durchdämmen oder den neuen Deich zur einen oder andern Seite um das Brack herumführen. Gewöhnlich muß diese Arbeit beschleunigt werden, im Winter in nasser Jahreszeit, mit weicher schlüpfriger Erde, die weder mit Pferden kann aufgeföhren noch gestampft werden, daher denn ein solcher von Wasser durchdrungener Damm seine eigene Last nicht tragen kann, sondern auseinander treibt. Aber gesetzt, man bringt den nassen Deich auch genugsam standhaft zu seiner Höhe, so ist er damit nicht dicht und fest, bis er endlich vielleicht erst nach vielen Jahren das Wasser verloren hat, dabei stets eingetrocknet, und in Höhe und Dicke kleiner geworden ist. Ist man in unumgänglicher Nothwendigkeit, von Schlick oder schlüpfriger Erdmasse, die sich nicht stampfen läßt, aber gar wohl eine Beimischung von grobem Sand verträgt, einen Deich auszuführen: so bringe man über jede Lage solcher Erde von 6 à 7 Zoll dick, eine Lage Sand von 2 bis 3 Zoll dick, damit erhält man den Vortheil, die Lagen fest stampfen zu können, zugleich trocknet der Deich schneller aus, ohne continuirlich zu sinken und zu schwinden. Die Beimischung von  $\frac{1}{3}$  Sand verwandelt die Kleierde in Lehm, welcher die beste Deicherde ist, wenn die Mischung nur durch fleißiges Stampfen und Treten gut vollendet worden. Uebrigens muß, wenn man in Regenwetter zu deichen gezwungen ist, durch schräge, abhängende und fleißig geebnete Lagen das Regenwasser von der neuen Erde sorgfältig abgeleitet werden; dies gilt von jeder guten Deicharbeit. – Der schlimmste Fall bei Grundbrüchen ist, wenn der neue Deich gerade durch das Brack in einer Wassertiefe von 20, 30 bis 40 Fuß soll durchgeführt werden. Hier ist mit der besten Deicherde unter Wasser nichts auszurichten; sie wird zu Schlamm und treibt auseinander, wenn sie nicht durch feste Einfassungen gehalten wird. Diese Einfassungen werden gewöhnlich mit zwei parallelen Senkwerken von Faschinen gemacht, zwischen welchen der neue Deich aufgeföhrt wird, dem diese Packwerke zur Berme und Stütze an beiden Seiten dienen. Werden die Buschlagen tüchtig mit Senkerde beschwert und mit einem Erddamm über Wasser 3 à 4 Fuß hoch überlegt, so gelingt es; widrigenfalls werden die leichten Buschwerke von der schweren schlüpfrigen Erdmasse des Deichs leicht auseinander gedrängt, und dieser sinkt und berstet. Sind die Faschinenwerke nicht über 10 bis 20 Fuß hoch, so wird deren Ausweichung dadurch verhütet, daß man große Pfähle lothrecht durchrammt bis 10, 12 oder 14 Fuß tief in den Grund, je nachdem dieser mehr oder weniger fest ist und die Pfähle gut eindringen. Aber in einer Tiefe von 30 bis 40 Fuß und darüber ist auf dergleichen Pfähle, die oberhalb nirgends können verankert werden, nicht zu rechnen; sie weichen, biegen und brechen, und sind, sobald sie nicht lothrecht stehen, dem nöthigen Sinken und Setzen der Packwerke hinderlich. Das Ausweichen der Faschinenwerke wird am sichersten verhindert, wenn man sie beide in eins verbindet, nämlich den ganzen Deich im einigen Packwerke bis zur Oberfläche des Wassers aufföhrt; aber dazu gehört viel Busch, der nicht allemal zur Hand ist, und dann würde man auch Mühe haben, solchen Faschinendeich wasserdicht zu machen, wofern man nicht etwa eine besondere Auswahl der Senkerde getroffen hätte.

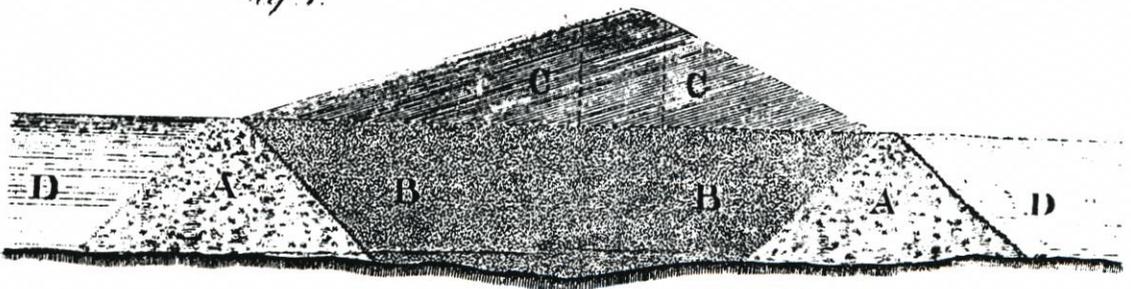
Alle auf bisher erwähnte Weise im Wasser oder von schlammiger Erde aufgeföhrt Deiche sind perpetuellen Sinkungen unterworfen, die sich vorzüglich äußern, wenn das

Wasser an einer Seite niedriger, oder auch an der andern Seite höher tritt, als es früher jemals gewesen ist. Tritt es vollends an der Außenseite so hoch, daß es überläuft; so wird dieser vermehrte, von dem Deich noch nie empfundene Druck, nebst Erschütterung vom Wellenschlag ihn wahrscheinlich zum merklichen Sinken, verstärkten Ueberlauf und Ruin bringen. Am schlimmsten steht es mit der Sicherheit, wenn der neue Deich weder mitten durch das Brack, noch frei herum, sondern nach der einen oder andern Seite, wo nicht so große Tiefe ist, durchgeführt worden. Ein solcher Deich steht auf dem Abhang des Grundes, wie ein Schiff auf den Helgen, jederzeit zum Ablauen bereit. Vermuthlich könnte dieser Ursache wohl der Umstand beizumessen seyn, daß nach der Bemerkung des Herrn Majors MÜLLER l. c. viele Grunddeichbrüche an eben den Stellen wieder erfolgt sind, wo früher dergleichen waren. Er zählt 18 dieser wiederholten Grundbrüche bei der letzten hohen Fluth; und unter 8 Grundbrüchen, die ich überhaupt im hamburgschen Gebiet gesehen, sind 5 auf ehemals durchbrochenen Stellen. Man kann hieraus die Regel ziehen: alle Deiche durch Bracken, Kolken und Wehlen, und überhaupt alle von ganz nasser Erde aufgeführten jüngeren Deiche müssen nicht nur gleich anfangs in ihrem Besteck höher und stärker, als die anstoßenden alten Deiche, gemacht, sondern auch in Zukunft beständig 1 bis 2 Fuß höher als diese erhalten werden. Dasselbe gilt auch von Deichen über Sielen und Schleusen, die oft aufgegraben, nie recht fest zugestampft werden. Es ist zwar in der Regel nicht erlaubt, auch nicht rathsam, daß einige Deichpflichtige höher deichen, als andere, oder als die allgemeine Vorschrift gebeut; weil aber der Gesetzgeber unmöglich auf alle einzelnen Fälle Bedacht nehmen kann, so müßten die Beamten suppliren und verfügen, daß auch solche Deichstrecken, die mit Wohnhäusern adossirt sind, etwas stärker und höher gehalten werden, als nothwendig oder für die freien Strecken ordnungsmäßig ist.

Es wird nicht überflüssig seyn, ein vielleicht nicht genugsam bekanntes Mittel anzugeben, was die angeführten leichten und wandelbaren Faschinenwerke bei dem Durchdeichen der Bracken oder andern stehenden Gewässer entbehrlich macht. (Ich nenne diese Werke *wandelbar*, nicht in dem Sinn, daß sie unter Wasser und nasser Erde vergänglich wären, sondern weil der Busch mit den Jahren seine Elasticität verliert, daher immer mehr und mehr nachgiebt und zusammensinkt). Das Ersatzmittel besteht nun darin, statt der beiden parallelen Senkwerke von Busch, zwei dergleichen Prismen von *Bauschutt* aus alten Mauern, Graus und Grand, von gebrannten Steinen etc. aufzuschütten, und dazwischen den Deich aufzuführen, so wird er sicher nicht ausgleiten. Er sieht im Profil dann aus, wie die hierbeigefügte Figur 1 zeigt, wo A. A. die Prismata von Maurergrand, B. B. der Deich unter Wasser, C. C. der übrige Erdkörper des Deichs über Wasser, D. D. das Brack von beliebiger Tiefe mit Wasser

*Zum 89<sup>ten</sup> Stück des Hannöv. Magazins.*

*Fig. 1.*



gefüllt vorstellt. Dies Mittel ist schon oft angewendet und erprobt worden. Aber dergleichen Schutt und Ziegelgrund ist in den Marschprovinzen nicht so reichlich, wie in den großen Städten zu haben, und das Mittel würde wenig nützen, wenn kein anderes Material zu gebrauchen wäre. Merke also: jedes Material, was hart und rauh ist, und im Wasser seine Friction nicht verliert, nicht schlüpfrig wird, ist brauchbar. Hiezu gehört auch der Sand, wenn er nur so grüßlich ist, wie Schrot und Grütze; er kann übrigens so grob mit Kies, Kiesel und Steinen, gemischt seyn, als man will; nur muß er nicht viel Thon und Lehm enthalten, das würde ihn schlüpfrig machen; auch muß er nicht gar zu fein, nicht purer Trieb- und Flugsand seyn, welcher, mit Wasser gesättiget, bei jeder Erschütterung flüssig wird. Dieser brauchbare grobkörnige Sand liegt nun nicht selten unmittelbar neben dem Brack, wo ihn das Wasser ausgespült, und wo er doch muß weggeschafft werden, um das Land wieder urbar zu machen, in großer Menge herum; oder man kann ihn vielleicht in der Nähe aus dem Strom, oder auch von den Geesthöhen zu Schiffe oder Wagen herbei führen, und damit, je nachdem er weniger oder mehr leicht und reichlich zu haben ist, entweder nur die beiden Prismen A. A., oder auch den ganzen Deichkörper bis zur Höhe der Wasseroberfläche bringen; der Deichkörper über Wasser C. C. muß aber in jedem Fall von guter Deicherde vollständig und fest aufgeführt, auch hiernächst außerhalb das Brack noch weiter mit Sand und Soden gefüllt werden, daß der Deich eine Berme oder Vorfuß von 1 bis 2 Ruthen breit, je nachdem seine Lage gegen guten oder schlimmen Wind beschaffen ist, erhalte. Wenn die prismatischen Dämme von Mauergraus oder grobem Sand mit ihren Rücken über Wasser gekommen, muß man sie mit einem Bummelramm, von circa 200 Pf. schwer, etwas niederrammen, damit die Erschütterung das gehörige Talüd hervorbringe. Diese Vorsicht ist insonderheit nothwendig, wenn ein altes Brack oder stehendes Wasser, dessen Boden mit vielem Schlamm bedeckt, durchzudämmen ist. Die Figur C. C. stellt einen Seedeich vor; Flußdeiche müssen mehr Dicke oder Breite im Kamm haben, brauchen aber keine so flache Böschungen. Aber in einigen Gegenden des Amts Harburg und oberhalb Hamburg macht man die Seitenflächen der Deiche fast ganz steil und mauert sie gleichsam von Kleisoden auf. Die nassen Soden trocknen hiernächst ein, trennen sich durch offne weite Fugen von einander und werden hiernächst bei dem ersten Anschlagen der Wellen herausgeworfen. Es ist unglaublich, wie viel schöner Rasen, Vorland und Viehweiden mit diesen *Kluftdeichen*, wie man sie nennt, ruinirt wird, weil sie, bei jeden hohen Fluthen an der Aussenseite zerstört, in immerwährender Reparatur begriffen sind. Zum Theil sind die Deiche freilich so nahe am Strom, daß der Raum zur Böschung mangelt; aber größtentheils beruht dies Verfahren auf hergebrachter Gewohnheit und einigen örtlichen Bequemlichkeiten, z. B. reichlichem Vorrath von grünen Soden und die Gelegenheit, sie mit Ewern und Kähnen anzufahren, welches die Arbeit erleichtert. Kürzlich ist eine kleine Abhandlung von Herrn C. Fr. HOLZER über Deichbau und verbesserte Decken in Wohnhäusern in Berlin herausgekommen, in welcher vorgeschlagen wird, die Deiche von Mauerwerk, außerhalb von gebrannten Steinen, inwendig mit getrockneten Lehmsteinen zu machen; ein Vorschlag, der freilich im Großen nicht anwendbar und nicht auszuführen ist. Indeß verdient die Lehmziegel vielleicht statt der Soden zu den Kluftdeichen empfohlen zu werden; denn gut zubereitet und mit Lehmmörtel gemauert, würden sie zum wenigsten ihren Verband und Festigkeit nicht eher verlieren, bis sie von Strom, Wellen und Eis außerhalb allmählig abgenaget worden, anstatt die steilen Sodenmauern der Deiche vom bloßen Sonnenschein aufgelöset werden. – Dies mag genug seyn von den Fehlern der Unterhaltung der Deiche in ihrer Höhe und Festigkeit, so weit diese Fehler ziemlich allgemein, und insonderheit rücksichtlich der hohen Fluthen, wesentlich nachtheilig zu seyn scheinen.

Was nun nach den Erfahrungen von der Februarsfluth d. J. an den bisherigen Deichen gegen Seefluthen besonders zu verbessern Noth thut, dürfte wohl zuförderst darin bestehen,

daß sie höher, und dann auch größtentheils an der Binnenseite flacher zu machen sind, als sie bisher waren.

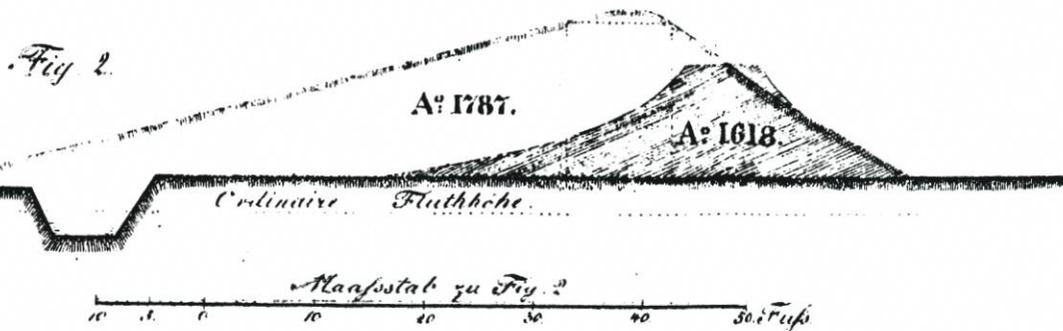
Man wird die Seedeiche nicht so hoch machen können und wollen, daß bei hohen Fluthen nicht einzelne Wellen überschlagen, nämlich auf der äußern Böschung bis zur Kappe, oder den Kamm hinauf und darüber hinlaufen. Dergleichen Ueberlauf einzelner Wogen und Wellen vertragen alle grünen Deiche auch sehr gut. Aber einen fast continuirlichen Ueberlauf aller Wellen können diese hohen Erd- und Rasenwerke nicht mehrere Stunden hintereinander unverletzt ertragen. Daher wird denn auch billig bei der Bestimmung der Deichhöhe die Höhe der Wellen berücksichtigt, und zwar so, daß, wo die Deiche etwa niedriger, oder die Wellen höher sind, als sie früher waren, welches letztere schon allein durch den Abbruch des Vorlandes, oder durch größere Orkane, kann verursacht werden, selbige alsdann der Erfahrung gemäß verhöhet werden.

Die Hauptdeiche im Amte Ritzebüttel und im Lande Hadeln sind nach solchem Ermessen seit 1786 über den Spiegel der ordinären Fluth erhoben worden, wie folgt:

1) Der am meisten seewärts liegende Steinmarder Deich, wo der Nordwest gerade aufsteht, und zum Theil gar kein Vorland ist, ist 21 Fuß hoch, mit der äußern Böschung 5 zu 1.

2) Die übrigen Ritzebüttelschen und Hadelnschen Hauptdeiche sind 18 Fuß, auf einigen Strecken bei günstiger Lage 17 Fuß hoch; und die Breite der äußern Böschung ist der vierfachen Höhe des Deichs über das Meyfeld gleich; und diese Böschungen, so weit sie grün sind und Vorland haben, haben alle Sturmfluthen, vom November 1824 bis den 4ten Februar 1825 incl., ohne Beschädigung ausgehalten; die Durchbrüche sind durch Uebersturz entstanden.

3) Die Obdeiche, oder Querdeiche, die keinen Wellenschlag haben, 13 bis 14 Fuß hoch, sind aber abgetreten und gesunken und am 4ten Februar durch Ueberlauf an den niedrigen Stellen durchgebrochen. – Höher als 14 Fuß über ordinaire Fluth sind auch selbst die Hauptdeiche des Landes Hadeln vor 200 Jahren nicht gewesen, welches der alte Seebandsdeich, der 1618 zum Schlafdeich geworden, aber in seiner Höhe und Form conservirt<sup>1)</sup> zum Theil noch vorhanden ist, beweiset. Siehe die zweite Figur, welche zeigt, wie dieser alte Seedeich, als derselbe 1787 zum Theil wieder zum Hauptdeich gemacht, erhöht und verstärkt worden. Weil nun nach bisheriger Erfahrung die Sturmfluthen nur auf 10 bis 10½ Fuß über



<sup>1)</sup> Der alte Seedeich ist von 1613 bis 1787 von den Fluthen nicht berührt worden; was Menschen und Vieh abgetreten, Wind und Regen weggeführt, ist in Höhe wieder ersetzt, nicht aber das Einschrumpfen des ganzen Deichkörpers, welches in einem Menschenalter nicht merkbar wird, und von dem sehr merklichen Sinken und Schwinden neuer Deiche ganz verschieden ist. Es rührt nämlich dies Einschrumpfen, welches der alte Seedeich Fig. 2 deutlich zu erkennen giebt, und allen Deichen minder oder mehr gemein ist, von der allmählichen Verwesung und gänzlichen Verschwinden aller animalischen und vegetabilischen Theilchen her, welche der Deicherde gewöhnlich beigemischt sind, zumal wenn diese oberflächlich abgegraben wird.

ordinair, nach ebenem Wasser gerechnet, gestiegen, so erhellt, daß für die Höhe der Wellen respective 6 bis 10 Fuß über dem Wasserspiegel der Sturmfluth gerechnet worden.

Wellen, die über 6 bis 10 Fuß über das Niveau sich erheben, werden meistens 3 bis 5 Fuß unter dasselbe Niveau sinken; das giebt also eine perpendiculaire Höhe der Wellen über ihre Basis von 9 bis 15 Fuß; und es ist nicht glaublich, daß auf der angeführten Strecke des Elbestroms sich so hohe Wellen erzeugen sollten; es ist aber wohl nicht zu zweifeln, daß, obgleich die Gipfel der Wellen, so lange sie in genugsamer Entfernung vom Deiche ihre Bewegung ungestört fortsetzen, niedriger als die Gipfel der Deiche sind, sich nichts desto weniger erheben, sobald sie die Deichfläche berühren, an derselben hinauf und darüber hinstürzen, wenn nämlich der Sturmwind gerade aufsteht, welcher die Wellen, wie Segel am Schiffe, vor sich hertreibt. Die Wellen, welche nach hydrostatischem Gesetze sich in allen Richtungen ausbreiten, laufen auch immer genugsam rechtwinkelig gegen Ufer und Deiche; aber die Richtung eben des Sturmwindes, der die Wellen erzeugt, kann gar wohl mit dem Deiche parallel, oder gar abwärts seyn; und in solchen Fällen werden auch die Wellen an Deiche nur so hoch, oder nicht einmal so hoch, steigen, als das hydrostatische Gleichgewicht erfordert. Es ist demnach, wie gesagt, der heftige Windstoß auf die Rückfläche der am Deich auflaufenden Welle, welcher sie darüber hintreibt. Dadurch ist es geschehen, daß die Ritzebüttelschen und Hadelnschen Deiche in den hohen Fluthen von 1791 und 1792 von Wellen durchgehends und häufig sind überspült, jedoch ohne daß erhebliche Beschädigungen der Deiche verursacht worden. Hingegen ist bei der Fluth im Februar der Uebersturz der Wellen dermaßen stark und unablässig gewesen, daß daraus fast allgemein auf mehrgedachten Deichstrecken Ausspülungen in der Scheitelfläche der Deiche, wo diese nicht begrünnet war, Kammstürzungen, auch Löcher und Einrisse in der Binnendossirung, und selbst 6 völlige Deichbrüche entstanden sind; letztere jedoch, wie gesagt, nur an Stellen, woselbst, wegen Passage und Sinkung der Deiche, diese offenbar zu niedrig geworden. Die Deiche müssen also erhöht werden, und zwar so viel zum wenigsten, als die letztere Sturmfluth die frühere in Höhe übertroffen hat, das ist  $1\frac{1}{2}$  bis 2 Fuß. Wo die Deiche eine platte Oberfläche, eine Kappe, circa 8 Fuß breit, haben, kann diese geringe Erhöhung dadurch geschehen, daß man die Kappe in einen Kamm (crête), das ist in eine schmalere runderhabene Fläche verwandelt, selbige gut besodet und grün erhält, keine Passage darauf duldet; dann wird der Kamm den Ueberlauf der Wellen, der allerdings bei den höchsten Fluthen während ein paar Stunden nicht ganz ausbleiben kann, unverletzt ertragen, vorausgesetzt, daß die Binnendossirung nur stark genug ist und von dem Uebersturz der Wellen nicht ausgespült wird. Ist aber diese zu schwach und muß verstärkt werden, so ist es gerathen, zugleich auch den Deich im Scheitel etwas mehr zu erhöhen, als sonst nothwendig seyn möchte. Denn eine an der Rückseite des Deichs anzubringende Verstärkung kann nicht weniger als ein Karrenschlag, das ist etwa 5 Fuß, dick seyn; eben so viel wird auch der Kamm breiter und verstattet daher füglich 1 bis  $1\frac{1}{2}$  Fuß mehr Höhe, als ohne diese Verdickung. Es ist auch nicht möglich oder nicht rathsam, einen Hauptdeich 2, 3 bis 4 Fuß zu erhöhen, ohne ihn zugleich auf der einen oder andern Seite zu verstärken, dicker und breiter zu machen. In Holland hat man die Erfahrung gemacht, daß das Erhöhen der Deiche die Deichbrüche und Ueberschwemmungen nicht vermindert, sondern vermehrt. Siehe Gött. gel. Anzeigen 1818, 53. u. 54. St., den 2. April, S. 524. Dies kann nur zur Ursache haben, daß man entweder erhöht ohne zugleich zu verstärken, oder daß die Deiche mit den Jahren immer schlechter werden, weil man schlecht reparirt. Die Verstärkung ist nun in der Regel an der Außenseite anzubringen, wenn daselbst Vorland und gute Deicherde zu haben ist, sonst an der Landseite, wenn daselbst die Erde muß genommen werden. Im ersten Fall wird denn der Kamm auswärts gerückt, wie an dem Hadelnschen Deich Fig. 2 zu sehen; und der Binnenseite wird die erforderliche Dossirung durch Abste-

chen, im zweiten Fall durch Anstärken gegeben. Hiebei ist nun das Wichtigste, zu wissen, wie stark eine Binnendossirung von mittelmäßig guter Erde seyn müsse, damit sie den Ueberlauf eben so gut, und so lange, als der grüne Kamm, aushalten möge. Worauf zur Antwort dient, die Böschung muß wenigstens so flach seyn, daß sie einen dichten Graswuchs erzeugen, auch Schaafe, Ziegen und allerlei einjähriges Vieh darauf gehen könne, ohne sie abzutreten; wenn sie die doppelte Höhe zur Anlage erhält, wie sie in dem Profil Fig. 1 gezeichnet ist, wird sie für gut gelten können. Wer also einen ganz neuen Seedeich anlegen will, dessen Höhe über das Meyfeld, mit Rücksicht auf die Wellen, bestimmt ist, und diese Höhe halb zur Breite des Kamms, zweimal zur Anlage der Binnendossirung, und nach Beschaffenheit der Situation, drei- oder viermal, höchstens fünfmal, zur Anlage der äußern Böschung nimmt, wird einen guten Deich erhalten. Eine mehr als fünfmalige Höhe zur Anlage der äußeren Böschung dürfte für grüne Deiche nicht nur völlig überflüssig, sondern wohl gar nachtheilig für die Unterhaltung seyn, deren Kosten c e t . p a r . der Größe der Fläche proportional sind. Wenn die Deicherde recht gut ist, mag die drei- bis  $3\frac{1}{2}$ malige Höhe zur Anlage meistens das Rathsamste seyn, auch  $\frac{1}{2}$  der vollständigen Höhe zur Kammbreite wohl genügen. Die Flußdeiche hingegen, die oft mehrere Tage und Wochen von den hohen Fluthen der Regen- und Schneegewässer beschwert und durchdrungen werden, erfordern eine Breite im Kamm, welche zum wenigsten der ganzen Höhe über das Meyfeld gleich ist, mit Böschungen an jeder Seite, deren Anlage die doppelte Höhe beträgt.

Diesen genugsamen Erinnerungen über Reparatur und Anlagen der Deiche mag noch eine Bemerkung über den Nutzen derselben beigefügt werden. Dieser ist mehrmals bezweifelt worden, weil nicht nur die Unterhaltung der Deiche zum Theil sehr mühsam und kostbar, sondern ihr Schutz gegen Ueberschwemmungen zweifelhaft, nicht selten gänzlich unzureichend ist, also daß Menschen und Vieh in den Fluthen umkommen, und die Saaten der Felder verderbt werden. Dergleichen Furcht und Gefahren, und wirklichen Verlust an Habe und Gütern, wären die Marschbewohner überhoben, heißt es, wenn sie, wie früher vor Einführung der Deiche, Wohnungen und Ställe für Menschen und Vieh auf erhöhten *Worthen* erbauen, auf den Ackerbau Verzicht thun, und mit Viehzucht, Jagd und Fischerei sich begnügen wollten. Aber es ist gewiß sehr unnütz, dergleichen Vorschläge zu thun; wer einmal die Ergiebigkeit des Ackerbaues kennen gelernt, wird sie ohne Noth nicht aufopfern, die Früchte des Ackers und Gartens nicht entbehren wollen. Was hülfte ihm auch diese Entbehrung? Er wäre von der Arbeit am Deiche zwar befreit; aber an den vom Wellenschlag beschädigten hohen *Worthen* würde er diese Arbeit zum Theil wieder finden; sein in entfernten Weiden zerstreuetes Vieh würde häufiger in den Wellen umkommen, sein Heu wegtreiben, sein Graswuchs verderben, und in der Nähe des Meers würden Menschen und Vieh nicht einmal trinkbares Wasser haben. Ferner ist auch der Vorwurf einer schweren Deichlast und weniger Sicherheit in der Natur des Deichwesens nicht, nur in der fehlerhaften practischen Verwaltung desselben, begründet. Gute, grüne Deiche mit Vorland sind sehr leicht zu unterhalten und gewähren vollkommen Schutz; aber dem Abbruch des Vorlandes und der Ufer hat man geruhig zugesehen, und so sind die Deiche zu Uferwerken, Strom- und Seewehren geworden, wozu diese Erdwerke nicht geeignet sind. Die Einrichtung der Wohnhäuser und Viehställe auf *Worthen* scheint übrigens sehr paßlich für kleine Inseln und Werder, die wenig bewohnt sind, und die man zur Sicherheit der Grasung, auch um etwas Sommer-Getreide und Gartenfrüchte zu bauen, mit niedrigen Sommerdeichen, zum Ueberlauf hoher Winterfluthen, einrichtet, vor Sturmfluthen des Sommers, die vom 1sten Mai bis 1sten October nur zur halben Höhe, circa 6 Fuß über ordinair sich erheben, beschützt. Auch mag es jedem Marscheinwohner, der neue Häuser und Scheuern bauen will, vernünftiger Weise wohl empfohlen werden, den Baugrund einige 5 à 6 Fuß, oder so hoch er es vermag, über das

Meyfeld, zu seiner besondern Sicherheit aufzuführen, ohne dieserwegen die hohen Winterdeiche zu abandonniren, oder auch nur sie in niedrige Sommerdeiche zu verwandeln. In eben der Absicht können auch Queer- oder Obdeiche, die vom Hauptdeiche gegen die Geesthöhen sich erstrecken, oft mit Nutzen angelegt, und dadurch besondere Districte gegen Verbreitung der Ueberschwemmung gesichert werden; welche besondere Sicherheit jedoch von der Unterhaltung des Hauptdeichs keinesweges befreiet. Dergleichen Abtheilungen der Marschlande in Polder hat noch besondern Nutzen rücksichtlich der Oeconomie und Bonification der Ländereien. Holland hat viele dergleichen Polder; aber die Marschen an der Weser und Elbe etc. haben deren zu wenig oder gar nicht. Nur einige niedrige Ringdeiche und Landwehren sind hin und wieder vorhanden, und zur Scheidung und zum Abwehren der Gewässer, die von den Geesthöhen kommen, bestimmt. – Aber, sagt man ferner, das Deichwesen ist wider die Natur der Flüsse, die ihre Betten von Zeit zu Zeit erhöhen, folglich treten die Fluthen des Oberwassers auch immer höher und höher, und allemal entweder über die Deiche, oder das Quellwasser der hohen Flüsse dringt doch unter den Deichen durch; und weil es nirgends Abfluß findet, verwandelt es die niedrigen Ländereien in Sümpfe; alsdann muß das Deichwesen von selbst aufhören. – Beispiele von Erhöhung und Versandung der Flußbetten findet man in den Götting. gel. Anzeigen, 16. St., den 27. Januar 1816, S. 148 etc. angeführt, woselbst aber der Verfasser einzelne Flußstrecken mit ganzen Flüssen scheint confundirt zu haben, wie der Rec. S. 150 anmerkt, der die Erhöhung ganzer Flüsse bezweifelt; zum wenigsten ist nicht wohl zu begreifen, wie die Deiche eine Ursache von der Versandung der Flüsse seyn könnten; niedrige Moraste und Sümpfe finden sich auch sowohl neben unbedeichten als bedeichten Flüssen. Uebrigens giebt es Mittel, sowohl die hohen Anschwellungen der Flüsse zu vermindern, als auch das Versumpfen der niedrigen Ländereien zu verhüten. (Siehe Gött. gel. Anzeigen, den 2ten April 1818, S. 525–527, 530). Was die Versandungen der Flußbetten betrifft, so wird die Beobachtung der Sandbänke einen jeden überzeugen, daß sie aus den Uferabbrüchen entstehen und nach und nach seewärts wandern, folglich die Flüsse sich verbessern werden, sobald durch Befestigung der Ufer das Entstehen neuer Sände verhütet wird. Der Strom, welcher die Ufer zerstört, führt die feinsten und fruchtbarsten Erdtheilchen unverzüglich zur See, der Sand aber bleibt desto länger liegen, je gröber er ist. Immer mehr und mehr werden Fürsten und Völker über die Vortheile, welche die Befestigung der Ufer gewähren, aufgeklärt werden, und dem Ruin der schönsten Ländereien nicht länger müßig zusehen. Vieles ist in diesem Punct schon geschehen, geschieht täglich, und begründet die Hoffnung, daß die Flüsse über kurz oder lang in einen solchen geregelten Zustand kommen werden, welcher den glücklichen Bestand des Deichwesens, die unentbehrliche Entwässerung der niedrigen Ländereien, und die gemeinnützliche Flußschiffahrt sichert und erhält. Dieser Uferbau an den Flüssen ist auch keinesweges beschwerlich und kostbar; gemeine Materialien, Busch, Kiesel und rohe Felsensteine, die überall, zum Theil in den Flüssen selbst, wohlfeil zu haben sind, genügen dazu. Auch tritt selten der Fall ein, daß es nöthig wäre, beide Ufer gegeneinanderüber einzufassen; immer wird nur eins, abwechselnd das rechte oder das linke Ufer, vom Strom untergraben und ausgehöhlt, nur eine Sandbank oder Insel mitten im Strom kann zuweilen den Abbruch beider Ufer zugleich verursachen. Zuweilen finden sich hohe Sandberge unmittelbar am Ufer, deren Absturz den Strom mit Sand anfüllt; solche Sandufer werden am besten mit Weidenpflanzungen befestigt; worüber, so wie überhaupt über die Bekleidung der Fluß- und Seedeiche mit Vegetation etc., man Unterricht vom Herrn Oeconomierath MEYER im 28. St. des Hannov. Magazins, den 6ten April 1825 mitgetheilt findet; worüber ich noch folgende Bemerkung beifüge: Wer eine neuereparirte Deichfläche während einer Sommerzeit durch Besaamen grün machen will, muß die frische Potterde, welche im ersten Jahre nicht fruchtbar ist, mit einer dünnen Lage,

allenfalls nur zwei Zoll stark, guter Acker- oder Garten-Erde bewerfen, darin Anfangs April Heusaat streuen, einharken, tüchtig festklopfen und zur Zeit der Dürre anfeuchten; so wird gegen den folgenden Herbst die Grünschwarte fest genug seyn, den Wellenschlag auszuhalten, wenn anders die Reparatur an sich gutgemacht, die Erdmasse nicht locker eingeworfen sondern festgestampft ist.

Gern würde ich den Marschbewohnern noch einige Bemerkungen über ihre Siele und Schleusen in den Deichen, die nicht minder kostbar sind, als die Deiche selbst, und bei deren Construction, Reparaturen, Unterhaltung und Aufsicht manches zu erinnern und zu verbessern seyn dürfte, durch den Weg dieser Blätter mittheilen; aber schon überschreitet dieser Aufsatz die schickliche Gränze, weshalb ich für diesmal schließen muß.

*Ergänzende Anmerkungen zu WOLTMANS Artikelserie: „Einige Bemerkungen über die hohe Sturmfluth in der Nacht vom 3<sup>ten</sup> auf den 4<sup>ten</sup> Februar 1825, und über die dadurch verursachten Deichbrüche und Ueberschwemmungen“*

*(von Dr.-Ing. HARALD GÖHREN, Hamburg)*

Im November des Jahres 1825 veröffentlichte REINHARD WOLTMAN „Einige Bemerkungen über die hohe Sturmfluth in der Nacht vom 3<sup>ten</sup> auf den 4<sup>ten</sup> Februar 1825, und über die dadurch verursachten Deichbrüche und Ueberschwemmungen“.

Das interessante an dieser in drei Folgen im *Hannoverschen Magazin* erschienenen Artikelserie ist die Absicht des Autors, Fehler in der Konstruktion und insbesondere bei der Unterhaltung von Deichen aufzuzeigen, die er als eine wesentliche Ursache der aufgetretenen Flutschäden ansah. WOLTMAN konnte als Hamburger Wasserbaudirektor auch auf dem Gebiet des Deichwesens die Autorität eines Experten in Anspruch nehmen, war er doch von 1784 bis 1812 der im Amt Ritzebüttel (heutiges Cuxhaven) verantwortliche hamburgische Baubeamte. Er hatte in diesen Amtsjahren mit ständigen Uferbrüchen am Elbeufer zu kämpfen, die insgesamt 15mal eine Rückverlegung der dortigen Deiche erforderten.

WOLTMAN gibt in seiner so anregend wie sachlich geschriebenen Arbeit zunächst einige allgemeine Erklärungen über die Ursache unterschiedlicher Sturmfluthöhen sowie über Wellenangriff und Wellenauflauf und zeigt, daß schon damals Ursache und Wirkung der Naturkräfte in ihrer verheerenden Konzentration bei schweren Sturmfluten richtig erkannt und eingeschätzt wurden. Bemerkenswert ist besonders die klare Einsicht, daß in den meisten Fällen der Wellenangriff auf Deichkronen und Deichböschungen sowie überlaufendes Schwallwasser mit Erosion auf den Binnenböschungen Ursache der meisten Deichbrüche war.

Die Frage, wie hoch und sicher Deiche zu bauen sind, haben die Küstenbewohner zweifellos gestellt, seitdem Deiche gebaut wurden, besonders dann, wenn wieder einmal schwere Sturmfluten die mühsame Arbeit vieler Jahre zunichte gemacht hatten. Wir finden dazu bei WOLTMAN zwei nachdenkenswertes Aussagen:

„Man wird die Seedeiche nicht so hoch machen können und wollen, daß bei hohen Fluten nicht einzelne Wellen überschlagen . . . aber einen fast kontinuierlichen Überlauf aller Wellen können diese hohen Erd- und Rasenbauwerke nicht mehrere Stunden hintereinander unverletzt ertragen.“

Und an anderer Stelle:

„Die Deiche müssen also erhöht werden, und zwar soviel zum wenigsten, als die letzte Sturmflut die frühere in Höhe übertroffen hat!“

WOLTMAN gibt in seiner Arbeit sodann wichtige Hinweise über Deichprofile und Schwachstellen, über die sachgemäße Ausführung von Deichreparaturen und Deicherhöhungen, über die Auswahl von Deichbaumaterial, über dessen sorgsame Verdichtung und vieles andere. Es sind Hinweise, die bei der Beseitigung der schweren Schäden der 1825er Sturmflut sicher wichtig waren, um die Deiche schnell wieder in einen ordnungsgemäßen Zustand zu bringen und die wohl in keinem Lehrbuch besser und klarer sein könnten.

Wer WOLTMANS aus langer Erfahrung geschriebenen „Bemerkungen über die Sturmflut von 1825“ liest und sich dann vor Augen führt, welche Schadensursachen bei der Sturmflut von 1962, der nächsten Katastrophenflut an der Nordseeküste nach 1825, die häufigsten waren, wird nicht umhin können, festzustellen, daß 1962 so mancher Deichbruch hätte vermieden werden können, wären die Regeln von WOLTMAN von den Verantwortlichen in den nachfolgenden Generationen stets beachtet worden.

# Einige Wasserstands-Beobachtungen im Fluthgebiete des Elbstromes<sup>1)</sup>

Zusammengestellt und bearbeitet mit besonderer Bezugnahme auf die *Elbe*  
von *Schulau* bis *Geestbacht*,

VON HEINRICH HÜBBE

## Vorwort

Zusammenhängende Beobachtungen des Wasserstandes in demjenigen Theile eines Flusses, wo die von der Meeresfluth veranlassten periodischen Anschwellungen Statt finden, sind in manchen Beziehungen von eigenthümlichem Interesse, und ich glaube, dass nur in den Schwierigkeiten, mit welchen, wenigstens an grösseren Strömen, derartige genaue Beobachtungen verknüpft sind, die Ursache liegt, weshalb dieser für die Wissenschaft anerkannt<sup>2)</sup> reichhaltige Stoff von Hydrotechnikern noch wenig bearbeitet ist.

Selten kommen dem practischen Hydrotechniker an diesen Theilen der Ströme Aufgaben vor, welche Veranlassung geben, gleichzeitige Beobachtungen an vielen und von einander entfernten Puncten anzustellen, und dabei mit Zeit- und Maass-Eintheilung sehr ins Kleine zu gehen; und noch seltener ist es ihm vergönnt, Beobachtungen, zu denen die Praxis ihn veranlasste, für die Wissenschaft zu bearbeiten.

So sind auch die hier mitgetheilten Beobachtungen nicht mit Hinaussicht auf eine zusammenhängende Bearbeitung derselben, und noch weniger in der Absicht, sie dem Drucke zu übergeben, gemacht worden, sondern die Vorbereitung einzelner hydrotechnischer Anlagen veranlasste sie nach und nach im Laufe des verflossenen Jahres, und ihre nunmehrige Zusammenstellung geschah zu meiner und einiger Freunde Belehrung über die Bewegung der Fluthmasse in dem uns benachbarten Districte des Elbstromes.

Weil aber die Resultate an sich nicht uninteressant sind, und insbesondere weil sie zu der Hoffnung berechtigen, dass auf diesem Wege wichtige Fragen der Theorie vielleicht ihrer sicheren Entscheidung genähert werden können, wenn Beobachtungen eigends für diesen Zweck arrangirt und mit gleichzeitigen Geschwindigkeitsmessungen verbunden werden, so habe ich geglaubt, dass die Veröffentlichung der nachfolgenden Blätter den Freunden wissenschaftlicher Forschung nicht überflüssig erscheinen werde, und wünsche nur, dadurch auch Andere zur Bearbeitung desselben Gegenstandes zu veranlassen.

Der *Hochlöblichen Schiffahrt- und Hafen-Deputation*, unter deren Leitung der grösste Theil der hiesigen Wasserbau-Angelegenheiten steht, mögte ich durch diese Blätter, mit dem Beweise, dass der Nutzen solcher Vorarbeiten sich über die Anlagen, zu deren Projectirung sie angestellt wurden, hinaus erstreckt, zugleich meinen ergebensten Dank für die Hochgeneigte Bewilligung der zu diesen und ähnlichen Beobachtungen erforderlichen Kosten an den Tag legen.

---

<sup>1)</sup> Erschienen in Hamburg 1842.

<sup>2)</sup> Vergl. v. HUMBOLDT „Voyage aus Regions équinoxiales“, Paris 1822, VIII. p. 393. L'architecture hydraulique et la théorie du mouvement des fluides dans des canaux resserrés, gagneroient à la fois à un travail pour lequel l'Orénoque et l'Amazone offrent des facilités toutes particulières.

Die Beobachtungen an verschiedenen Punkten des Süder-Elbarmes verdanke ich der freundlichen Mitteilung des *Herrn Wasserbau-Inspectors BLOHM* in Harburg, und diejenigen unterhalb Altona der gütigen Mitwirkung des *Herrn Capitains H. CHRISTENSEN*, jetzigen Stadtbaumeisters in Altona.

Die im zweiten und dritten Abschnitte enthaltenen Folgerungen werden, wie ich glaube, selbst in der durch die geringe Ausdehnung der Beobachtungen bedingten Fassung, dennoch auch für ein grösseres Publicum einiges Interesse gewähren, und insbesondere Denen, welche durch ihre amtliche Stellung berufen sind, in den betreffenden Angelegenheiten durch das Gewicht ihrer Meinung und Stimme mitzuwirken, ohne gerade Hydrotechniker zu seyn, die von der Natur gegebenen Zustände der betreffenden Stromstrecke klar machen können.

Dadurch würde dann der nachtheilige Einfluss unrichtiger Darstellungen der, bei dem vielbesprochenen Thema der Versandung der Elbe, in Betracht kommenden factischen Zustände und wissenschaftlichen Gründe, vielleicht in einigen Beziehungen aufgehoben werden können.

*Der Verfasser*

### Inhalt<sup>1)</sup>

#### Erster Abschnitt.

|  |     |
|--|-----|
| Ueber die Nutzbarkeit von Wasserstandsbeobachtungen im Fluthgebiete zur Ausmittlung der Durchflussmenge und mittleren Geschwindigkeit in allen Zeitpunkten der Fluth und Ebbe. |     |
| §. 1. Einleitung. – Allgemeine Wahrnehmungen über einige Wirkungen der Meeresfluth in Flußmündungen . . . . .  | 022 |
| §. 2. Bedeutung hydrometrischer Arbeiten im Fluthgebiete . . . . .   | 024 |
| §. 3. Bisherige Methoden zur Auffindung der mittleren Geschwindigkeit und Beschränkung der Anwendbarkeit derselben. . . . .  | 025 |
| §. 4. Darstellung einer dritten Methode zur Bestimmung der Durchflussmenge und mittleren Geschwindigkeit in Stromprofilen des Fluthgebietes . . . . .                          | 026 |
| §. 5. Anordnung der Beobachtungspuncte. – Form der Fluthwelle . . . . .  | 027 |
| §. 6. Aufstellung und Regulirung der Pegel. – Nivellement. – Beschreibt der obere Scheitelpunct der Fluthwelle eine Horizontallinie? . . . . .                                 | 034 |
| §. 7. Eintheilung der Zeiträume und erreichbarer Grad der Genauigkeit in Notirung der Höhen. – Einrichtung der Pegel . . . . .   | 036 |
| §. 8. Genaue Notirung des Eintrittes von Hoch- und Niedrigwasser. – Angabe der Stromrichtung und des Staus . . . . .   | 039 |
| §. 9. Berechnung der Oberfläche des betreffenden Stromdistrictes. – Berechnung der oberen Zuflüsse . . . . .   | 040 |
| §. 10. Probe des gefundenen Resultates . . . . .   | 042 |

#### Zweiter Abschnitt.

Nachricht von einigen im Jahre 1841 an der Elbe von Schulau bis Geesthacht angestellten Wasserstandsbeobachtungen, nebst daraus abzuleitenden Folgerungen über die Quantität der bewegten Wassermassen.

|   |     |
|---|-----|
| §. 11. Beobachtungen . . . . .  | 043 |
| §. 12. Berechnung der Durchflussmenge und mittleren Geschwindigkeit . . . . . | 043 |

#### Dritter Abschnitt.

##### Fernere Folgerungen.

|   |     |
|---|-----|
| *) §. 13. Fortschreiten der Fluth und Ebbe von Fähmannssand bis Altengamm. Correspondirende Uferpuncte. Correspondirende Ebbe-Höhen . . . . . | 043 |
| *) §. 14. Stromverhältnisse bei Blankenese und Schulau . . . . .  | 043 |

<sup>1)</sup> Die mit \*) bezeichneten Kapitel sind hier nicht abgedruckt.

Verzeichniss und Erklärung der Tabellen  
und Figuren-Tafeln<sup>1)</sup>)

|       |         |       |   |
|-------|---------|-------|---|
| *)    | Tabelle | I.    | Beobachtungen des Elbwasserstandes am 8. September 1841 an den Strompegeln No. 1 bis No. 22 von Fährmannssand bis Altengamm längs der Norder-Elbe.  |
| *)    | " "     | II.   | Beobachtungen des Elbwasserstandes am 28., 29. und 30. Juli 1841 an den Strompegeln No. 7, 11, 15 und 19 in der Norder-Elbe und a, b, c, d in der Süder-Elbe.   |
| *)    | " "     | III.  | Beobachtungen des Elbwasserstandes am 11. September 1841 an den Pegeln No. 1 bis No. 5 bei Blankenese und Schulau.  |
| *)    | " "     | IV.   | Beobachtungen des Elbwasserstandes am 4. December 1841 an den Pegeln e, f, No. 6, g, h, No. 7, k, l in verschiedenen Armen der Süder-Elbe und in der Nähe ihrer Einmündungen in die Norder-Elbe.  |
| *)    | " "     | V.    | Erhebung und Senkung des Wasserspiegels, abgeleitet aus Tabelle I.  |
| *)    | " "     | VI.   | Erhebung und Senkung des Wasserspiegels, abgeleitet aus Tabelle II.   |
| *)    | " "     | VII.  | Erhebung und Senkung des Wasserspiegels, abgeleitet aus Tabelle III.  |
| *)    | " "     | VIII. | Erhebung und Senkung des Wasserspiegels, abgeleitet aus Tabelle IV.   |
| *)    | " "     | IX.   | Zusammenstellung der Berechnungen zur Bestimmung der durch das untere Profil bei Fährmannssand ausströmenden Wassermenge. – Auf dieser Tabelle ist statt „Abfluss der Elbe“ zu lesen „Abfluss der <i>Ebbe</i> .“  |
| *)    | " "     | X.    | Beobachtungen des Wasserstandes zu Cuxhaven und zu Hamburg von 5 zu 5 Minuten während der Morgenfluthen des 26., 27. und 28. Decembers 1841.  |
| Tafel | I. a.   |       | Skizze zur Uebersicht des Elbstromes von Fährmannssand bis Geesthacht, nebst Andeutungen über das Fortschreiten der Fluthwelle in verschiedenen Stromarmen.   |
|       | " "     | I. b. | Fig. 1. Form der Fluthwelle nach den Beobachtungen am Pegel No. 3 bei Wittenberge den 11. September 1841, aus Tabelle III.<br>Fig. 3, 4, 5. Vergleichende Darstellung der Fluthcurven nach den Beobachtungen zu Hamburg und Cuxhaven am 26., 27. und 28. December 1841, Tabelle X.  |
| *)    | " "     | I. c. | Fig. 2. Darstellung der Fluthcurven an der Mündung der Jahde nach Brahms.   |
| *)    | " "     | II.   | Fig. 5 und 6. Längenprofil des Stromes in der Gegend von Blankenese während der Fluth und während der Ebbe, von Viertelstunde zu Viertelstunde. Nach den Beobachtungen vom 11. September 1841, Tabelle III.<br>Fig. 7. Längenprofil des Stromes um die Zeit des Eintrittes der Fluth in der Gegend von Hamburg. Nach Beobachtungen am 8. September 1841, aus Tabelle I.<br>Fig. 8. Desgleichen in der Gegend von Tiefenstack bis Spadenland. Nach Beobachtungen desselben Tages, aus Tabelle I. |
| *)    | " "     | III.  | Fig. 9. Desgleichen in dem obersten Theile des Fluthgebietes von Ortkathen bis Altengamm. Nach Beobachtungen desselben Tages, aus Tabelle I.<br>Fig. 10 <sup>a</sup> . Profil der Elbe bei Geesthacht oberhalb der Fluthgrenze, gemessen im Jahre 1839.<br>Fig. 10 <sup>b</sup> . Profil der Elbe bei Fährmannssand, gemessen im Jahre 1841.<br>Fig. 13 bis 15. Profile der Elbe bei Geesthacht, aus einer Elbkarte vom Jahre 1773.   |

<sup>1)</sup> Die mit \*) bezeichneten Tafeln sind nicht abgedruckt.

## Erster Abschnitt

Ueber die Nutzbarkeit von Wasserstandsbeobachtungen  
im Fluthgebiete zur Ausmittelung der Durchflussmenge  
und mittleren Geschwindigkeit in allen Zeitpuncten  
der Fluth und Ebbe

## §. 1.

## Einleitung

Allgemeine Wahrnehmungen über einige Wirkungen der Meeresfluth in Flussmündungen.

Die folgenden allgemeinen Wahrnehmungen werden für diejenigen, welche die durch die Meeresfluth veranlassten Anschwellungen eines Flusses anhaltend zu beobachten selbst Beruf und Gelegenheit haben, nur wenig Neues enthalten, und ich könnte vielleicht, sie als bekannt voraussetzend, sogleich zu dem eigentlichen Gegenstande dieser Abhandlung übergehen. – Allein ich fürchte, dass alsdann Manches bei solchen Lesern an Deutlichkeit verlieren würde, welche sich über das Verhalten und die Bewegung der Fluthmasse in Flussmündungen keine eigne längere Anschauung verschaffen können.

Der Gegenstand gehört in der That zu den schwierigeren, da die Wirkungen allgemeiner Gesetze und Regeln zwar, im Grossen und Ganzen angesehen, unverkennbar sind, in der einzelnen Erscheinung aber durch eine Menge von Nebenumständen dergestalt verhüllt und modificiert werden, dass man, meiner Ansicht nach, sich nicht darüber wundern, und noch weniger es strenge tadeln darf, wenn selbst angesehene Schriftsteller bei Berührung dieses Gegenstandes nicht frei sind von Unklarheit der Darstellung und Confundirung verschiedenartiger Umstände und Einwirkungen.<sup>1)</sup> – Wenige gehen überhaupt tief in diese Materie ein.

Die Kenntniss von dem Phänomen der Ebbe und Fluth *im Meere*, ihres Fortschreitens und ihrer Ursachen voraussetzend, beschränke ich mich zunächst auf die Anführung der allgemein Statt findenden Wahrnehmungen, welche die Wirkungen jener periodischen Hebung und Senkung des Meeresspiegels in den unteren Theilen der Flüsse betreffen.

1. Das Fortschreiten der Fluth ist verschieden von der Geschwindigkeit des Fluthstromes. Fluth und Ebbe schreiten wie die beiden Abhänge einer Welle in einer und derselben Richtung mit grosser Schnelligkeit fort. – Fluth und Ebbestrom sind die Effecte des dadurch entstehenden Abhanges und viel langsamer. – So ist es auch in offener See.<sup>2)</sup>

2. Die Dauer der Fluth nimmt ab, die Dauer der Ebbe nimmt zu, je weiter man von der Mündung stromaufwärts fortschreitet.

---

1) So BERGHAUS „Länder- und Völkerkunde“, welcher z. B. an einer Stelle das Fortschreiten der Fluthwelle mit dem Fluthstrome confundirt und Letzterem auf der Elbe eine Geschwindigkeit von 1 Meile in 23 Minuten zuschreibt.

WIEBEKING in seiner Abhandlung „Von der Natur der Flüsse, der Seemündungen und Meerbusen, in welche die Fluth einströmt“, Bd. II. der allgemeinen Wasserbaukunst, welcher viel Unrichtiges und Zweifelhaftes mit manchen trefflichen Beobachtungen vermischt, und, wenn überhaupt eine Vorstellung, jedenfalls eine verworrene und unrichtige gewährt.

Ueber die grossen Fortschritte, welche die Kenntniss der Ursachen und Gesetze des Phänomens der Fluth in der neueren Zeit gemacht hat, sind LUBBOCK Elementary treatise on the Tides London 1839, so wie die betreffenden Abhandlungen von WHEWELL in den Philosoph. Transact. nachzusehen.

2) The crest of the wave travels with immense rapidity over the open ocean, and gives rise to a slow current of the particles of water, with which however it must not be confounded. LUBBOCK Treatise p. 30.

3. Die periodischen Erhebungen und Senkungen des Wasserspiegels im Flusse erstrecken sich unter allen Umständen weiter aufwärts, als der Fluthstrom. Es giebt eine Gegend im Flusse, wo das Wasser periodisch steigt und fällt, während der Strom ununterbrochen in der Richtung der Ebbe (oder nach der Mündung zu) fließt. Man kann diese Erscheinung durch die Benennung „Rückstau“ bezeichnen.

4. Die Grenzen dieser Gegend, sowohl die *obere*, welche hier die *Fluthgrenze*, als die *untere*, welche die *Grenze des Fluthstromes* genannt wird, sind sehr veränderlich. – Ist der Fluss von Oberwasser hoch angeschwellt, so werden beide Grenzen näher nach der Mündung gerückt. Ist der Stand des oberen Flusses niedrig, so reicht der Rückstau, so wie auch der Fluthstrom höher hinauf. Eine entgegengesetzte Wirkung äußert die verschiedene Höhe der Meeresfluth, ist diese höher, so rücken beide Grenzen stromaufwärts, ist sie geringer, so nähern sie sich der Mündung.<sup>1)</sup>

5. An den Orten, wo ein wirklicher Wechsel des Stromes Statt findet, trifft doch der Zeitpunkt desselben nicht nothwendig mit dem Zeitpunkte des höchsten und niedrigsten Wassers zusammen; vielmehr geht, in der Nähe der Mündung, in der Regel noch eine Zeitlang Fluthstrom, wenn das Wasser daselbst schon beginnt zu fallen; und in der oberen Gegend des Fluthgebietes in der Regel noch eine Zeitlang Ebbestrom, wenn das Wasser dort schon beginnt zu steigen.<sup>2)</sup>

Der Zeitraum zwischen den beiden Uebergängen von Fluthstrom in Ebbestrom, und von Steigen in Fallen des Spiegels, ist sehr veränderlich.

6. Die Höhen-Differenz zwischen Hochwasser und Niedrigwasser nimmt in der Regel stetig ab, so wie man weiter stromaufwärts geht, doch können Localbeschaffenheiten Abweichungen davon verursachen.

7. Die (sub 3 erwähnten) Ursachen, welche die Fluthgrenze der Mündung nähern, vermindern die Höhen-Differenz zwischen Hoch- und Niedrigwasser in dem oberen Theile des Fluthgebietes<sup>3)</sup>, und können dort sogar die periodische Erhebung und Senkung eine Zeitlang ganz aufheben.

8. Alle Wirkungen der Meeresfluth in Flussmündungen sind wegen ihrer Abhängigkeit von der Witterung steten Veränderungen unterworfen. Es kommen selten oder nie zwei Fluthen vor, bei denen alle Umstände ganz übereinstimmen.<sup>4)</sup>

9. Die Eintrittszeiten lassen sich nach bekannten, aus der Theorie und Erfahrung abgeleiteten Regeln für jeden Ort annähernd im Voraus berechnen, und die Abweichungen nach der jedesmaligen Beschaffenheit der Witterung muthmassen. Die Vorausberechnung der Höhen ist, wenigstens in unserer Gegend, sehr unsicher, und hat selbst da, wo in den

<sup>1)</sup> W. A. BROOKES Treatise on the improvements of rivers. Lond. 1841, stellt den Berichten CONDAMINE's über den Amazonen-Strom diejenigen des Lieut. II. L. MAW und Lieut. W. SMYTH v. d. R. N. zur Seite, und bemerkt, dass Letztere zu Obydos (dem Fort de Pauxis des Condamine) noch keine Spur von Fluth und Ebbe fanden, während CONDAMINE diesen Ort als die Fluthgrenze bezeichnet. Letzterer beobachtete den Fluss beim Sommerwasser. Erstere im Zustande der Anschwellung.

Im Guayaquil reicht die Fluth beim Sommerstande des Flusses bis Baba-hoyo, 50 Lieues von der Mündung; bei den Winter-Anschwellungen nur bis in die Gegend von Guayaquil, 25 Lieues von der Mündung. – BROOKES a.a.O.

<sup>2)</sup> The persuasion that in waters affected by the Tides, the water rises while it runs one way, and falls while it runs the other, though wholly erroneous, is very general. WHEWELL.

<sup>3)</sup> S. BLOHM Erörterung der Mittel etc. p. 36 seqq.

<sup>4)</sup> Vergl. TETENS Briefe, 9ter und 41ster Brief, Anhang, wo jedoch nicht immer Fluthstrom und Erhebung des Wassers streng auseinander gehalten sind.

Oscillationen der Fluth eine grössere Regelmässigkeit Statt findet, z. B. an der Themse, grosse Schwierigkeiten.<sup>1)</sup>

Dies alles sind, wie bemerkt, ziemlich bekannte und fast allgemein gültige Erfahrungssätze, wenigstens sind mir keine Localitäten, weder durch eigene Ansicht, noch aus schriftlichen Nachrichten, bekannt geworden, welche im Wesentlichen Abweichendes darbieten. Die Betrachtung des Fortschreitens der Fluth in Flussmündungen leitet aber noch auf manche andere Erscheinungen, deren *Abhängigkeit von der Localität* unverkennbar ist, und deren Untersuchung und Aufklärung ein sehr anziehendes Studium ausmachen. Die folgenden Paragraphen werden Veranlassung geben, einige derselben zu berühren, und so weit zu erörtern, als es ohne den Hauptzweck dieser Abhandlung, nemlich die Benutzung von Beobachtungen des Steigens und Fallens des Wasserspiegels zur Vervollkommnung der hydrometrischen Arbeiten in den der Fluth unterworfenen Theilen der Flüsse, aus den Augen zu verlieren, thunlich scheint.

## §. 2.

### Bedeutung hydrometrischer Arbeiten im Fluth-Gebiete

Dem practischen Hydrotechniker sind wegen der steten Veränderungen in den *Fluthhöhen*, denen irgend eine zutreffende Regel abgewinnen, selbst die mit der Theorie der Fluthbewegung vertrauesten Schriftsteller bis jetzt wenig Hoffnung aussprechen,<sup>2)</sup> meistens nur die Durchschnittszahlen (die *ordinäre* Fluth, die *ordinäre* Ebbe) und dann die äussersten Grenzen, bis zu denen die Fluth sich erheben und die Ebbe herabsinken kann, von Wichtigkeit. – Die zwischenliegenden Höhen *während* der Fluth und *während* der Ebbe werden bis jetzt in der Praxis selten gebraucht, wenn auch ein Jeder sie in seinem Districte an diesem oder jenem Punkte zuweilen beobachten wird.

Selbst Geschwindigkeitsmessungen und Ausmittelungen der Gefälle werden selten als wesentliche Hilfsarbeiten in Stromgebieten vorkommen, wo die Geschwindigkeit des Stromes täglich zweimal von 2 bis 3 Fuss positiv durch Null bis zu 2 à 3 Fuss negativ sich ändert, und wo das Längenprofil des Flusses in jedem Augenblick ein anderes ist, der Fluss niemals in Beharrungszustand kommt.

Wenn es sich aber um erhebliche Beugung des Stromes, um Coupirung einzelner Arme oder andere tief eingreifende Veränderungen handelt, so können Fälle vorkommen, in denen es wünschenswerth ist, die mittlere Stromgeschwindigkeit und Durchflussmenge für bestimmte Zeitpunkte und Umstände kennen zu lernen, und falls dieses erfordert wird, in einem Theile des Stromes, wo der Einfluss des Windes schon merklich, das Profil ausgedehnt, durch Sande und Untiefen in mehrere Stromrinnen von grosser Tiefe getheilt ist, so häufen sich die Schwierigkeiten zur Erlangung eines brauchbaren Resultates durch *unmittelbare* Messung, so sehr, dass man geneigt ist, davon abzustehen, und sich mit den Schlussfolgerungen zu begnügen, welche aus der gegenseitigen Lage der mittleren Ebbehöhen und aus einzelnen Messungen und Beobachtungen zu ziehen sind, und die auch bei verständiger Benutzung zu richtigen Maassnahmen führen können.

1) With regard to the accuracy of predictions of the *time* of high water they will sometimes, but rarely, be out an hour owing to accidental causes; generally, however, they may be depended upon to within ten minutes.

The *heights* are liable to still greater irregularities from accidental causes; and this is the more to be regretted, as disastrous effects often arise from unexpected and unusually high tides. – LUBBOCK treatise on the Tides.

2) LUBBOCK, siehe oben.

Gäbe es indess eine Methode zur sicheren Auffindung dieser Grössen (der Stromgeschwindigkeit und der Durchflussmenge für grosse Stromprofile) in beliebig zu wählenden Zeitpunkten der Fluth oder der Ebbe, so ist nicht zu bezweifeln, dass diese eben so sehr von practischem Nutzen als von wissenschaftlichem Interesse seyn würde.

### §. 3.

Bisherige Methoden zur Auffindung der mittleren Geschwindigkeit und Beschränkung der Anwendbarkeit derselben

Um die mittlere Geschwindigkeit in einem gewissen Profile auszumitteln, sind, so viel mir bekannt, zwei Methoden im Gebrauche, nemlich:

1) die Berechnung derselben aus dem Abhange und dem mittleren Halbmesser des Profiles, und

2) die Berechnung derselben aus unmittelbaren Geschwindigkeitsmessungen.

Den Umständen nach wird bald die eine, bald die andere Methode vorzuziehen seyn, und es ist hier nicht meine Absicht, in eine weitere Vergleichung derselben einzugehen, sondern nur zu bemerken, dass die erstere für grosse Ströme schon deshalb in den meisten Fällen unanwendbar ist, weil die Messung des Abhanges derselben nur am Ufer geschehen kann, und der Abhang im Stromstriche häufig von demjenigen am Ufer mehr abweicht, als die Formeln ohne erhebliche Beeinträchtigung des Resultates ertragen können. – Wo das Flussbett durch Sande in mehrere Rinnen getheilt ist, kann der Abhang so verschieden an verschiedenen Stellen der Breite ausfallen, dass an eine unmittelbare Messung desselben nicht zu denken ist.<sup>1)</sup>

Dass die zweite Methode auch in grossen Strömen genaue Resultate liefern könne, beweisen unter andern die Messungen von BRÜNINGS, welche WOLTMAN im 3ten Bande seiner Beiträge mittheilt, doch wird Genauigkeit des Resultats nur dann zu erreichen seyn, wenn, wie es von den holländischen Ingenieuren geschah, das Profil nach der Breite in mehrere Abtheilungen getheilt und die wirkliche Geschwindigkeit in einer Reihe von Perpendicularen und in verschiedenen Abständen von der Oberfläche gemessen wird.

Bei Berechnung der mittleren Geschwindigkeit aus *einzelnen* Geschwindigkeitsmessungen, welche im Stromstriche an der Oberfläche genommen werden, wird man dagegen dem Resultate immer nur einen durch die Grösse des Profils bedingten Werth zugestehen können.

<sup>1)</sup> MINARD Cours de Construction, Par. 1841, p. 37, sagt, indem er von Flüssen redet, in denen Ebbe und Fluth *nicht* Statt findet, über diese Berechnungsweise Folgendes:

La formule du mouvement uniforme quoique, dans plusieurs vas d'accord avec l'expérience, est cependant d'une application difficile, par les raisons que nous allons déduire.

1. Cette formule, comme tous les autres, *suppose le produit constant*, et il faut en effet qu'il en soit ainsi pour que les éléments qui la composent soient fixés. Si la rivière est en crue on en baisse *elle modifie ces éléments*, et pour être sûr que le changement est opéré, il faut attendre que les eaux soient restées au même niveau pendant un certain temps. Or nous avons vu qu'une rivière n'était presque jamais dans un état constant, et que l'époque où elle en approchait le plus était l'étiage; ce n'est donc que dans ce moment qu'on peut appliquer le calcul. – Er weiset dies an dem Beispiele der Mosel näher nach, und fährt dann fort:

2. Cette formule contient deux éléments bien délicats à établir, à savoir la pente et le périmètre mouillé. Lorsque la pente d'une rivière varie, elle ne peut être appréciée, pour chaque section, que sur une petite longueur. Si l'on obtient la pente par deux coups de niveau, elle peut être affectée de l'erreur possible dans cette opération, erreur à laquelle s'ajoutera peut-être celle qu'on fait dans la détermination de la surface de l'eau. – Il est donc très-possible de commettre une erreur totale de 4 ou 5 millimètres dans le nivellement de 100 mètres de longueur, erreur qui aura d'autant plus d'influence que la pente de la rivière sera faible. Et d'ailleurs *on détermine la pente sur les bords et non au milieu* où il serait plus rationnel d'aller la chercher.

In einem Profile nun, wo Ebbe und Fluth wechseln, mithin die Geschwindigkeit veränderlich ist, fällt die Möglichkeit, auf dem von BRÜNINGS eingeschlagenen Wege zum Zwecke zu gelangen, um so mehr weg, je grösser das Profil ist.<sup>1)</sup> Denn es ist klar, dass in diesem Falle nur *gleichzeitige* oder wenigstens sehr nahe gleichzeitige Messungen gebraucht werden können, und dass also die Anzahl der erforderlichen, in Behandlung von Mess-Instrumenten geübten Beobachter und die sonstigen Anstalten sehr bald die Grenzen übersteigen, auf welche man in allen gewöhnlichen Fällen angewiesen ist. – Ja, wer die Schwierigkeit einiger weniger genauer Geschwindigkeitsmessungen auf einem nur durch Anker festzulegenden Fahrzeuge in einer dem Winde ausgesetzten Stromgegend und innerhalb engbegrenzter Zeiträume erfahren hat (der zufälligen Störungen durch lebhaftere Schifffahrt, namentlich Dampfschiffe, und der Contraction des Stromes in der Gegend der Oberfläche, durch das Fahrzeug des Beobachters, nicht zu gedenken), der wird sich der durch diese Methode gewonnenen Werthe für die mittlere Geschwindigkeit und für die durchfliessende Wassermenge nur da bedienen wollen, wo nicht ausserdem Fluth und Ebbe fast unübersteigliche Schwierigkeiten hinzufügen.

#### §. 4.

Darstellung einer dritten Methode zur Bestimmung der Durchflussmenge und mittleren Geschwindigkeit in Stromprofilen des Fluthgebietes

So schwierig es nach Obigem ist, *viele gleichzeitige Stromgeschwindigkeitsmessungen* zu erhalten, so einfach und leicht ist es, an vielen und selbst einige Meilen weit von einander entfernten Orten *den Stand des Wassers* genau und gleichzeitig beobachten zu lassen, indem man hierzu gewöhnliche Aufseher, Stackmeister und sonstige untergeordnete Gehülfen als Beobachter nehmen, ohne enorme Kosten die Beobachtungen Tagelang fortsetzen und dieselben so lange wiederholen kann, bis man das Ergebniss als genügend erkennt. – Wichtiger noch ist indess der Umstand, dass bei diesen Beobachtungen der Grad ihrer Genauigkeit ziemlich sicher erkennbar ist, wenn man die Zeiträume von einer Notirung zur andern klein und die benachbarten Beobachtungsorte nicht zu entfernt von einander nimmt. – Denn da in den Wirkungen der Fluth immer eine gewisse Stetigkeit Statt findet, die Abweichungen vom gewöhnlichen Gange theils aus gleichzeitigen Wind- und Wetter-Beobachtungen, theils aus localen Ursachen sich erklären lassen, oder wenn entfernte Ursachen einwirkten, auch an den benachbarten Pegeln gleiche Wirkungen wahrnehmbar gewesen seyn müssen, so kann man nicht leicht eine wesentlich unrichtige Beobachtung für richtig passiren lassen. Dies führt darauf, aus der *Erhebung und Senkung des Wasserspiegels, von dem Profile* an, dessen Berechnung man sich als Aufgabe gestellt hat, *bis zu der Fluthgrenze* hinauf, die durch jenes Profil aus- und einströmende *Wassermenge* für gewisse Zeiträume directe abzuleiten, die Geschwindigkeitsmessungen dagegen nur als Hülfsmittel zur Bestimmung der *oberen Zuflüsse*, bei denen sie durch den Wechsel von Fluth und Ebbe nicht erschwert werden, zu benutzen.

Wenn eine hinreichende Anzahl genauer Strompegel in dem betreffenden Stromdistricte vorhanden, und ihr Stand in Bezug auf eine feste Normallinie durch zuverlässige Nivellements

<sup>1)</sup> So enthalten z. B. die Profile, auf welche es bei Blankenese ankommen würde, bei einer Breite von 5000 à 6000 Fuss, grösste Tiefen von 30 bis 45 Fuss, und der Unterschied zwischen ordinär Hochwasser und ordinär Niedrigwasser beträgt ca. 8 Fuss. – BRÜNINGS mass in einem Profile von ca. 1800 Fuss Hamb. breit und von 16 Fuss grösster Tiefe die Geschwindigkeit an 100 verschiedenen Stellen.

bekannt ist, und wenn man vollständige Stromkarten besitzt, aus denen die Flächengröße des Wasserspiegels bei den verschiedenen Wasserständen entnommen werden kann, so erfordert diese Methode keine weitere Vorarbeiten, als die, unter allen Umständen nöthige, genaue Ausmessung des Profils, welche durch Sondirungen und Distanzmessungen geschieht.

Im Uebrigen ist das Verfahren so einfach, dass ich nicht glaube, dasselbe im Allgemeinen noch weiter beschreiben zu müssen. – Man sieht das ganze Stromgebiet, zwischen dem in Rede stehenden Profil und der Fluthgrenze, als ein Bassin an, in welches einerseits die Fluth, andererseits eine Anzahl von oberen Zuflüssen einströmt. Die Oberfläche der einzelnen Abtheilungen des Bassins, so wie die oberen Zuflüsse sind entweder bekannt oder werden durch Messungen und Berechnungen ermittelt, die Erhebung des Wasserspiegels wird beobachtet, und aus allen diesem die durch das untere Profil eingeströmte Fluthmasse abgeleitet.

Bei der Ebbe hat man dieselben Data, nur dass hier die oberen Zuflüsse zu der aus der Senkung des Wasserspiegels abgeleiteten Wassermenge addirt werden müssen, um die ganze ausströmende Wassermenge zu erhalten.

Für die Anwendung werden indess verschiedene Punkte einer sorgfältigen Erörterung bedürfen, bei welcher, wo es die Deutlichkeit erfordert, auf den in der beigefügten Karte Taf. I. dargestellten Fall Bezug genommen wird. Diese enthält den Theil der Elbe von Schulau bis nach Geesthacht. An ersterem Orte beträgt der Unterschied zwischen der ordinären Ebbe und der ordinären Fluth ca.  $8\frac{1}{4}$  Fuss und in der Gegend von Geesthacht befindet sich in der Regel die äusserste Grenze des Rückstaus der Fluth. – Die ganze Ausdehnung dieser Stromstrecke beträgt ungefähr  $8\frac{1}{2}$  geographische Meilen.

Auf dieser Karte sind mit No. 1 bis 22 diejenigen Punkte bezeichnet, an denen am 8. September d. J. die in der Tabelle I und V zusammengestellten Beobachtungen gemacht sind; ferner mit den Buchstaben a, b, c, d diejenigen Punkte, an denen am 28., 29. und 30. Juli, gleichzeitig mit mehreren der obenerwähnten Punkte, die in Tab. II und VI enthaltenen Beobachtungen angestellt sind; endlich mit den Buchstaben e, f, g, h, k, l diejenigen Punkte, an denen die in Tab. IV und VIII verzeichneten Beobachtungen am 4. December d. J. gemacht wurden.

Alle Beobachtungen gehen von Viertelstunde zu Viertelstunde, und die Höhen beziehen sich auf die Horizontale durch den Nullpunct des Hamburger Fluthmessers.<sup>1)</sup>

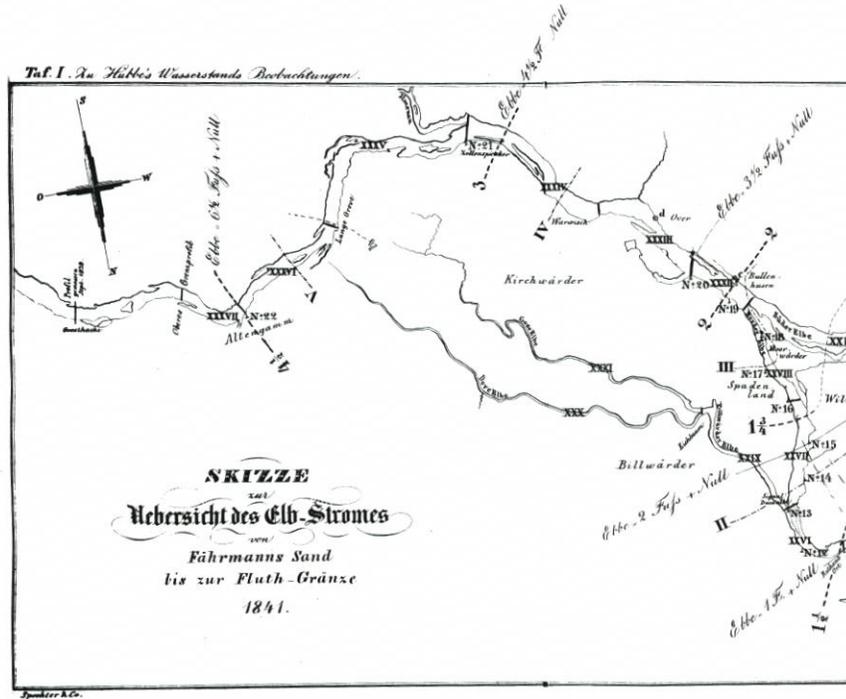
### §. 5.

#### Die Anordnung der Beobachtungspunkte – Form der Fluthwelle

Die Beobachtungspunkte sollen einander so nahe liegen, dass man das arithmetische Mittel der Erhebung oder Senkung des Spiegels an je zweien, für die Erhebung oder Senkung der zwischenliegenden Stromstrecke nehmen, oder mit andern Worten, dass man das Längen-

<sup>1)</sup> Die Verzweigungen des Elbstromes in dem oberen Theile des Fluthgebietes lassen denselben nicht gerade als den geeignetsten Strom erscheinen, um durch die Anwendung dieser Methode zu *allgemeinen* Resultaten zu gelangen, denn die Arbeit wird durch den angeführten Umstand jedenfalls erschwert. Vielleicht ist kein Fluss geeigneter, um an ihm die allgemeinen Gesetze auf diesem Wege mit Sicherheit zu erforschen, als der Clyde, wenn die Operationen vollendet sind, welche ich im Jahre 1836 in Arbeit sah, und über die eine kleine Broschüre: „D. LOGAN Report on the improvement of the river Clyde and port of Glasgow 1835“, Nachricht giebt. Der Fluss ward in einer Länge von  $13\frac{1}{2}$  englischen Meilen von Dumbarton bis Glasgow mittelst steinerner Dämme in regulärer Breite eingefasst und auf gleichmässige Tiefe ausgebagert. An ersterem Orte steigt die Fluth  $9\frac{1}{4}$  Fuss, an letzterem  $6\frac{1}{4}$  Fuss.

Allein auch an der Elbe sind sichere Resultate zu erlangen, nur erfordern sie etwas mehr Mühe und Beharrlichkeit.



profil von einem bis zum andern für eine gerade Linie gelten lassen kann. – Ganz strenge ist dies niemals zu erreichen, weil alsdann, wenn der Eintrittspunct der Ebbe oder der Fluth sich zwischen zwei Beobachtungspuncten befindet, eine nach der Länge des Flusses in dessen Oberfläche liegende Linie nothwendig gekrümmt seyn muss, und zwar im ersteren Falle nach oben *convex*, im zweiten *concau*. – Auch in den meisten zwischen Hoch- und Niedrigwasser liegenden Zeitpuncten wird diese Linie, welche wir der kürzeren Bezeichnung wegen die *Längen-Curve* des Stromes nennen wollen, gekrümmt seyn, weil das Maass der Erhebung oder Senkung des Wasserspiegels sich ändert, so wie die Fluth fortschreitet.

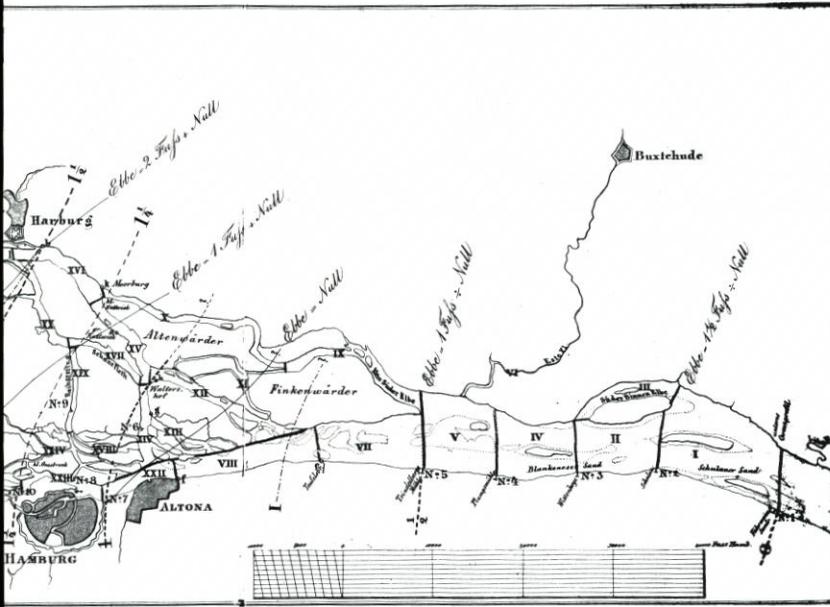
Es kommt demnach darauf an, nach bekannten Beobachtungen zu ermitteln, wie weit man wohl ohne Nachtheil die Krümmung dieser Curve vernachlässigen könne, um darnach die Entfernung dieser Beobachtungspuncte passend zu bestimmen.

*Der Regel nach* ist in dem *oberen* Theile des Fluthgebietes die *Längen-Curve* am stärksten gekrümmt bald nach dem Eintritte der Fluth, indem um diese Zeit an der einen Seite des Scheitelpunctes die schnellste Erhebung, und an der andern Seite desselben eine sehr langsame Senkung Statt findet.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dies ist eine ziemlich bekannte Wahrnehmung. Vergl. z. B. TETENS 60sten Brief. LUBBOCK führt folgende hierher gehörige Aeusserung des Hrn. RUSSELL (7th Report of the British Association p. 426) an:

The Tide appears to be a compound wave, one elementary wave, bringing the first part of flood tide, another the high water, and so on; these move with different velocities. On approaching shallow shores the anterior tide waves move more slowly in the shallow water, while the posterior waves moving more rapidly, diminish the distance between successive waves. – The tide wave becomes thus dislocated, its anterior surface rising more rapidly, and its posterior surface descending more slowly than in deep water. – LUBB. p. 19.

BRAHMS sagt in Beziehung auf Beobachtungen, welche er *in der Jahde, nahe der See*, anstellte, Folgendes, p. 73:



Für den Zeitpunkt des Eintritts der Ebbe, oder für den andern Scheitelpunkt der Curve findet man in der Regel eine sehr schwache Krümmung, indem sowohl das letzte Steigen der Fluth auf der einen Seite, als das erste Fallen der Ebbe auf der andern sehr langsam erfolgt.

Für die zwischenliegenden Punkte scheint eine Regel nicht nachweislich zu seyn, sondern man findet bald ein stärkeres, bald ein langsames Steigen oder Fallen in gleichen Zeiträumen, wofür, wenn es an einer Reihe von Pegeln übereinstimmend wahrgenommen ist, vielleicht keine andere Erklärung gegeben werden kann, als der Einfluss zufälliger Witterungs-Verhältnisse, namentlich der abwechselnden Richtung und Stärke des Windes in See,<sup>1)</sup> durch welche bei einer und derselben Fluth die Regelmässigkeit ihrer Erhebung gestört wird, und wovon die Einwirkung auf dem ganzen Wege dieser Fluthwelle wahrnehmbar seyn kann.

Sind dagegen die Erhebungen oder Senkungen eines Pegels von den benachbarten, ohne wahrnehmbare Regelmässigkeit, abweichend, so kann man auf Beobachtungsfehler schliessen.

Die Fluth und Ebbe steigt und fällt nicht zu allen Zeiten gleich viel; sondern von dem Augenblicke an, da die Elbe am allerniedrigsten geworden, fängt's allmählich wieder an zu wachsen, *anfänglich gelinde, nachgerade immer stärker, bis zur mittleren Fluth, da es am allerschneltesten wächst*; von da an nimmt das Wachsen bis zur vollen Fluth allmählich wieder ab. Auf gleiche Weise, wie es nun gestiegen, so fällt es auch oder ebnet wieder ab.“ – Er theilt hierauf eine Tabelle mit, welche dem Anscheine nach die Mittelzahlen aus mehreren Beobachtungen enthält, und nach der ich die in Fig. 2 dargestellte Curve aufgetragen habe, deren Vergleichung mit den in Fig. 3, 4, 5 dargestellten Cuxhavener und Hamburger Curven nicht ohne Interesse ist. – Diese Linien beweisen, dass an unseren *Seeküsten* die stärkste Erhebung *gegen die Mitte der Fluthzeit*, weiter *stromaufwärts* aber *nahe dem Anfange* derselben fällt, wie oben bemerkt wurde.

<sup>1)</sup> Solche Fälle selbst grosser Unregelmässigkeiten in dem Steigen und Fallen einer Fluth, ohne bemerkbare Veranlassung, sind nicht selten, und Jedem, der häufig auf dem Wasser verkehrt, bekannt. – TETENS a. a. O. p. 364 macht auf Aehnliches aufmerksam, und weist ebenfalls auf die Richtung und Stärke des Windes in See hin.

Regelmässige Abweichungen aber an einem einzelnen Punkte, z. B. ein einige Zeit anhaltender höherer Stand bei steigendem, und ein niedrigerer bei fallendem Wasser (oder umgekehrt), mit allmählichem Uebergange in das Niveau des Hochwassers, oder in den Abhang der Ebbe, deuten auf locale Ursachen, Beengung des Bettes durch Untiefen, einmündende Zuflüsse und dergl.

Beobachtungen, welche von den benachbarten Pegeln bei Fluth und Ebbe nach einer und derselben Seite abweichen, also die Curve an dieser Stelle immer convex oder immer concav geben, lassen ein unrichtiges Nivellement vermuthen, und die Stellung eines solchen Pegels muss geprüft werden.

Von den in den beigefügten Tabellen enthaltenen Beobachtungen sind diejenigen vom 11. September (Tabelle III und VII) vorzugsweise zu solchen Untersuchungen geeignet, welche genauere Bestimmungen erfordern, weil sie von der Witterung mehr als die übrigen begünstigt wurden, wiewohl auch bei ihnen das Wetter nicht vollkommen günstig war. – Ehe wir in das Detail dieser Beobachtungen eingehen, wird es dienlich seyn, hier dasjenige anzuführen, was über die *Form der Fluthwelle* in Flussmündungen im Allgemeinen sich sagen lässt.

Um sich die Sache anschaulich zu machen, kann man zuvörderst sich den Fluss als einen horizontalen, überall gleich breiten und tiefen Canal vorstellen, in welchem die Fluth nach Art einer nur seitwärts begrenzten Welle, ungehindert durch Abhang des Flusses und ohne Aufstau von oben zufließender Gewässer fortschreitet. Das so erhaltene Bild ist freilich nicht mit der Wirklichkeit übereinstimmend, allein da die letztere, wenn man nicht mit der Sache sich speciell beschäftigt hat, nicht ganz leicht aufzufassen ist, so dürfte jene Darstellung vorerst genügen.

Werden also vorläufig jene Voraussetzungen angenommen, und alle, das gleichmässige Fortschreiten der Fluthwelle störende Nebenumstände bei Seite gesetzt, so ist klar, dass man die Gestalt derselben erhalten würde, wenn man

- a. die Höhe des Wasserstandes an einem beliebigen Punkte des Flusses während einer ganzen Fluth- und Ebbezeit in bestimmten Zeitabschnitten beobachtet;
- b. den Raum, welchen die Fluthwelle während dieser Zeit nach der Länge des Flusses durchläuft, ausmittelt;
- c. diesen Raum auf eine mit den Beobachtungszeiten correspondirende Weise eintheilt, und
- d. in den Theilungspuncten die zugehörigen beobachteten Höhen als Ordinaten aufträgt.

Die Curve durch die Endpuncte der Ordinaten wird alsdann die Fluthwelle darstellen.

Die Fig. 1 stellt diese Curve für die am 11. September d. J. an dem Pegel No. 3 beobachtete Fluth dar, wenn man annimmt, dass die Fluthwelle hier, wo sie noch nicht erheblich durch den Abhang des Flusses und Contraction der Ufer aufgehalten wird, in einer Viertelstunde um ca. 16,000 Fuss fortschreitet.<sup>1)</sup>

Der Höhenmaassstab dieser Zeichnung ist 4000 mal grösser als der Längenmaassstab gewählt.

In der Wirklichkeit erleidet nun die Form dieser Curve mancherlei Abänderungen. – Diejenigen, welche von Unregelmässigkeiten des Flussbettes herrühren, kann man vorläufig bei Seite setzen, weil sie einer allgemeineren Besprechung kaum zu unterziehen seyn mögten, dagegen ist die von dem natürlichen Abhange des Flusses entstehende um so sorgfältiger in Betracht zu ziehen.

<sup>1)</sup> Nach BREMONTIER's Beobachtungen ist die mittlere Geschwindigkeit der Fluthwelle von der Mündung der Gironde nach Bordeaux beinahe 25 Fuss pr. Secunde, also etwa 22,000 Fuss in der Viertelstunde. S. BROOKS Improvements of rivers.

Zur gründlichen und vollständigen Aufklärung derselben reichen indess die vorliegenden Beobachtungen bei weitem nicht hin, indem diese von den 19 Meilen, welche die Fluthwelle von Cuxhaven bis Geesthacht durchläuft, wie bereits bemerkt, nur ca.  $8\frac{1}{2}$  Meilen umfassen. Es gewährt indess schon eine Annäherung, die Curve nach den Beobachtungen einer und derselben Fluthzeit für Cuxhaven und Hamburg zu construiren, und habe ich deshalb den Wasserstand während der Fluth am 26., 27. und 28. Decbr. an beiden Orten von 5 zu 5 Minuten genau beobachten lassen. Die Witterung war an den ersten beiden Tagen ausgezeichnet günstig. Am dritten Tage unruhig, wie die den Cuxhavener Beobachtungen beigefügten Notirungen des Windes nachweisen. Die am Ende dieser Abhandlung befindliche Tab. X enthält diese Beobachtungen vollständig, und die Curven, welche daraus sich ergeben, sind in Fig. 3, 4 und 5 construirt, bei welcher Construction der Höhenmaassstab 20,000 mal grösser als der Längenmaassstab genommen ist, um die kleinen Irregularitäten wahrnehmbar zu machen. Merkwürdig ist hier die schöne regelmässige Krümmung bei Cuxhaven, im Vergleich mit der mehr plötzlich in den Abhang der vorhergehenden Ebbe umkehrenden Curve bei Hamburg.

Aus den Beobachtungen vom 11. September, Tabelle III, lassen sich nun diejenigen Sätze ableiten, welche für den hier vorliegenden Zweck, nämlich für die *Ausmittlung der den Beobachtungspuncten zu gebenden Entfernung* die nöthige Anleitung verschaffen.

Aus den Figuren 5 und 6 aus Taf. II, welche die Längencurve des Stromes nach den Beobachtungen vom 11. September für die Pegel No. 2, 3, 4 und 5 darstellen, und zwar Fig. 5 während der Fluth und Fig. 6 während der Ebbe, wobei der Höhenmaassstab 1500 mal grösser als der Längenmaassstab genommen ist, erhellet nämlich:

a. dass die stärkste Krümmung dieser Curve sich auf der Fluthseite des unteren Scheitelpunctes und unweit dieses letzteren befindet (wie solches auch nach den im Eingange dieses §. bemerklich gemachten andern Erfahrungen anzunehmen war), und

b. dass eine Sehne von dem Pegel No. 2 nach No. 4, an die mit  $6\frac{1}{4}$  Uhr bezeichnete Curve gezogen, bei dem zwischenliegenden Pegel No. 3 sich um 4 Zoll von der Curve entfernt.

Diese Wahrnehmung zeigt, dass es in diesem Zeitpuncte eine erhebliche Abweichung von der Wirklichkeit seyn würde, wenn man mit Uebergang des Pegels No. 3 nur die Beobachtungen von No. 2 und No. 4 gebrauchte und aus denselben die mittlere Erhebung der zwischen diesen beiden Puncten liegenden Stromabtheilung ableiten wollte.

Bald nachher verliert sich diese starke Krümmung immer mehr, und wenn gleich gegen Ende der Ebbe dieselbe wieder bemerklich wird, so kann man doch an der gezogenen Sehne sehen, dass die Abweichung nur ca. 2 Zoll beträgt.

Da nun die Entfernungen dieser Pegel resp. 9500 und 11,000 Fuss betragen, so scheint es, dass man in dieser Stromgegend, wo der Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser ca. 8 Fuss beträgt, die Entfernung der Beobachtungspuncte jedenfalls unter 20,000 Fuss nehmen müsse, und dass es rathsam sey, nicht erheblich über die Distanz von 10,000 Fuss hinauszugehen.

Je weiter man stromaufwärts geht, desto kleiner wird der Höhen-Unterschied zwischen Ebbe und Fluth; man könnte deshalb vermuthen, dass auch die Krümmung am unteren Scheitelpuncte der Curve abnehmen werde. Mit Gewissheit voraussehen kann man, dass das Maass der Erhebung und Senkung in gleichen Zeiträumen stromaufwärts abnimmt, weshalb es vielleicht zulässig seyn werde, weiter aufwärts die Pegel in grösseren Entfernungen zu placiren.

Um hierüber aus den Beobachtungen selbst eine Ansicht zu gewinnen, sind in Fig. 7, 8 und 9 die Längencurven des Stromes für den Zeitpunkt des Eintrittes der Fluth an 3 Stellen weiter stromaufwärts, nämlich:

Tafel zu Halbes Wasserland, Beobachtungen.

Fig. 1  
Pegel Nr. 3, Sept. 11, 1841.

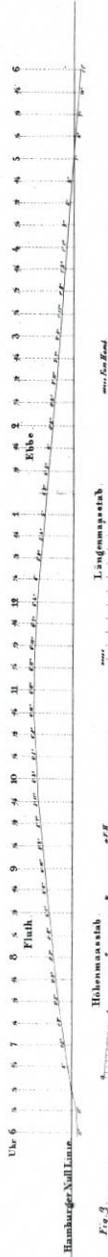


Fig. 2  
Beobachtungen zu Hamburg  
Dec. 26, 1841

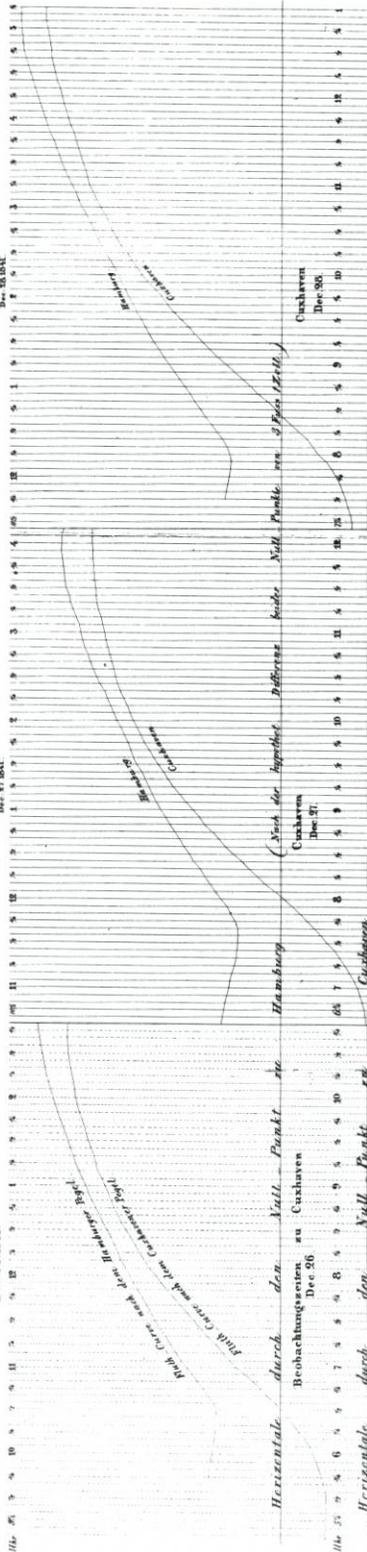


Fig. 3  
Beobachtungen zu Hamburg  
Dec. 26, 1841



Fig. 5  
Dec. 26, 1841



Fig. 7 bei den Pegeln No. 7, No. 8 und No. 10,  
 Fig. 8 bei den Pegeln No. 13, No. 14, No. 15 und No. 16,  
 Fig. 9 bei den Pegeln No. 19, No. 20, No. 21 und No. 22

dargestellt, so wie die in der Tabelle I enthaltenen Beobachtungen vom 8. September dieselben geben.

Es erhellet aus Fig. 7, dass in der Gegend von Hamburg, wo der Höhen-Unterschied zwischen Fluth und Ebbe ordinär 6 Fuss 8 Zoll beträgt, die Beobachtungspunkte nicht in grösseren Entfernungen von einander als ca. 10,000 Fuss genommen werden dürfen, wenn nicht merkliche Abweichungen entstehen sollen, indem die Pegel No. 7 und No. 10, um 12,000 Fuss von einander entfernt, bei der grössten Krümmung (um  $4\frac{1}{4}$  und  $4\frac{1}{2}$  Uhr) eine Abweichung der Curve von der Sehne an dem zwischenliegenden Pegel No. 8 geben, welche 3 Zoll beträgt.

Aus Fig. 8 ergibt sich, dass in der Gegend von Spadenland,  $1\frac{1}{2}$  Meilen oberhalb Hamburg, wo der Unterschied zwischen Fluth und Ebbe ca. 4 Fuss beträgt, die Entfernungen ohne Nachtheil grösser und auf etwa 15,000 Fuss gesetzt werden können. Da die Pegel No. 13 und No. 16 – 13,300 Fuss von einander entfernt, bei der grössten Krümmung um  $5\frac{1}{4}$  Uhr nur eine Abweichung der Curve von der Sehne an den zwischenliegenden Pegeln No. 14 und No. 15 von resp.  $\frac{1}{2}$  und 1 Zoll ergeben.

Fig. 9 zeigt, dass noch einige Meilen weiter aufwärts, bei Kirchwärder, man die Punkte noch weitläufiger nehmen kann, jedoch würde ich 20,000 Fuss etwa für die nicht zu überschreitende Grenze halten.

Die Pegel No. 20, 21 und 22 sind resp. 27,000 und 30,000 Fuss von einander entfernt.<sup>1)</sup>

Andere Rücksichten, welche hinsichtlich des Arrangements der Beobachtungspunkte sich aus den Tabellen ergeben, sind folgende:

a. Beobachtungen, welche den Stand des Hauptstromes angeben sollen, müssen nicht an Pegeln gemacht werden, die in Nebenrinnen, hinter Wärdern und Sänden stehen. – Einen solchen Stand hat z. B. der Pegel No. 1, und man kann an den dort angestellten Beobachtungen leicht die Anomalien wahrnehmen, welche insbesondere während der Ebbe sich zeigen, und die, wenn man von diesem Pegel auf den Hauptstrom schliessen wollte, zu directen Widersprüchen gegen den alsdann Statt findenden Abhang des Stromes führen würden.

b. Die Pegel dürfen auch nicht in die Nähe der Einmündung von Nebenflüssen, Entwässerungsschleusen etc. gesetzt werden, indem auch dies, namentlich bei der Ebbe, Unregelmässigkeiten und Abweichungen vom Stande des Hauptstromes veranlasst. – Ein Beispiel dieser Art ist der Pegel c, bei welchem ein Bach mündet. – (Beob. Tabelle IV.)

c. Wo der Strom getheilt ist, müssen in *beiden* Armen Pegel seyn, und bei bedeutender Strombreite und Beobachtungen an beiden Ufern gewiss nicht zu entbehren. Auch ist es rathsam, bei Bifluenzen und Confluenzen verschiedener Stromarme, und bei Irregularitäten des Flussbettes die Pegel näher bei einander zu setzen, weil dort häufig Abweichungen vom

<sup>1)</sup> In dieser Fig. 9 habe ich noch einige Linien mehr gezogen, welche eine ungefähre Ansicht des letzten Verschwindens der Fluthwelle in dem Abhange des Flusses nach den Beobachtungen des 8. September geben. Die Durchführung der Linie für *alle* Viertelstunden ist in Einer Figur ohne Verwirrung derselben nicht thunlich, doch ist es interessant, nach den in der Tabelle 1 vollständig enthaltenen Zahlen sich sämtliche Linien selbst zu ziehen. – Um ein genaues Bild des Abhanges zu geben, genügen indess diese drei Pegel nicht, sondern müsste man noch einige zwischenliegende haben. – Auch sind diese Pegel nicht wie diejenigen von No. 1 bis No. 20 durch Nivellement verbunden, sondern nach der Annahme, dass die Hochwasserlinie nahe horizontal sey, auf Hamburger Null reducirt, welches für den damaligen Zweck der Beobachtungen genügte.

regulären Steigen und Fallen wahrzunehmen sind. Dies zeigt zum Beispiel der Pegel No. 12 in der Tabelle I, an welchem eine Aufstauung bei eintretender Fluth unverkennbar ist.

Wenn diese Rücksichten bei Arrangirung der Pegel genommen werden, so bin ich der Ansicht, dass die an denselben angestellten Beobachtungen, wenn im Uebrigen nicht gefehlt wird, gebraucht werden können, um mit hinlänglicher Genauigkeit aus ihnen die Erhebung und Senkung des ganzen Stromdistrictes abzuleiten.

#### §. 6.

Aufstellung und Regulirung der Pegel. – Nivellement. – Beschreibt der obere Scheitelpunct der Fluthwelle eine Horizontallinie?

Wenn der Zweck der Beobachtungen dahin gerichtet ist, den Abhang des Stromes, oder die Form der Fluthwelle auszumitteln, so ist klar, dass die Pegelhöhen nothwendig auf eine durch Nivellement vollkommen sicher bestimmte Basis bezogen werden müssen, und da die Gefälle und Flexionen der Curve häufig äusserst klein sind, besonders in der Gegend, wo die Fluthwelle ausläuft,<sup>1)</sup> so kann man die Genauigkeit eines solchen Nivellements kaum weit genug treiben. Bei den hier vorliegenden Beobachtungen war zum Theil ein solcher Zweck vorhanden, und sind die Pegel No. 1 bis No. 20 nach einem Nivellement regulirt.

Wenn dagegen der Zweck der Beobachtungen nur dahin geht, die gleichzeitigen *Erhebungen* und *Senkungen* des Wasserspiegels zu ermitteln, so bedarf es keines Nivellements, um die Pegel aufzustellen, und es genügt, dass dieselben nach gleichem Maasse richtig und genau eingetheilt seyen. – Man befestigt die Scalen an passend gewählten Standorten in willkürlich angenommenen Höhen, jedoch so, dass sie von der niedrigsten Ebbe, so wie von der Fluth noch benetzt werden. Will man beiläufig von dem Abhange sich eine leichte Uebersicht verschaffen, so befestigt man die Pegel so, dass sie alle mit derselben Nummer in der Hochwasser-Linie einer bei ruhigem Wetter beobachteten Fluth stehen, welche man hier meistens für nahe horizontal annehmen kann.

Es ist früher oft unter Hydrotechnikern die Frage aufgeworfen worden, ob der obere Scheitelpunct der Fluthwelle nach einer horizontalen Linie fortschreite, und es wäre wünschenswerth, dieselbe in Bezug auf die Elbe durch Vergleichung zuverlässiger Beobachtungen mit einem sicheren Nivellement zur Entscheidung zu bringen. *Im Allgemeinen* wird man sich weder für noch gegen die horizontale Fortschreitung entscheiden können, denn es liegen Beispiele vor, in denen dieselbe mindestens sehr wahrscheinlich ist<sup>2)</sup>, und andere Fälle sind bekannt, in denen eine *Erhebung*<sup>3)</sup>, so wie wieder andere, in denen eine *Depression* der Fluthwelle ausser allem Zweifel steht.<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Dieser Gegenstand scheint mit von besonderem Interesse zu seyn, und ich glaube, dass es nicht unmöglich seyn dürfte, durch fortgesetzte Beobachtungen die zufälligen Einwirkungen der Witterung und die beständigen localer Ursachen gesondert zu erkennen, und vielleicht zu Schlüssen auf die Form, welche die Curve durch den Abhang des Flusses und den Aufstau des oberen Wassers annehmen muss, wenn von jenen Nebenumständen abstrahirt wird, berechtigt zu werden.

<sup>2)</sup> Nach Barometer-Beobachtungen CONDAMINE's erreicht die Fluth zu Pauxis 200 Lieues von der Mündung des Amazonenstromes dieselbe horizontale Höhe als an der Mündung.

<sup>3)</sup> Aus einem gedruckten Berichte der Ingen. ROBERT und Alan STEVENSON von Edinburgh „on the Navigation of the Tay and extension of Perth Harbour“, Ao. 1834, welchem ein

Ich hoffe, daß sich dazu in der Folge hieselbst Gelegenheit darbieten werde, und glaube, daß dieser Gegenstand des Zusammenwirkens der Hydrotechniker von der Mündung der Elbe bis zur Fluthgrenze werth seyn würde.

Was hier noch darüber zu bemerken seyn mögte, besteht in Folgendem:

a. An den 20 durch Nivellement verbundenen Pegeln, welche eine Strecke von 5 Meilen einnehmen, sind keine Beobachtungen vorgekommen, welche in dieser Gegend die Annahme einer in der Art des Fortschreitens der Fluthwelle begründeten Abweichung der Hochwasserlinie von der Horizontale rechtfertigen würden. Die kleinen Abweichungen, welche Statt fanden (vergl. Tabelle I), sind vereinzelt, und eher Beobachtungsfehlern zuzuschreiben.

b. Aus Vergleichung der nach dem Beschlusse der Schiffahrt- und Hafen-Deputation seit einiger Zeit eingeführten Fluth- und Ebbe-Register zu Cuxhaven und Hamburg ergibt sich dagegen, dass in dieser größeren Entfernung jedenfalls die Hochwasserlinie häufig merklich von der horizontalen abweicht, wie aus dem folgenden Verzeichnisse, welches ungewählt und mit Weglassung der Eintrittszeiten aus dem Register entnommen ist, und in welcher Normalfluthen mit ungewöhnlich niedrigen und mit Sturmfluthen abwechseln, zu ersehen ist.

c. Nach den älteren, mehrere Jahre hindurch fortgesetzten Beobachtungen WOLTMAN's und REINKE's zu Cuxhaven und Hamburg ist *das arithmetische Mittel* aller Fluthhöhen oder die *ordinäre* Fluthhöhe zu Cuxhaven 9 Fuss 9 Zoll über dem Nullpunkte des *dortigen* Pegels, und die *ordinäre* Fluthhöhe zu Hamburg 6 Fuss 8 Zoll über dem *hiesigen* Nullpunkt. Darnach ergibt sich eine mittlere Differenz von 3 Fuss 1 Zoll, und man nimmt hier gewöhnlich an,

---

Längenprofil des Tay beigelegt ist, erhellt, dass von Newburgh bis Perth in einer Entfernung von nur 50,000 Fuss der Scheitel der Fluthwelle um 1 Fuss 6 Zoll ansteigt. Der Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser ist zu Newburgh 12 Fuss, zu Perth 9 Fuss 6 Zoll, und der Niveau-Unterschied der beiden Niedrigwasserpunkte beträgt 4 Fuss. Ein noch auffallenderes und sehr bekanntes Beispiel bietet die Mündung der Severn oder Bristol channel dar. BROOKS führt darüber Folgendes an: „Zur Springzeit steigt die Fluth bei St. Ives in Cornwall 18 Fuss, zu Padstow 24, zu Lundy island 30, zu Minehead 36, zu Kingsroad, unfern der Mündung des Avon, 48, und bei der Mündung der Wye 50 Fuss.

<sup>4)</sup> Durch ein genaues Nivellement des Ingen. RHODES ist ausgemittelt, dass von Gloucester an der Severn aufwärts auf einer Strecke von 18½ engl. Meilen die Fluthwelle eine Depression von 2 Fuss 2 Zoll erleidet.

Offenbar ist also, dass Gestalt der Ufer, Form des Flussbettes und andere locale Ursachen in dieser Beziehung Erscheinungen hervorrufen, welche für jeden Fluss sich eigenthümlich gestalten müssen. – Dieselben werden indess für ihre Localität, so lange diese nicht abgeändert wird, constant, und müssen von den zufälligen Schwankungen, welche Wind und Wetter veranlassen, unterschieden werden können.

Welchen Einfluss *Veränderungen* in der localen Beschaffenheit des Flussbettes auf die Fortschreitung der Fluthwelle ausüben, davon finde ich ein auffallendes Beispiel in LUBBOCK Treatise on Tides p. 20 angeführt (welches aus dem seventh Report of the British Association p. 426 entnommen ist), dass nach Ausführung der *Vertiefung* einer ca. 12 miles langen Strecke eines Flussbettes (des Clyde?) der Eintritt von Hochwasser um 37 Minuten früher als sonst Statt findet, und dass daselbst die Fluthwelle, welche früher mit einer Geschwindigkeit von 10 miles pr. Stunde fortschritt, jetzt beinahe 15 miles pr. Stunde zurücklegt.

Ein neues Licht wird über diese Materie verbreitet durch die Untersuchungen, welche WHEWELL über den Stand der *mittleren Fläche der See* angestellt hat, und worüber in den Philos. Transact. Part I, 1839, Nachricht gegeben wird. – Als das Resultat derselben scheint sich herauszustellen, *dass die mittlere Meeresfläche* (d. h. die zwischen der Höhe von Hochwasser und von Niedrigwasser in der Mitte gezogene Linie) *horizontal sey*, über welche demnach die Fluth sich erhebt und die Ebbe herabsinkt, und zwar in gleichen Abständen. – In Flussmündungen, wo ein Gefälle des Flusses hinzukommt, erleidet dieses Gesetz ohne Zweifel Modificationen, welche aber auf dieser Basis gewiss aufgeklärt werden können.

dass um so viel der Cuxhavener Nullpunct niedriger liege, als der Hamburger, indem man die *ordinäre* Fluthhöhe für eine Horizontallinie gelten lässt.<sup>1)</sup>

Eine nähere Erörterung dieses Gegenstandes muss, wie bemerkt, der Zukunft vorbehalten bleiben, indem dieselbe ohne zwischenliegende Beobachtungen an beiden Ufern zu keinem Resultate führen kann, und sehr zahlreiche Beobachtungen erfordert werden, um die zufälligen und veränderlichen Einwirkungen der Witterung von den constanten der localen Verhältnisse zu sondern. – Nach dieser kleinen Abschweifung, welche indess, wie ich hoffe, manchen Lesern nicht ganz ohne Interesse gewesen ist, kehre ich zu dem eigentlichen Gegenstande dieser Untersuchung zurück.

#### §. 7.

Eintheilung der Zeiträume und erreichbarer Grad der Genauigkeit in Notirung der Höhen. – Einrichtung der Pegel

Von wesentlichem Einflusse auf die Brauchbarkeit des Resultates für den vorliegenden Zweck, nämlich die Berechnung der durch das untere Profil aus- oder einströmenden Wassermenge, ist, wie leicht zu erachten, eine übereinstimmende Zeitregulirung an den verschiedenen Beobachtungspuncten: *so dass die Erhebung oder Senkung des Wasserspiegels, welche als gleichzeitig in den Notirungen der Beobachter erscheint, wirklich ein gleichzeitig Statt gefundenes Ereigniss gewesen ist.* – Dieses einigermassen zu erreichen, bediente man sich hier des von dem bei Altona stationirten Wachtschiffe täglich zu einer bestimmten Stunde abgefeuerten Kanonenschusses, welcher fast in der ganzen Ausdehnung der Beobachtung hörbar ist, und nach welchem die Uhren der Beobachter gestellt wurden. Die entferntesten Beobachter an den Pegeln 21 und 22, welche dieses Signal nicht hören konnten, hatten so geringe Erhebungen und Senkungen zu notiren, dass der Gang gewöhnlicher Taschenuhren für hinreichend genau gelten konnte.

Wo ein solches weit hörbares Schallsignal nicht zu Gebote steht, wird man nicht wohl ohne eine ganz zuverlässige Uhr den Zweck sicher erreichen, mit welcher Jemand die Linie bereisen und nach ihr die Uhren der Beobachter reguliren muss.

Die *Eintheilung der Zeiträume*, in denen die Erhebung oder Senkung des Spiegels geschehen soll, erfordert einige Ueberlegung. – Da die Veränderung in der Wasserhöhe in gleichen Zeiträumen um so grösser wird, je mehr man sich der Mündung der Elbe nähert, so könnte man an den weiter unterhalb belegenen Beobachtungspuncten in kleineren Zeiträumen notiren lassen wollen, als weiter oberhalb; dies hat indess die Inconvenienz, dass Verwechslungen bei Zusammenstellung der Beobachtungen entstehen können. Dieselbe Bemerkung gilt von den Abtheilungen der Fluthzeit, in welche die einzelnen Notirungen fallen. Gegen Hochwasser ist überall die Erhebung und beim Anfang der Ebbe die Senkung gering: man könnte also hier die Zeiträume grösser nehmen. Allein dies würde gewiss Verwirrung in den Angaben veranlassen, und es scheint deshalb zweckmässig, *überall gleiche Zeiträume* für die Notirungen vorzuschreiben. Bei den hier vorliegenden Beobachtungen ward von Viertel-

<sup>1)</sup> TETENS a. a. O. sagt: „Wo die Fluth ganz aufhört, da kann man annehmen, dass das *Grundbette* der Elbe in derselben Horizontalfläche liege mit der Oberfläche des höchsten Wassers an der äussersten Mündung der Elbe; d. i. wie man's gewöhnlich ansieht, bei der rothen Tonne, wo die Fluth 13 Fuss hoch geht.“

Hierbei liegt offenbar ein Missverständniss zum Grunde, da die Höhe des *Bettes* in der Gegend der Fluthgrenze wohl nicht in dieser Relation mit der Fluthhöhe in See stehen kann.

stunde zu Viertelstunde notirt, weil dies für den Zweck derselben hinreichend genau war: es kommt indess in den Tabellen ein Fall vor, wo die Erhebung in diesem Zeitraume an 12 Zoll betrug<sup>1)</sup>, und dürfte es deshalb rathsam seyn, durchgängig kleinere Zeitabtheilungen zu machen, besonders wenn die Beobachtungen sich noch weiter stromabwärts erstrecken.

Der *erreichbare Grund der Genauigkeit* in der Notirung der Höhe ist nach den Umständen sehr verschieden. Wo die Wasserfläche breit und ausgedehnt wird, da sind die Beobachtungen sehr selten so vom Wetter begünstigt, dass nicht einige Schwankung in der Oberfläche Statt findet. In den oberen Stromdistricten können dagegen bei günstiger Witterung Halbe-, Viertel- und selbst Achtel-Zolle mit Sicherheit notirt werden. Uebrigens können geübte und aufmerksame Beobachter Schwankungen von 3 bis 4 Zoll genau genug vermitteln, um auch in der unteren Stromgegend auf einen Zoll sicher zu notiren.

Wenn man in den Kosten nicht zu sehr beschränkt ist, so lassen sich auch Einrichtungen der Pegel machen, durch welche die Genauigkeit der Notirung vermehrt und erleichtert wird. Eine nicht ungebräuchliche Art besteht in verschlossenen Kasten mit einer Oeffnung im Boden oder an den Seiten, durch welche das Wasser eintritt, und einen Schwimmer trägt, auf dem eine aus dem oberen Deckel des Kastens hervorgehende Stange befestigt ist. Auf dieser befindet sich die Eintheilung, an welcher nach einem mit dem Kasten in Verbindung stehenden Index das Maass der Wasserhöhe abgelesen wird. Es erfordert indess diese Art von Pegeln bei längerem Gebrauche einige Vorsicht, weil die Eintauchung der Schwimmer durch etwaige Undichtigkeit derselben (wenn sie als wasserdichte Kasten construiert sind) oder durch Eindringen des Wassers in die Holzfasern (wenn sie aus Klötzen bestehen) sich mit der Zeit ändert, wodurch, wenn es nicht bemerkt und corrigiert wird, eine unrichtige Ablesung veranlasst werden würde. – Man kann auch Einrichtungen machen, in denen die Wasserhöhe mittelst eines mit dem Schwimmer in Verbindung stehenden Apparates sich selbst auf einem in gleichem Zeitmaasse fortbewegten Papier notirt. Eine solche Einrichtung ist in dem Königl. Dock-Yard zu Sheerness im Gebrauche und im Nautical Magazine, October 1832, beschrieben. – Dergleichen ist indess für den hier vorliegenden Zweck zu kostbar.

Zu bemerken ist noch, dass da, wo Schwankungen der Wasserfläche in dem Moment der Notirung am Pegel wahrgenommen werden, das Maass derselben vom Beobachter beigefügt werden muss, damit man darnach auf den Grad der Genauigkeit der Beobachtung schliessen könne.

#### §. 8

Genauere Notirung des Eintrittes von Hoch- und Niedrigwasser. – Angabe der Stromrichtung und des Staues

Insbesondere bei dem oberen Scheitelpuncte der Fluthwelle, oder bei Hochwasser, tritt in der Regel ein kürzerer oder längerer Zeitraum ein, in welchem der Wasserspiegel sich weder hebt noch senkt, und es ist hinsichtlich dieses Zeitraumes zu bemerken, dass es bei den vor einigen Jahren von der englischen Regierung ausgegangenen grossen Fluth- und Ebbe-Beobachtungen, welche sich über einen grossen Theil der Küsten von Europa, Afrika und Amerika ausdehnten, festgesetzt war, diesen Zeitraum des Stillstandes zu dem *vorhergehenden* Abhange der Welle zu rechnen, d. h. als den *Eintritt der Fluth* den Zeitpunkt zu bezeichnen, in welchem das Wasser wirklich *anfängt* zu steigen, und als den *Eintritt der Ebbe* den Zeitpunkt, in welchem das Fallen des Wassers beginnt. Die Dauer dieses Stillstandes ist sehr verschieden; derselbe wird in den Cuxhavener Registern notirt und beträgt dort zuweilen

<sup>1)</sup> Tab. V Pegel No. 5. 4 Uhr bis 4¼ Uhr Nachmittags.

| 1841.<br>October 1 | Hochwasser   |        |             |        | Differenz. |        | Wind zu Cuxhaven. |
|--------------------|--------------|--------|-------------|--------|------------|--------|-------------------|
|                    | zu Cuxhaven. |        | zu Hamburg. |        | 1 Fuss     | 8 Zoll |                   |
|                    | 10 Fuss      | 2 Zoll | 8 Fuss      | 6 Zoll | 1 Fuss     | 8 Zoll | SW mässig.        |
|                    | 11 " 3 "     | " "    | 8 " 5½ "    | " "    | 2 " 9½ "   | " "    | S do.             |
| " 2                | 10 " 10 "    | " "    | 8 " 1½ "    | " "    | 2 " 8½ "   | " "    | SW do.            |
|                    | 11 " 8½ "    | " "    | 8 " 10 "    | " "    | 2 " 10½ "  | " "    | S do.             |
| " 3                | 10 " 6 "     | " "    | 7 " 10½ "   | " "    | 2 " 7½ "   | " "    | O do.             |
|                    | 10 " 6½ "    | " "    | 7 " 8 "     | " "    | 2 " 9½ "   | " "    | O do.             |
| " 4                | 9 " 8 "      | " "    | 6 " 7 "     | " "    | 3 " 1 "    | " "    | ONO stürmisch.    |
|                    | 8 " 3½ "     | " "    | 5 " 2½ "    | " "    | 3 " 1 "    | " "    | ONO do.           |
| " 5                | 8 " 10 "     | " "    | 5 " 5½ "    | " "    | 3 " 2½ "   | " "    | S mässig.         |
|                    | 10 " 2 "     | " "    | 7 " 6 "     | " "    | 2 " 8 "    | " "    | SW do.            |
| " 6                | 10 " 4½ "    | " "    | 7 " 6 "     | " "    | 2 " 10½ "  | " "    | SSO lebhaft.      |
|                    | 9 " 1½ "     | " "    | 7 " 6 "     | " "    | 2 " 6½ "   | " "    | SSO do.           |
| " 7                | 10 " 4½ "    | " "    | 8 " 1½ "    | " "    | 2 " 3 "    | " "    | W do.             |
|                    | 10 " 6½ "    | " "    | 8 " 6½ "    | " "    | 1 " 11½ "  | " "    | W mässig.         |
| " 8                | 10 " 1 "     | " "    | 7 " 9 "     | " "    | 2 " 4 "    | " "    | S do.             |
|                    | 9 " 3½ "     | " "    | 7 " 0½ "    | " "    | 2 " 2½ "   | " "    | SW do.            |
| " 9                | 9 " 11½ "    | " "    | 7 " 9 "     | " "    | 2 " 2½ "   | " "    | SW do.            |
|                    | 9 " 4 "      | " "    | 7 " 5 "     | " "    | 1 " 11 "   | " "    | W lebhaft.        |
| " 10               | 9 " 10 "     | " "    | 7 " 9½ "    | " "    | 2 " 0½ "   | " "    | W mässig.         |
|                    | 9 " 4 "      | " "    | — " — "     | " "    | 2 " 3 "    | " "    | WNW lebhaft.      |
| " 11               | — " — "      | " "    | 7 " 1 "     | " "    | 2 " 3 "    | " "    | S mässig.         |

3

| 1841.<br>October 11 | Hochwasser   |          |             |        | Differenz. |         | Wind zu Cuxhaven. |
|---------------------|--------------|----------|-------------|--------|------------|---------|-------------------|
|                     | zu Cuxhaven. |          | zu Hamburg. |        | 2 Fuss     | 5½ Zoll |                   |
|                     | 8 Fuss       | 11½ Zoll | 6 Fuss      | 6 Zoll | 2 Fuss     | 5½ Zoll | S lebhaft.        |
|                     | 9 " 1 "      | " "      | — " — "     | " "    | 2 " 6 "    | " "     | SW do.            |
| " 12                | — " — "      | " "      | 6 " 7 "     | " "    | 2 " 7½ "   | " "     | S mässig.         |
|                     | 10 " 8 "     | " "      | 8 " 0½ "    | " "    | 2 " 10 "   | " "     | WNW lebhaft.      |
| " 13                | 10 " 1 "     | " "      | 7 " 3 "     | " "    | 2 " 7½ "   | " "     | WNW do.           |
|                     | — " — "      | " "      | 9 " 9 "     | " "    | 2 " 8 "    | " "     | SW do.            |
| " 14                | 12 " 4½ "    | " "      | 9 " 4 "     | " "    | 2 " 4 "    | " "     | W do.             |
|                     | 12 " 0 "     | " "      | 9 " 3 "     | " "    | 2 " 11 "   | " "     | SW do.            |
| " 15                | — " — "      | " "      | 8 " 9 "     | " "    | 2 " 7½ "   | " "     | SW do.            |
|                     | 11 " 7 "     | " "      | 10 " 1½ "   | " "    | 2 " 7½ "   | " "     | W do.             |
| " 16                | 12 " 9 "     | " "      | 9 " 9½ "    | " "    | 2 " 6½ "   | " "     | SW do.            |
|                     | 12 " 5 "     | " "      | 9 " 3 "     | " "    | 3 " 0 "    | " "     | SW mässig.        |
| " 17                | 11 " 9½ "    | " "      | 8 " 7 "     | " "    | 2 " 9½ "   | " "     | W lebhaft.        |
|                     | 11 " 7 "     | " "      | 8 " 10 "    | " "    | 2 " 10 "   | " "     | SW stürmisch.     |
| " 18                | 11 " 7½ "    | " "      | 11 " 0 "    | " "    | 2 " 10 "   | " "     |                   |

|   |    |    |   |    |    |    |    |    |   |   |     |     |    |     |            |
|---|----|----|---|----|----|----|----|----|---|---|-----|-----|----|-----|------------|
|   | 14 | "  | 7 | "  | 12 | "  | 7½ | "  | 1 | " | 11½ | "   | NW | do. |            |
| " | 19 | 13 | " | 6  | "  | 11 | "  | 0  | " | 2 | "   | 6   | "  | SSO | mässig.    |
|   |    | 9  | " | 8½ | "  | 7  | "  | 8½ | " | 1 | "   | 11¼ | "  | SSO | lebhaft.   |
| " | 20 | 12 | " | 0  | "  | 9  | "  | 3  | " | 2 | "   | 9   | "  | SW  | do.        |
|   |    | 10 | " | 9¼ | "  | 8  | "  | 8½ | " | 2 | "   | 1¼  | "  | SW  | do.        |
| " | 21 | 10 | " | 7  | "  | 8  | "  | 1½ | " | 2 | "   | 5½  | "  | W   | stürmisch. |
|   |    | 15 | " | 7  | "  | 13 | "  | 2½ | " | 2 | "   | 4½  | "  | NW  | do.        |
| " | 22 | 14 | " | 2  | "  | 12 | "  | 3  | " | 2 | "   | 1   | "  | NW  | lebhaft.   |
|   |    | 8  | " | 0  | "  | 6  | "  | 11 | " | 1 | "   | 1   | "  | SW  | mässig.    |
| " | 23 | 8  | " | 4¼ | "  | 6  | "  | 3  | " | 2 | "   | 1¼  | "  | SSO | do.        |
|   |    | 7  | " | 6  | "  | 5  | "  | 8  | " | 1 | "   | 10  | "  | S   | do.        |
| " | 24 | 8  | " | 8¼ | "  | 7  | "  | 2½ | " | 1 | "   | 1¼  | "  | SSW | lebhaft.   |
|   |    | 8  | " | 9¼ | "  | 7  | "  | 2½ | " | 1 | "   | 6¼  | "  | SW  | do.        |
| " | 25 | 8  | " | 8½ | "  | 6  | "  | 11 | " | 1 | "   | 9¼  | "  | SW  | do.        |
|   |    | 9  | " | 0  | "  | —  | "  | —  | " | 1 | "   | 10  | "  | SW  | mässig.    |
|   |    | —  | " | —  | "  | 7  | "  | 2  | " |   |     |     |    |     |            |

| 1841.      | Hochwasser   |          |             |         |        |         | Differenz. | Wind zu Cuxhaven. |
|------------|--------------|----------|-------------|---------|--------|---------|------------|-------------------|
|            | zu Cuxhaven. |          | zu Hamburg. |         | 2 Fuss | 1½ Zoll |            |                   |
| October 26 | 9 Fuss       | 11½ Zoll | 7 Fuss      | 10 Zoll | 2 Fuss | 1½ Zoll | NO mässig. |                   |
|            | 9            | 8        | —           | —       | 2      | 2½      | NO do.     |                   |
| " 27       | —            | —        | 7           | 5½      |        |         |            |                   |
|            | 9            | 5        | 6           | 11      | 2      | 6       | NO do.     |                   |
| " 28       | 8            | 4        | —           | —       |        |         |            |                   |
|            | —            | —        | 7           | 1       | 1      | 3       | NO do.     |                   |
| " 29       | 10           | 4        | 8           | 0       |        |         |            |                   |
|            | 8            | 11       | —           | —       | 2      | 4½      | NNO do.    |                   |
| " 30       | —            | —        | 6           | 6½      |        |         |            |                   |
|            | 9            | 3½       | 6           | 4       | 2      | 11½     | NO do.     |                   |
| " 31       | fehlt.       |          | 4           | 0       |        |         |            |                   |
|            | 7            | 6½       | 4           | 3       | 3      | 3½      | O lebhaft. |                   |
| " 31       | 9            | 0        | 5           | 10½     |        |         |            |                   |
|            | 9            | 8        | 6           | 11      | 2      | 9       | O do.      |                   |
| " 31       | 9            | 0        | 5           | 10½     |        |         |            |                   |
|            | 9            | 8        | 6           | 11      | 2      | 9       | O lebhaft. |                   |
| " 31       | 9            | 8        | 6           | 11      |        |         |            |                   |
|            | 9            | 8        | 6           | 11      | 2      | 9       | O mässig.  |                   |
| " 31       | 9            | 8        | 6           | 11      |        |         |            |                   |

30 Minuten, zuweilen nur 5 Minuten, ohne dass mir eine Regel dabei wahrnehmbar zu seyn scheint. Auch über diese Verschiedenheit wird späterhin Aufklärung zu erlangen seyn.

Wenn nun hiernach der Anfang der Fluth und der Ebbe als ein bestimmter Moment definirt ist, so ist klar, dass derselbe oftmals nicht gerade mit einer der vorgeschriebenen Zeitabtheilungen zusammenfallen wird. Es ist indess zu einer vollständigen Beobachtung erforderlich, dass auch in solchem Falle die Eintrittszeit nebst der zugehörigen Höhe in dem Manuale der Beobachter notirt werde.

Nicht minder wird die Nutzbarkeit der Beobachtungen dadurch vermehrt, dass die Beobachter angewiesen werden, die *Richtung des Stromes* jedesmal zu notiren, denn der Strom wechselt nicht sogleich mit dem Eintritte der Ebbe oder der Fluth, sondern erst eine

Zeitlang nachher, und zumal weiter aufwärts findet nach Eintritt der Fluth eine sehr bemerkbare Zwischenzeit Statt, wo in der Oberfläche gar kein Strom geht, sondern das Wasser nur durch Aufstauung zu steigen scheint.<sup>1)</sup> – Nachdem solche Beobachtungen einige Mal von denselben Leuten wiederholt sind, erlangen diese bald eine hinreichende Uebung, um alle dergleichen Nebenumstände gehörig wahrzunehmen und anzugeben.

### §. 9.

Berechnung der Oberfläche des betreffenden Stromdistrictes. – Berechnung der oberen Zuflüsse

In dem Vorhergehenden ist meines Erachtens alles Wesentliche behandelt, was hinsichtlich der unmittelbaren Beobachtung der Erhebung und Senkung des Wasserspiegels in Betracht kommt, und ich kann nun zu den beiden Vorarbeiten übergehen, welche einen Hauptbestandtheil der zu dem gewünschten Resultate erforderlichen Data liefern.

Dies ist zuvörderst die *Berechnung des Quadrat-Inhaltes der beobachteten Wasserfläche*.

Um diese auf eine zweckmässige Weise zu betreiben, ist es nothwendig, den Strom, von dem zu berechnenden Profile an aufwärts bis zu der Gegend der Fluthgrenze, in eine passende Anzahl von Districten zu theilen, deren Begrenzungen nach der Localität einzurichten sind und mit Berücksichtigung der Stellung der Pegel gezogen werden müssen.

Allgemeine Regeln lassen sich darüber schwerlich geben, indem die Beschaffenheit der Localitäten sehr verschieden seyn kann, und wird diese Eintheilung auch keinem practischen Hydrotechniker schwer fallen, der sich vergegenwärtigt, dass die Aufgabe darin besteht, die Districte so zu begrenzen, dass man die an einem oder an zweien Pegeln ermittelte Erhebung oder Senkung ohne erheblichen Fehler für diejenige des ganzen Districtes, in dem diese Pegel stehen, gelten lassen kann.

Der auf der Charte Taf. I gezeichnete, von dem genannten Profile bis zur Fluthgrenze sich erstreckende Theil der Elbe, welcher, seiner ganzen Localbeschaffenheit nach, in der in Rede stehenden Hinsicht ungewöhnliche Schwierigkeiten darbietet, würde etwa in 37 solche Districte einzutheilen seyn, welche auf der Charte durch römische Zahlen bemerklich gemacht sind.

Wären die Pegel in der Absicht einer Berechnung der Durchströmung durch das Profil bei Fährmannssand errichtet, und die Beobachtungen zu diesem Zwecke angestellt, so würde auch die Eintheilung der Districte hie und da eine andere seyn; denn allein, um eine ungefähre Berechnung darnach machen zu können, habe ich mich an die gegebene Stellung der Pegel angeschlossen.

In einem jeden Districte ist nun die Oberfläche des Wassers, so weit die Fluth sich erstreckt, nach guten Charten zu berechnen. Da aber die Fläche kleiner wird, wenn das Wasser fällt, weil ein Theil des Flussbettes bei der Ebbe trocken läuft, so muss diese Berechnung für verschiedene Wasserstände wiederholt werden.

Wie weit man hiermit ins Detail gehen will, hängt von dem Grade der erstrebten Genauigkeit des Resultats und von der Beschaffenheit der benutzten Stromkarten ab, und es

<sup>1)</sup> The time of the change of current or the time of slack water, never coincides with the time of high water except close in upon the shore and within its influence; the interval of the two times is generally very considerable. Great confusion has been produced by these two times not being properly distinguished; so great, indeed, that almost all the tide observations which we possess are of doubtful value. WHEWELL Philos. Transactions.

lässt sich darüber keine allgemeine Regel geben. – Mindestens sollte die Oberfläche für ordinär Hochwasser, wo der Strom die grünen Ufer bespült, und für ordinäre Ebbe, wo alle grösseren Sände trocken laufen, berechnet und für einige zwischenliegende Höhen eine möglichst sorgfältige Schätzung vorgenommen werden.

Die Sache selbst ist im Uebrigen so einfach, dass nur noch allenfalls hinzuzufügen seyn dürfte, dass auch alle Nebenflüsse, *so weit in dieselben die Fluth eintritt*, mit in die Berechnung aufgenommen werden müssen.

Eine zweite wichtige Vorarbeit ist die *Berechnung der oberen Zuflüsse*.

Der hauptsächlichste ist natürlich *der Hauptstrom selbst*. Ein Profil desselben oberhalb der Fluthgrenze muss nach den bekannten Regeln, welche ich, der Kürze wegen, hier nicht wiederhole, ausgewählt, gepeilt und die durch dasselbe strömende Wassermenge sowohl durch unmittelbare Messung der Stromgeschwindigkeit, als auch aus dem Stromabhang ausgemittelt werden. Es ist zwar auch hierbei die grösstmögliche Genauigkeit erforderlich, damit nicht zu der Ungewissheit, mit welcher solche Rechnungs-Resultate wegen der noch Statt findenden Unvollkommenheit der Theorie unvermeidlich behaftet sind, eine grössere wegen ungenauer Beobachtung hinzukomme; indess gewährt es bei der hier in Rede stehenden Methode einige Beruhigung, dass die oberen Zuflüsse nur einen verhältnismässig kleinen Theil der gesuchten Durchflussmenge durch das untere Profil ausmachen, und also die bei gehöriger Sorgfalt und richtiger Rechnung noch übrig bleibende Unsicherheit, welche in der Unvollkommenheit der Formeln ihren Grund hat, keinen grossen Einfluss auf das Resultat üben kann.

So z. B. wird der Zufluss von der Ober-Elbe bei niedrigem Wasserstande etwa 20- bis 25,000 Cubikfuss pr. Secunde betragen, das Profil bei Fährmannssand aber hält über 100,000 Quadratfuss<sup>1)</sup>, und man sieht hieraus, dass *die* Unsicherheit, welche auch bei gehöriger Sorgfalt in der Berechnung des oberen Zuflusses übrig bleibt, keine Bedeutung für das untere Profil haben kann, so lange die Stromgeschwindigkeit in letzterem nicht sehr klein ist. – Kommen aber noch Beobachtungsfehler oder Ungenauigkeiten hinzu, so kann der Einfluss derselben allerdings von Belang werden, zumal da in dem unteren Profile die Geschwindigkeit zweimal in stetiger Ab- und Zunahme durch Null geht, folglich auch Zeiträume vorkommen, in denen die Durchflussmengen in beiden Profilen ungefähr gleich werden.

Sehr geringfügig sind, hiermit verglichen, die übrigen Zuflüsse aus Nebenflüssen und Entwässerungsschleusen. Allein die *Anzahl* derselben ist, besonders während der Ebbe, bedeutend, weshalb man sie nicht vernachlässigen darf.

---

<sup>1)</sup> Es ist ein sehr häufig vorkommender Irrthum, dass *die* Wassermenge, welche ein Fluss *von oben* herabführt, mit der *innerhalb der Fluthgrenze bewegten* Wassermenge verwechselt wird.

BROOKES in der mehrerwähnten Schrift führt als ein Beispiel der Art an, dass man die Wassermenge des Congo zu 2 Millionen Cubikfuss pr. Secunde berechnet hatte; Capt. TUCKEY R. N. habe sie später nur 418,000 Cubikfuss gefunden. Doch auch bei dieser Messung war man noch innerhalb des Fluthgebietes, und es sey keinem Zweifel unterworfen, dass die Quantität des wirklich von oben abfliessenden Wassers sehr viel geringer sey, wie es auch Capt. TUCKEY selbst bei Erwähnung der Wasserfälle von Yellala bemerke, und in Ermangelung einmündender Nebenflüsse unterirdische Communicationen muthmasse. – Die Beachtung der Fluth scheine indess diese Erklärung überflüssig zu machen.

## §. 10.

## Probe des gefundenen Resultates

Nachdem man auf dem beschriebenen Wege zu einer Reihe von Zahlenwerthen gelangt ist, welche die in gewissen Zeiträumen während einer Fluth- und Ebbezeit durch das untere Profil aus- und einströmende Wassermenge darstellen, kommt es darauf an, ob bei diesen Resultaten ein Merkmal der Richtigkeit angegeben werden könne.

Es ist in dieser Hinsicht zu bemerken, dass man aus den Beobachtungen und Berechnungen folgende Data hat:

- a. Den Wasserstand in dem ganzen der Berechnung unterzogenen Stromdistricte beim *Anfange* der Beobachtung.
- b. Den Wasserstand in demselben, beim *Ende* der Beobachtung.
- c. Die Ergiebigkeit der oberen Zuflüsse während des *ganzen Zeitraumes* der Beobachtungen.

Und diese drei Data reichen hin, um zu bestimmen, ob und um wieviel die Ausströmung oder die Einströmung für den *ganzen* Zeitraum überwiegend gewesen seyn müsse.

Ein ähnlicher Werth muss sich ergeben, wenn man die *einzelnen* für die zwischenliegenden Zeitabschnitte gefundenen Rechnungsergebnisse mit gehöriger Berücksichtigung der Zeiträume und Zeichen summirt, und je näher diese Summe mit jenem aus dem Anfangs- und Endpunkte der Beobachtungen gefundenen Zahlenwerthe übereinstimmt, um so grösser wird die Wahrscheinlichkeit der Richtigkeit seyn.

Es muss indess noch das Merkmal der *Stetigkeit* in der Zu- und Abnahme der Geschwindigkeiten und des allmählichen Ueberganges aus Plus in Minus hinzukommen, welches ein Jeder selbst als ein in der Natur der Sache liegendes Erforderniss erkennt.

Bei dem bedeutenden Einflusse, welchen es auf die Genauigkeit der Beobachtungen hat, ob dieselben von der Witterung begünstigt werden, und da es bei ausgedehnten Operationen unmöglich ist, günstige Momente augenblicklich zu benutzen, indem die Vorkehrungen mindestens am Tage vorher gemacht werden müssen<sup>1)</sup>, so kann es nicht ausbleiben, dass manche mühsame und zeitraubende Arbeit dieser Art vorgenommen wird, ehe ein Fall vorkommt, wo Alles zusammentrifft, um ein vollkommen zuverlässiges Resultat zu verbürgen. Allein so wenig dergleichen Schwierigkeiten in andern Zweigen der Naturwissenschaft den Beobachter abhalten, seine Bemühungen aphaltend auf ihre Ueberwindung zu richten, eben so wenig dürfen dieselben hier zurückschrecken, wo es bei fortgesetztem Bestreben vielleicht gelingen wird, das Verhältnis der *mittleren Geschwindigkeit* zu der *im Stromstriche gemessenen Geschwindigkeit an der Oberfläche*, für eine zusammenhängende Reihe von Werthen, von Null bis zu 3 à 4 Fuss, in Profilen von mehr als 100,000 Quadratfuss directe zu bestimmen, und daraus für die von der Theorie dargebotenen Formeln eine Bestätigung oder eine Correction abzuleiten, durch welche deren practischer Nutzen wesentlich vermehrt werden würde.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Längs der Elbe, unterhalb Hamburg, wird die Möglichkeit, die Vornahme der Beobachtungen schnell ins Werk zu richten, durch die Telegraphenlinie erleichtert.

<sup>2)</sup> HAGEN schliesst seine Abhandlung über den wissenschaftlichen Zustand der Wasserbaukunst mit den Worten:

„Das Gesagte wird, wie ich glaube, hinreichend darthun, dass nicht alle jene in mathematische Formeln eingekleidete Lehrsätze wirklich mathematische Wahrheiten sind; und dass man also, wenn man sich ihrer bedienen will, sie zuvor wohl prüfen muss, ob sie auch auf den vorhandenen Fall angewandt werden können. Erscheinen sie in dieser Prüfung zulässig, so ist es sehr wahrscheinlich, dass sie ein Resultat geben werden, welches mit der wirklichen

Ich habe diesen letzteren Gesichtspunct, als das zu erstrebende Ziel, hier nur andeuten wollen, da es zur Zeit noch nicht erreicht ist, und die Beschränktheit der Zeit, welche ich diesem Gegenstande widmen kann, mir den Wunsch nahe legt, dass auch andere Hydrotechniker demselben ihre Aufmerksamkeit schenken mögten. Wenn indess meine amtlichen Arbeiten zu neuen Beobachtungen Veranlassung geben, so werde ich nicht verfehlen, dieselben bekannt zu machen, und es würde mich freuen, wenn diese kleine Schrift Andern zur Veranlassung würde, auch ihre Beobachtungen der Oeffentlichkeit zu übergeben.

## Zweiter Abschnitt

Nachricht von einigen im Jahre 1841 an der Elbe von Schulau bis Geesthacht angestellten Wasserstandsbeobachtungen, nebst daraus abzuleitenden Folgerungen über die Quantität der bewegten Wassermassen.

### § 11.

#### Beobachtungen

Diejenigen Beobachtungen, welche mir zu dieser Zusammenstellung geeignet schienen, folgen hier in extenso tabellarisch geordnet, und sind alle auf denselben Hamburger Nullpunct reducirt, bei welcher Reduction, wie bereits erwähnt, zum Theil die Fluthhöhe als horizontal vorausgesetzt, zum Theil ein Nivellement benutzt ist.

Bei jeder Tabelle ist in der Hauptüberschrift der Tag, und über jeder Columne die Zeit der Beobachtung angegeben. – In der Vordercolumnne stehen die mit der Karte (Taf. I) übereinstimmenden Bezeichnungen der Pegel.

(Hieber gehören die Tabellen I bis IV.)

Um die Uebersicht zu erleichtern, sind die Maxima und Minima eines jeden Pegels mittelst einer durchlaufenden punctirten Linie bemerklich gemacht, so daß man schon aus den Tabellen selbst eine ziemlich deutliche Uebersicht des Fortschreitens der Fluthwelle an den Beobachtungstagen gewinnen kann. – Da indess die Distanzen der Pegel verschieden, auch diese an mehreren Stromarmen vertheilt sind, so kann ohne Zuziehung der Karte keine ganz richtige Vorstellung erlangt werden.

Ich werde hierauf im folgenden Abschnitte zurückkommen, um hier zuvörderst die im ersten Abschnitte behandelte Aufgabe der Ableitung der Durchflussmenge etc. aus der Erhebung und Senkung des Wasserspiegels an diesem Beispiele thunlichst zu erläutern.

### §. 12.

#### Berechnung der Durchflussmenge und mittleren Geschwindigkeit

Man muss in dem Folgenden nicht eine Berechnung erwarten, welcher ich selber einen auf grosse Genauigkeit des Resultates begründeten Werth beilegte, dazu sind weder die Materialien, noch auch die Beobachtungen ausreichend, und verweise ich hinsichtlich der Letzteren auf das Vorwort.

---

Erscheinung übereinstimmt; *stimmt es nicht, so giebt dieser specielle Fall eine wichtige Correction der Theorie, und durch mehrere solcher Correctionen kann diese bald eine grössere Schärfe und Sicherheit erlangen, als sie gegenwärtig hat. Dieses ist der Weg, den man in andern Wissenschaften zur Begründung der Theorien eingeschlagen hat, und der auch nie seinen Zweck verfehlt.*  
 Beschr. neuerer Wasserbauwerke. Königsb. 1826.

Die erste Vorarbeit, die *Berechnung der Oberfläche* der als ein Bassin anzusehenden Stromstrecke, nach den im §.4 des ersten Abschnittes erwähnten willkürlichen Abtheilungen, ist nach dem verschiedenen Werthe der zu Gebote stehenden Stromkarten von sehr verschiedener Zuverlässigkeit.

In der oberen Stromgegend von den älteren BAXMANNschen Aufmessungen aus der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts herrührend, sind die Karten zum Theil in neuerer Zeit, wo eine besondere Veranlassung dazu vorlag, vervollständigt und berichtigt.

In der näheren Umgebung Hamburgs haben die unter der Direction des Herrn Conferenzzraths SCHUMACHER in Altona vorgenommenen Vermessungen eine richtige Grundlage verschafft.

Auf denselben Vermessungen beruht auch grösstentheils die von der Königl. dänischen Marine herausgegebene Karte der *Elbe von Hamburg bis Twielenfleth*, zu welcher für den Strom von *Blankenese* (oder genauer von Trindelbergs-Mühle) bis zur *Lübe*, eine im grossen Maasstabe im Jahre 1841 vorgenommene neue Aufmessung hinzukommt.

Für die Süder-Elbe fehlte es an vollständigen Materialien, und haben alte Karten und Specialrisse einzelner Strecken benutzt werden müssen.

Ich habe mich bemüht, aus diesen verschiedenartigen Materialien die Flächen-Inhalte zwischen den Ufern abzuleiten, und wenn gleich das Ergebniss auf vollkommene Richtigkeit keinen Anspruch macht, so halte ich dasselbe doch für genau genug, um es bei dieser vorläufigen Rechnung zuzulassen.

Die Vollendung neuer und zuverlässiger Stromkarten in der Hannoverschen Elbgegend steht, dem Vernehmen nach, nahe bevor, und die Ausfüllung der vorhandenen Lücken in den Stromkarten des Hamburgischen Elbgebietes hat bereits die Aufmerksamkeit der betreffenden Behörden auf sich gezogen, so dass hoffentlich zu ähnlichen Berechnungen für die Zukunft vollständige Karten zu Gebote stehen werden.

Die berechneten Flächengrössen sind bei den betreffenden Districten in der Tabelle IX angegeben, in welcher die römischen Zahlen mit denen, welche sich auf der beiliegenden Karte (Taf. I) befinden, übereinstimmen, die Flächengrössen beziehen sich auf vollbortigen Strom; für niedrigere Wasserstände würde ich für jetzt nur Bruchstücke geben können.

Wie in der Gegend von Blankenese und Schulau die Flächen bei ordinärer Ebbe (wenn die höheren Sande trocken laufen) sich verhalten, konnte nach der neuen Aufmessung mit Zuverlässigkeit berechnet werden, weshalb ich die Wasserfläche bei Niedrigwasser-Stande für die Blankeneser Stromgegend hier als Notiz beifüge.

- District I, Fährmannssand bis Schulau, 803,
- » II, Schulau bis Wittenberge, 522,
- » III, Wittenberge bis Plumpsmühle, 483,
- » IV, Plumpsmühle bis Trindelbergsmühle, 659.

Alles in hunderttausend Quadratfuss Hamb.

Die *zweite* Vorarbeit, nämlich die *Berechnung der oberen Zuflüsse*, will ich der Kürze wegen nur für den Hauptstrom ausführen, da in dem vorliegenden Falle doch das Resultat nur für den höheren Wasserstand gezogen werden kann und bei diesem die Schleusen, Mühlen und Siehle noch nicht zum Abfluss gekommen sind.

Eine mit den obigen Beobachtungen *gleichzeitige* Messung der Ober-Elbe liegt nicht vor, indess ist früher zum Behufe einer anderen hydrotechnischen Arbeit ein Stromprofil bei Geesthacht, welches ausserhalb der Fluthgrenze lag und auf dem Uebersichtsblatte abgegeben ist, gemessen worden, welches unter Berücksichtigung des veränderten Wasserstandes hier aushelfen kann.

Die Fig. 10 Taf. III stellt dieses Profil nach gleichem Höhen- und Längen-Maasstabe

vor. Die Messung geschah im Juni 1839 bei einem um circa 2 Fuss höheren Wasserstande, als derjenige, bei welchem die in Tabelle I enthaltenen Wasserstandsbeobachtungen angestellt wurden. Die beobachtete Geschwindigkeit betrug:

|                        |      |      |       |
|------------------------|------|------|-------|
| nahe der Oberfläche    | 3,12 | Fuss | Hamb. |
| 3 Fuss unter . . . . . | 3,22 | "    | "     |
| 5 " " . . . . .        | 2,65 | "    | "     |
| 7 " " . . . . .        | 2,27 | "    | "     |

Die Wassertiefe an der gemessenen Stelle betrug 16 Fuss.

2 Fuss überm Grunde ward unweit dieses Profils, jedoch näher am Ufer und in geringerer Wassertiefe die Geschwindigkeit gefunden = 2,08 Fuss. Die Messungen wurden mit dem WOLTMANSchen Flügel gemacht.

Berechnet man nun nach der Formel

$$u = \frac{v(v + 2,371)^{1/2}}{v + 3,153}$$

die mittlere Geschwindigkeit  $u$  aus der an der Oberfläche beobachteten  $v$ , nachdem man letztere in Metermaass ausgedrückt hat, so erhält man

$$u = 0,72 \text{ metr.} = 2,52 \text{ Fuss Hamb.},$$

welches Resultat gut genug mit den übrigen gemessenen Geschwindigkeiten (wenn diese vermittelt werden) stimmt, um als die damalige mittlere Geschwindigkeit *in der gemessenen Perpendiculare* angenommen zu werden.

Die mittlere Geschwindigkeit des *ganzen Profils* ist bekanntlich etwas geringer<sup>2)</sup> und wird hier nahe genug 2,33 gesetzt werden können.

Dies ist für die Beobachtung im Juni 1839. Nimmt man an, dass die Geschwindigkeit *ceteris paribus* sich wie die Quadratwurzeln aus den mittleren Tiefen verhalten<sup>3)</sup>, so ergibt sich für den Zeitpunkt der Beobachtungen am 8. Septbr. 1841 Folgendes:

Nach Fig. 10 ist

|                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| die mittlere Tiefe . . . . . | Juni 1839 = 8,1,         |
| " " " "                      | 8. September 1841 = 6,1, |

die mittlere Geschwindigkeit im ersteren Falle war = 2,33 Fuss, folgt die mittlere Geschwindigkeit 8. September 1841 = 1,908.

Da nun der Inhalt des Profils für den letzteren Wasserstand = 11,773 Quadratfuss, so folgt die Zuflussmenge von der Ober-Elbe pr. Secunde = 22,463 oder in runder Zahl = 22,500 Cubicfuss.

Hiezu mögen für verschiedene auch während der Fluth Statt findende kleine Zuflüsse zusammen noch 500 Cubicfuss gerechnet werden, so kommt hier im Ganzen ein oberer Zufluss von 23,000 Cubicfuss pr. Secunde in Rechnung.

Der aus den vorstehenden Daten sich ergebende *Abhang* des Flusses würde, nach der KRAYENHOFFSchen Formel berechnet, =  $\frac{1}{14100}$  seyn.

Hiernächst kommt es nun auf die Angabe der Statt gefundenen Erhebung und Senkung des Wasserspiegels nach den Beobachtungen an. – Dass diese, um zu einem genauen Resultate

<sup>1)</sup> Vergl. MINARD Cours de Construct. Paris 1841. p. 6.

<sup>2)</sup> Vergl. z. B. die BRÜNINGS'schen Messungen im 3ten Bande von WOLTMAN's Beitr.

<sup>3)</sup> WOLTM. Beitr. Bd. III p. 364.

zu gelangen, in *allen* Stromarmen angestellt seyn müssen, ist schon oben bemerkt worden, weil man nicht mit Sicherheit aus der Erhebung und Senkung, welche in *Einem* Arme beobachtet ist, auf diejenige, welche gleichzeitig in einem *andern* Statt gefunden hat, wenn der letztere auch in derselben Region des Ganges der Fluthwelle liegen sollte, schliessen kann. – Weiter unten wird dieses noch näher nachgewiesen und erläutert werden. – Hier mache ich nur darauf aufmerksam, dass am 8. September in der Süder-Elbe nicht beobachtet wurde und daher in der Haupttabelle I gleichzeitige Notirungen für diesen Stromarm fehlen. – Diese aus den andern Beobachtungstagen zu ersetzen, muss im Allgemeinen als unzulässig erkannt werden, und ich bediene mich hier dieses Hilfsmittels nur deshalb, um für *einige* Zeitpuncte die Berechnung durchzuführen und die Zahlenverhältnisse im Grossen zur Anschauung zu bringen.

Zur bequemeren Uebersicht dienen die aus den Tabellen I bis IV abgeleiteten Tabellen V bis VIII, in denen für jede Stunde, vom Eintritte des Hochwassers bei Fährmannssand (Pegel No. 1) angerechnet, die viertelstündige Erhebung und Senkung an einem jeden der benutzten Pegel (mit Weglassung der aus localen Gründen [siehe oben] unbrauchbaren No. 1 und e) angegeben ist.

(Hieher gehören die Tabellen V bis VIII.)

Da wir die Oberfläche des Bassins nur für den Wasserstand, bei welchem die Sände unter Wasser sind, vollständig kennen, so wird es angemessen seyn, zur ferneren Berechnung die Zeitpuncte zu wählen, wenn dieser Zustand in der ganzen quaest. Stromstrecke Statt findet. Dies ist der Fall etwa bis zur 3ten Stunde *nach Hochwasser* bei Fährmannssand, und es wird erlaubt seyn, bei dieser vorläufigen Rechnung während dieses Zeitraumes die Ausdehnung des Bassins unverändert anzunehmen.

Dieses vorausgesetzt, und in den Stromarmen, wo die Erhebung und Senkung nicht gleichzeitig beobachtet ist, dieselbe ergänzend, in den übrigen aber sie aus den zunächst belegenen Pegeln vermittelnd, kann man sich die Tabelle IX bilden, welche eine ungefähre Uebersicht der bewegten Wassermassen gewährt. In derselben sind die aus nahe belegenen Beobachtungen abgeleiteten Zahlen durch grösseren Druck von den bloss supponirten unterschieden.

Man kann annehmen, dass die Zahlenwerthe der letzten Columnne einer jeden Stunde nicht genau die Verhältnisse zu einander haben, welche wirklich Statt fanden, allein ich habe sie unverändert, so wie sie aus den von meinen Gehülfen berechneten Flächen-Inhalten und aus den von mir geordneten Beobachtungs-Resultaten sich ergeben, hingesetzt, denn wenn es auch ein Leichtes gewesen wäre, durch einige Veränderungen in den Flächengrössen oder Höhen eine den Unkundigen bestechende scheinbare Harmonie hervorzubringen, so würde dadurch doch nichts Wesentliches genützt worden seyn.

Die Möglichkeit, auf diesem Wege zu sicheren Resultaten zu gelangen, scheint mir aus den vorliegenden Rechnungen aufs Einleuchtendste hervorzugehen, und ich zweifle nicht, dass diese Meinung von Denen getheilt wird, ohne deren Beistand das Ziel nicht zu erreichen ist.

Aus den für den Total-Abfluss gefundenen Quantitäten und aus Berechnung des Profils für die zugehörigen Wasserstände ergeben sich folgende *mittlere* Geschwindigkeiten des *ganzen Profils* bei Fährmannssand:

*Eine Stunde nach Hochwasser.*

Grösse des Profils = 113,900 Quadratfuss.

Abfluss in  $\frac{1}{4}$  Stunde (= 900 Secunden) 103,400,000

Cubikfuss,

Abfluss in 1 Secunde = 114,888 Cubikfuss.  
Mittlere Geschwindigkeit = 1,01 Fuss pr. Secunde.

*Zwei Stunden nach Hochwasser.*

Grösse des Profils = 104,500 Quadratfuss.  
Abfluss in ¼ Stunde (= 900 Secunden) 180,200,000  
Cubikfuss.  
Abfluss in 1 Secunde = 200,222 Cubikfuss.  
Mittlere Geschwindigkeit = 1,91 Fuss pr. Secunde.

*Drei Stunden nach Hochwasser.*

Grösse des Profils = 95,100 Quadratfuss.  
Abfluss in ¼ Stunde (= 900 Secunden) 176,500,000  
Cubikfuss.  
Abfluss in 1 Secunde = 196,111 Cubikfuss.  
Mittlere Geschwindigkeit = 2,06 Fuss pr. Secunde.

(Hieher gehört die Tabelle IX.)

*Ergänzende Anmerkungen zu HÜBBES Aufsatz über „Einige Wasserstands-Beobachtungen  
im Fluthgebiet des Elbstromes“  
(von Prof. Dr.-Ing. WINFRIED SIEFERT, Cuxhaven)*

Ein „Bein“ des Küsteningenieurwesens, das wichtigste wohl auch, ist die Hydrologie. Ein Ingenieur, der an der Küste – besonders an der tidebeeinflussten Nordsee – erfolgreich arbeiten will, muß ein Gespür für hydrologische Verhältnisse und Entwicklungen, für die Zusammenhänge der vielfältigen Erscheinungen haben. Insoweit ist es interessant, sich zu erinnern, zu welchen Leistungen einige unserer Vorgänger fähig waren, als die Hydrologie noch in ihren Anfängen steckte.

Dabei hat sich die Entwicklung auf den verschiedenen Teilgebieten unterschiedlich schnell vollzogen, was im wesentlichen darauf zurückzuführen ist, daß die physikalischen Zusammenhänge erst entdeckt werden mußten und daß viel von Messungen abhängt, die eine ausgereifte Technik verlangen. Die längste Geschichte und die frühesten verlässlichen Aussagen kennen wir von den Tidewasserständen. Es gibt Hinweise darauf, daß bereits um 1200 in London an einem Brückenpfeiler die Hoch- und Niedrigwasser beobachtet und festgehalten wurden. Einer der ältesten bekannten „Tidekalender“ stammt aus Stade, aus dem Jahr 1680. Er gibt uns die Eintrittszeiten der Hoch- und Niedrigwasser in Stade und Hamburg für die einzelnen Mondphasen an, wobei die Zeitdifferenz rd. 2 h betrug (heute sind es beim Thw und beim Tnw ziemlich genau 1 h). Dann gibt es Aufzeichnungen aus Holland aus dem 17. und 18. Jahrhundert, und BRAHMS veröffentlichte 1754 erstmals eine *Tidekurve*, gemessen im Jadebusen. Einige Jahrzehnte später begannen die (heute ältesten deutschen) regelmäßigen Tidebeobachtungen: in Cuxhaven von WOLTMAN an einem „Fluthmesser“ 1784 und in Hamburg von REINKE am 1. 1. 1786 zunächst an einer „provisorischen Skale“, so daß wir heute von diesen Orten fast lückenlose Aufzeichnungen über 200 Jahre haben.

Mit diesen Daten war es insbesondere auch nach der Sturmflut von 1825 schon möglich, sich ein gewisses Bild über den Tide- und Sturmflutablauf in der Elbe zu machen. Um die Vorgänge genauer verstehen und deuten zu können, war jedoch mehr erforderlich. So schuf ein internationales Meßprogramm an der Küste des Nordatlantiks und der Nordsee 1835 die Grundlage für die ersten modernen Tideberechnungen. In Deutschland koordinierte HÜBBE

Messungen an rd. 20 Orten. Kurz danach begannen erste Analysen von *Tidekurven*, zunächst von HÜBBE, später von LENTZ, der bis 1880 die Gezeitenberechnungen für die deutsche Küste anwendungsreif entwickelte.

HÜBBE kam 1836 als Wasserbau-Direktor nach Hamburg, nachdem er vier Jahre im hamburgischen Amt Ritzbüttel (heute: Cuxhaven) Erfahrungen mit der Elbe gesammelt hatte. Zu der Zeit gab es in Hamburg und in Cuxhaven also schon fast 50 Jahre lang Wasserstandsbeobachtungen, allerdings keine geschlossenen Reihen. Diese begannen nach seiner Anregung dann 1841 bzw. 1843, also in einer Zeit der Bemühung um tieferes Eindringen in die Tideverhältnisse. In diese Zeit fällt dann auch der erste Versuch überhaupt, eine grundlegende Arbeit über das „Fluthgebiet der Elbe“ zu schreiben, die heute noch oft als Quelle geschätzt wird und von der großen wasserbaulichen Begabung des Verfassers zeugt. Und ausgerechnet sie erlitt ein trauriges Schicksal, wie HÜBBE selbst 1853 in einer Fußnote mitteilt: „Der Brand von Hamburg (1842) vernichtete die fertige Auflage bis auf etwa 50 Exemplare, die nicht in den Buchhandel gekommen sind.“ Die Bücherei des Strom- und Hafenubau besitzt zudem ein Exemplar mit Hübbes handschriftlichen Einbesserungen zur Vorbereitung einer Neuauflage als „Dritte Abhandlung: Die Nutzbarkeit der Wasserstandsbeobachtungen im Fluthgebiete zu hydrometrischen Arbeiten“.

Allein schon aus dem Lageplan (Taf. I) geht der Umfang der Untersuchungen zum Tideverlauf in Hamburg hervor, geradezu als Musterbeispiel für ein hydrologisches Programm. Die vielen Fußnoten, interessanterweise in der Originalsprache, zeugen auch von HÜBBES Belesenheit.

## Erfahrungen und Beobachtungen im Gebiete der Strombaukunst, 1. Theil<sup>1)</sup>

Von HEINRICH HÜBBE

Seiner Wohlweisheit, dem Herrn HEINRICH JOHANN MERCK,  
Senator der freien und Hansestadt Hamburg.

Die Bearbeitung von Erfahrungen, welche in einer längeren Reihe von Jahren gesammelt wurden, lenkt den Blick auf die zurückgelegte Bahn von den ersten Anfängen des practischen Wirkens bis auf die Stunde der Gegenwart.

Ein solcher Blick führt mir zugleich zahlreiche Momente meines Lebens vor die Seele, deren ich nur mit dem Gefühle inniger Dankbarkeit gegen Sie, Hochverehrter Herr Senator, gedenken kann; denn wie es Ihre liebevolle Theilnahme an dem Streben des Jünglings war, die diesen oft ermuthigte und förderte, so stand auch dessen Eintritt in das amtliche Wirken und jede spätere, dem umschauenden Manne gewährte, Erweiterung des Gesichtskreises im nahen Zusammenhange mit Ihrem Wohlwollen und Ihrer Gewogenheit.

Andererseits erneuern die in gegenwärtigen Blättern enthaltenen Erörterungen, welche sich auf ausgeführte Verbesserungen des Hamburgischen Elbestroms beziehen, vielleicht in Ihnen, Hochverehrter Herr Senator, die Erinnerung an die Zeit, in der Sie, als Mitglied Hochlöblicher Schiffahrt- und Hafen-Deputation, auch diesem Zweige der öffentlichen Angelegenheiten der Stadt, einen Theil Ihres vielseitigen, auf das allgemeine Beste gerichteten Wirkens zuwendeten.

Mögte denn diese Erinnerung und der innige Wunsch, Ihnen ein – wenn auch geringes – Zeichen dankbarer Gesinnung zu geben, der Widmung eine gütige Aufnahme bereiten, welche in diesen Zeilen Ihnen darbringt

der Verfasser.

### Vorwort

Die practische Beschäftigung mit dem Wasserbau an dem Hamburgischen Theile des Elbestroms hat mir Gelegenheit zu Beobachtungen und Erfahrungen gegeben, die ich während einer ziemlich langen Reihe von Jahren gesammelt habe und deren ausführlichere Bearbeitung mir nützlich schien. Der Plan, nach welchem ich dabei verfahren bin, enthält folgende Abtheilungen:

1. Ueber Veränderungen in Strombetten unter Mitwirkung von Corrections-Bauwerken.
2. Ueber Veränderungen unter Mitwirkung von Bagger-Arbeiten ohne Correction.
3. Ueber Veränderungen lediglich durch Wirkung der Naturkräfte bei beharrlicher Defension des Ufers.
4. Verschiedene Erörterungen, vorzugsweise Hydrometrie betreffend.

Vorstehende Eintheilung ergab sich aus der örtlichen Lage, so wie auch aus anderen Umständen, durch welche das Bauverfahren hieselbst bedingt ward.

---

<sup>1)</sup> Erschienen in Hamburg 1853

Die erste Abtheilung betrifft den oberen Strom bis Hamburg und Altona; die zweite bezieht sich auf den Strom unterhalb Altona, hauptsächlich auf die vielbesprochene Blankeneser Untiefe; die dritte Abtheilung führt uns auf den Schauplatz eines beharrlichen Kampfes gegen Strom und Wellen, welcher durch meinen unvergeßlichen Lehrer und Vorgänger WOLTMAN allen deutschen Wasserbaumeistern bekannt geworden ist, nemlich an die Mündung der Elbe und die Ufer des Hamburgischen Amtes Ritzebüttel; die vierte Abtheilung vereinigt verschiedene Beobachtungen und Erörterungen von allgemeinerer Bedeutung.

Außer der Behandlung des Hauptthema's enthält jeder Theil in einem Anhange mehrere kleine Abhandlungen über verwandte Gegenstände, so wie auch nähere Nachweisungen einzelner Angaben.

In der Hoffnung, daß die Umstände es mir gestatten, die Fortsetzung demnächst folgen zu lassen, und daß in dem vorliegenden ersten Theile das Bestreben erkennbar sei, „die gemachten Erfahrungen zu ordnen und sie auf nähere oder entferntere Principien zurückzuführen,“ ein Streben, das mit Recht als die erste Bedingung eines wissenschaftlichen Studiums bezeichnet wird, schließe ich mit dem Wunsche, daß dieser Beitrag die billige Beurtheilung finden möge, welche die in mühsam erübrigten Nebenstunden vollendete Arbeit eines vielbeschäftigten Beamten in Anspruch zu nehmen berechtigt erscheint.

Hamburg, den 28. April 1853.

### Uebersicht des Inhalts.<sup>1)</sup>

#### Erster Abschnitt. Einleitung.

|       |   |       |
|-------|---|-------|
| § 1.  | Charakteristik des behandelten Falles . . . . .                                 | 052   |
| § 2.  | Beschreibung der Oertlichkeit. Stromtheilungen . . . . .                        | 053   |
| § 3.  | Geschichtliches . . . . .   | 053   |
| § 4.  | Aeltere Angaben und Messungen . . . . .   | 054   |
| § 5.  | Verfahren vor der Correction und bedenkliche Symptome . . . . .                 | 055   |
| § 6.  | } Erläuterungen des Ganges der Fluthwelle in verschiedenen Stromarmen . . . . . | { 056 |
| § 7.  |   |       |
| § 8.  | Notiz über den Umfang der Corrections-Anlagen . . . . .                         | 059   |
| § 9.  | Verhalten alter Stromarme als Fluth-Reservoirs . . . . .                        | 059   |
| § 10. | Stromleitende Operationen zur Heranziehung neuer hydraulischer Kräfte . . . . . | 060   |

#### Zweiter Abschnitt.

##### Messungen und Rechnungs-Resultate.

|       |  |       |     |
|-------|--|-------|-----|
| § 11. | Beschreibung der Messungen und der Lage der zur Bearbeitung ausgewählten Profil-Linien . . . . .   | 061   |     |
| § 12. | Bemerkung in Betreff gleichzeitiger Wasserstands-Beobachtungen . . . . .   | 064   |     |
| § 13. | } Erläuterung der Rechnungen hinsichtlich der Profil-Größe und der mittleren }<br>} Tiefe, so wie der tabellarischen Anordnung der Resultate . . . . . | { 064 |     |
| § 14. |  |       | 065 |
| § 15. |  |       | 066 |
| § 16. | Tabellen. No. I bis VIII . . . . .   | 067   |     |

#### Dritter Abschnitt.

##### Vergleichung verschiedener Stromstrecken zur Erläuterung des Principis.

|          |   |
|----------|---|
| *) § 17. | Betrachtung der allgemeinen Durchschnittszahlen $P$ und $t$ in den acht Stromstrecken für das ganze Decennium . . . . . |
| *) § 18. | Betrachtung der Durchschnittszahlen für drei kürzere Perioden . . . . .   |

<sup>1)</sup> Die mit \*) bezeichneten Abschnitte sind nicht abgedruckt.

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| *) § 19.   | Erläuterung der Mittelzahlen aus je vier Profilen für die einzelnen Jahre, mit Bezug auf die den Gang der Werthe darstellenden Curven . . . . . |     |
| *) § 20.   | Betrachtung dieser Zahlen und Curven für die Stromstrecken I, II und III. Stromtheilung . . . . .   |     |
| *) § 21.   | Betrachtung dieser Curven und Zahlen für die Stromstrecken III, IV, V und VI (obere Norder-Elbe) . . . . .                                      |     |
| *) § 22.   | Betrachtung dieser Curven und Zahlen für die Stromstrecken VII und VIII (untere Norder-Elbe) . . . . .  |     |
| *) § 23.   | Darstellung der Abhangs-Verhältnisse des Strombetts im Großen und Ganzen . .  |     |
| *) § 24.   | Erörterung des Stromabhangs in der Gegend der Stromtheilung. Gleichzeitige Wasserstands-Beobachtungen an verschiedenen Pegeln . . . . .         |     |
|            | Tabellen. 1841, September 8 . . . . .   |     |
|            | 1846, November 3 . . . . .  |     |
|            | 1846, November 4 . . . . .  |     |
|            | 1950, Juni 19 . . . . .   |     |
| *) § 25.   | Beschreibung des Verfahrens bei Bearbeitung dieser Beobachtungen. Curven zur Darstellung des Stromabhanges . . . . .                            |     |
| *) § 26. } | Erörterung der vorhergehenden Wasserstands-Beobachtungen und Verhält-<br>nisse des Stromabhanges . . . . .                                      | }   |
| *) § 27. } |   |     |
| *) § 28. } |   |     |
| § 29.      | Nachweisung des Umfanges der beihülflichen Baggerei und Erörterung ihres Verhältnisses zur Ablagerung . . . . .                                 | 067 |
| § 30.      | Abgeleitete Sätze, 1) in Betreff der natürlichen Verhältnisse des concreten Falles . .  | 068 |
|            | 2) in Betreff der Begründung von Erfahrungsergebnissen, die zu allgemeinerer Anwendung geeignet sind . . . . .                                  | 078 |
| § 31.      | Präcisirung des leitenden Principis bei Correction des getheilten Stromes im Gebiete der Meeresfluth . . . . .                                  | 079 |

Vierter Abschnitt.

Hervorhebung einiger specieller Wahrnehmungen und Verhältnisse.

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| *) § 32. | Verhalten der einzelnen Profile zu einander in den Stromstrecken I, II und III zunächst der Stromtheilung. Regelloser Zustand im Hauptstrom; constantes natürliches Verhältniß im Süder-Arm; ehemals widernatürliches Verhältniß und dessen Umwandlung im Norder-Arm . . . . . |     |
| *) § 33. | Verhalten der einzelnen Profile in der Stromstrecke VII. Betrachtung durchwandernder Sandmassen in Folge der Correction . . . . .  |     |
| § 34.    | Erörterungen im Gebiete der Hydrometrie. Maaßstab für die relative Brauchbarkeit einzelner Stromstrecken zu hydrometrischen Zwecken . . . . .  | 080 |
| § 35.    | Specielle Erörterung der Profil-Größen . . . . .   | 081 |
| § 36.    | Specielle Erörterung der mittleren Tiefen . . . . .  | 083 |
| § 37.    | Schluß . . . . .   | 084 |

Anhang.

Kleine Abhandlungen und nähere Nachweisung einzelner Verhältnisse.

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| *) I.   | Bodenbeschaffenheit des Strombetts der Elbe . . . . .                |     |
| *) II.  | Reinke's Bestimmung der Wassermenge der Elbe im Jahre 1798 . . . . . |     |
| *) III. | Erläuterung der Stromverhältnisse der Dove-Elbe . . . . .            |     |
| *) IV.  | Die Einrichtung der Hamburgischen Peilungs-Register . . . . .        |     |
| V.      | Ueber die Lage des Nullpunktes am Hauptpegel zu Hamburg . . . . .    | 086 |

Verzeichnis der Tafeln.

|           |   |
|-----------|---|
| I.        | Uebersichts-Karte der Elbe von Geesthacht bis Blankenese.     |
| *) II. }  | Curven für Profil-Größen und mittlere Tiefe.                  |
| *) III. } |   |
| *) IV. }  |   |
| V.        | Darstellungen der oberen und unteren Mündung der Norder-Elbe. |

- VI. Gestaltung des Strombetts bei Billwärder; in verschiedenen Jahren.  
 \*) VII. }  
 \*) VIII. } Curven für den Stromabhang.  
 \*) IX. }  
 \*) X. }  
 \*) XI. Wasserstands-Beobachtungen und Lage der Pegel.  
 \*) XII. Curven zur Darstellung des Maaßes für die relative Regelmäßigkeit des Strombetts.

Zur Reduction des Hamburgischen Maaßes auf anderes Maaß.

Nach: J. F. CRAMM, Maaß- und Gewichts-Tafeln; als Beitrag zum Jahrbriefe der Hamb. mathematischen Gesellschaft 1851. Herausgegeben 1852.

|                        |   |
|------------------------|---|
| 1 Hamburger Fuß        | = 0,28657 Meter = 127,036 Pariser Linien,             |
|                        | = 0,94021 englische Fuß,                              |
|                        | = 0,91307 preußische (rheinländische Fuß).            |
| 1 Hamburger Quadratfuß | = 0,082123 Quadratmeter = 0,77827 Pariser Quadratfuß, |
|                        | = 0,88400 englische Cubicfuß,                         |
|                        | = 0,83370 preußische Quadratfuß.                      |
| 1 Hamburger Cubicfuß   | = 0,023534 Cubicmeter = 0,68658 Pariser Cubicfuß,     |
|                        | = 0,83155 englische Cubicfuß,                         |
|                        | = 0,76123 preußische Cubicfuß.                        |

Erster Abschnitt.

Einleitung.

§ 1.

Die Stromcorrection, bei deren Ausführung und fernerer Behandlung die Beobachtungen und Erfahrungen gemacht wurden, die den nachfolgenden Erörterungen zum Grunde liegen, ist ganz ein Werk der neueren Zeit; zahlreiche und umfassende Messungen, die in dem nach und nach sich ausbildenden Strome angestellt worden sind, liegen vor, und ich hoffe durch die Mittheilung der daraus abgeleiteten Resultate einige Anhaltspunkte für die Beantwortung mancher beim Strombau vorkommender Fragen zu geben.

Der hier behandelte Fall ist ein ziemlich complicirter; die besonderen dabei zusammen-treffenden Umstände sind folgende:

Die Correction betrifft einen Arm des getheilten Hauptstroms, und zwar den schwächeren, bereits sehr versandeten Arm, während gleichzeitig auch in dem andern stärkeren Arme mit Energie an der Durchführung größerer Tiefe gearbeitet ward, wobei überdies ein 5- bis 6-jähriger Vorsprung gewonnen war; auch traten Territorial-Verhältnisse an einigen Punkten erschwerend in den Weg.

Dies Alles in einer Stromgegend, welche einerseits von den nach Jahreszeiten wechselnden Zuständen des oberen Stromes abhängig, andererseits den täglichen Oscillationen der Meeresfluth unterworfen ist, und so den Uebergang aus dem Fluthgebiete in den oberen, stets in Einer Richtung fließenden Strom bildet.

Man sieht, daß hier größtentheils ungünstige Verhältnisse sich vereinigen; in der Begegnung der Meeresfluth und des oberen Stromes liegen aber nicht nur hemmende, sondern auch fördernde Naturkräfte, und in Letzteren zugleich die Mittel zur Ueberwindung der Ersteren.

## § 2.

Die Elbe wird 2 Meilen<sup>1)</sup> oberhalb Hamburg in zwei Arme getheilt, in die Norder-Elbe und Süder-Elbe. Von zahlreichen Stromtheilungen, die im Laufe der Jahrhunderte nach und nach verschwunden sind, ist in dem oberen Theile der in Rede stehenden Stromgegend diese Theilung die Einzige noch übrig gebliebene. Dieselbe befindet sich ungefähr in der Mitte desjenigen Theils der Unter-Elbe, als dessen charakteristisches geologisches Kennzeichen jene holzreichen Moorschichten anzusehen sind, die den alten Seeboden des Elbthals in unserer Gegend bedecken, und in deren Vorhandensein ich eine Hauptursache der erwähnten zahlreichen Verästelungen des Stromes zu erkennen glaube.<sup>2)</sup>

Auf der erwähnten Moorschicht sind unsere Flußmarschen allmählig durch Aufschlickung abgelagert, und das Verschwinden vieler ehemaligen, meistens von Menschenhand geschlossenen Stromtheilungen, von denen jetzt fast nur die Archive und Geschichtsbücher noch vereinzelte Zeugnisse enthalten, beurkundet das Streben zur Ausdehnung gewinnreicher Benutzung der fruchtbaren, vom Strome gebildeten Landstriche.

Mit dem späteren Hervortreten der Schifffahrt-Interessen hat sich auch noch ein anderer Grund für die Beseitigung von Stromtheilungen geltend gemacht, indem man oft durch Schließung unbenutzter oder entbehrlicher Nebenarme die tiefere Aushöhlung der als Schifffahrtstraßen dienenden Arme zu bewirken gesucht hat.

Aber auch ohne solche absichtliche Abdämmungen ist der bekannte Gang der natürlichen Ausbildung der Strombette kein anderer, als daß nach und nach die schwächeren Stromarme noch mehr geschwächt und zuletzt von den stärkeren Armen ganz verschlungen werden, wenn nicht durch Kunstanlagen die Offenhaltung der Ersteren bezweckt wird.

## § 3.

Die Norder-Elbe, welche den Hafen Hamburgs einerseits mit der Ober-Elbe und dem Innern Deutschlands und andererseits mit der Unter-Elbe und dem Meere verbindet, ist bis auf die Gegenwart die alleinige große Schifffahrtstraße gewesen, während die Süder-Elbe, wegen ihrer Unfahrbarkeit für die großen Seeschiffe, nur dem localen Schifffahrt-Verkehr nahe belegener Gegenden zu dienen bestimmt schien. Jenes uralte Uebergewicht der an die Erhaltung der Norder-Elbe geknüpften commerciellen Interessen ist der Grund, daß in der Vorzeit diese, von jeher bei Weitem schwächere Abzweigung nicht dem hydraulischen Uebergewichte der Süder-Elbe unterlegen ist, denn nur durch die beharrlichen Anstrengungen und großen pecuniären Opfer Hamburgs ist die Offenhaltung der Norder-Elbe möglich gewesen.

Die Süder-Elbe war, mit Ausnahme einer kurzen Periode fehlgeschlagener Versuche die an diesem Arme belegene hannoversche Stadt Harburg den Seeschiffen zugänglich zu machen (1726 bis 1731), bis auf die neuere Zeit der Natur überlassen geblieben; diesem Umstande ist es vornemlich zuzuschreiben, daß im vorigen Jahrhunderte ein unsicheres, schwankendes Verfahren, wie der damalige Zustand der Strombaukunst es mit sich brachte, und die bloße Anwendung von Palliativmitteln und vereinzelten planlosen Bauwerken, die völlige Versandung der obern Mündung der Norder-Elbe hat abwenden können.

Von den Bauwerken, welche zu jener Zeit die Stadt Hamburg anlegen ließ, um dem

<sup>1)</sup> In WOLTMAN's Werken wird die Entfernung zu 1½ Meilen angegeben, dies gilt ungefähr vom oberen Endpunkte der Stadt gemessen; hier ist vom Hamburger Hauptpegel, welcher sich am untern Ende befindet, gerechnet.

<sup>2)</sup> Im Anhang sind einige Untersuchungen mitgetheilt, welche die Bodenbeschaffenheit unserer Stromgegend charakterisiren.

oberen Strome eine minder ungünstige Richtung in Bezug auf die Norder-Elbe zu geben, ist kein Einziges bis auf unsere Zeit erhalten geblieben, wiewohl sie zum Theil ziemlich bedeutend gewesen und längere Jahre unterhalten worden sind. Hier würden Mittheilungen darüber von dem eigentlichen Zwecke dieser Abhandlung ablenken, weßhalb ich dabei nicht verweile, sondern sogleich zur Nachweisung der hydraulischen Verhältnisse beider Stromarme, so wie des Zustandes, in welchem der Norder-Arm sich vor der Correction befand, übergehe.

## § 4.

Das Resultat einer im Jahre 1798 angestellten Messung der Wassermenge ist abgedruckt in WOLTMAN's Beiträgen Bd. IV. S. 279, so wie dasselbe diesem Schriftsteller von dem damaligen Strombau-Director REINKE mitgetheilt worden ist.

REINKE hatte mehrere Profile gemessen, und in denselben die Stromgeschwindigkeit beobachtet; das daraus erhaltene Rechnungs-Resultat lautet folgendermaßen:

|                                  |                     |
|----------------------------------|---------------------|
| Im ungetheilten Strome . . . . . | 27353,259 Cubicfuß, |
| In der Süder-Elbe . . . . .      | 19314,36            |
| " Norder-Elbe . . . . .          | 8022,06             |
|                                  | 27336,42 "          |

Fehler oder Differenz. 16,839 Cubicfuß.

Die so nahe Uebereinstimmung zweier, in verschiedenen Stromarmen ermittelten Zahlen, würde diese Rechnung vielleicht etwas verdächtig machen, wenn auch nicht der Umstand Statt fände, daß wegen der zwischen den gemessenen Profilen befindlichen, nicht unbeträchtlichen Quantität Fluthwasser eine Uebereinstimmung der Summen gar nicht eintreten darf, wenn die Messung und Berechnung richtig ist. Da es mir gelungen ist, die Original-Nachweisungen über die REINKE'sche Messung aufzufinden, so habe ich seine ganze Rechnung wiederholen können, und mich allerdings davon überzeugt, daß das nahe Zusammentreffen der Endzahlen künstlich herbeigeführt ist. Nichts destoweniger stellt aber jene Messung und Rechnung das damalige Verhältniß beider Stromarme annähernd dar, und ist als die älteste derartige Zahlenangabe jedenfalls bemerkenswerth,<sup>1)</sup> auch ist es sicher, daß die Vertheilung der Wassermenge zwischen beiden Stromarmen nicht günstiger für die Norder-Elbe gewesen sein kann, als die REINKE'schen Zahlen dieselben angeben.

Eine andere Untersuchung vom höchsten Interesse ist diejenige, welche WOLTMAN persönlich anstellte, als er im Jahre 1814 die Direction des Strombaues an der Ober-Elbe (welche ihm bis dahin nicht zugestanden hatte) übernahm. Zum Behufe dieser Untersuchung maß er 48 Strom-Profile, deren Mehrzahl mit Messungen in denselben Linien aus den Jahren 1784 und 1875 verglichen werden konnte. Das Urtheil über das Ergebnis will ich mit WOLTMAN's eignen Worten hieher setzen:

„Aus Vergleichung beider Tiefenmessungen (wobei man wegen Mangel der Fluthmesser in Anno 1784 auf einen Fuß mehr oder weniger nicht rechnen darf) erhellet jedoch soviel mit Gewißheit, daß die Norder-Elbe in dieser Epoche durchgehends untiefer geworden, und zwar 3 Fuß zum Wenigsten neben dem Niederhafen; welche Verminderung der Tiefe, obwohl sie aufwärts allmählig etwas abnimmt, dennoch neben Moorwärdern noch sehr merklich ist. Es ist

<sup>1)</sup> Im Anhange zu dieser Abhandlung befindet sich eine nähere Nachweisung der REINKE'schen Daten und des Weges, auf welchem er zu den obigen unrichtigen Zahlen gelangt ist. Im allgemeinen will ich sogleich bei dieser Gelegenheit meine Ansicht aussprechen, daß ich die auf den gewöhnlichen Wegen ermittelten Angaben absoluter Wassermengen in großen fließenden Gewässern für sehr unsicher halte.

nemlich die größte Tiefe daselbst nur  $2\frac{3}{4}$  und 3 Fuß und ein lebhafter Ostwind kann die Elbe soviel unter den ordinären Stand erniedrigen, da man alsdann trocknen Fußes würde durchgehen können.“

„Eine der beschwerlichsten Stellen ist noch da, wo sie 1784 war, nemlich zwischen der Billwärder Insel und der Hofe; doch ist sie jetzt insofern etwas besser, daß das eigentliche Fahrwasser oder die Löcher zwischen den Ufern und Sänden etwas tiefer geworden. Weil jedoch die Tiefen nur schmal sind und sich plötzlich von einem Ufer zum andern wenden, so ist es beschwerlich, das Fahrwasser zu finden und mit den langen Elbkähnen demselben zu folgen.“

Aus einem Berichte WOLTMAN's vom Jahre 1823 (abgedruckt in dessen Schiffbarmachung der Flüsse S. 129) erhellet, daß damals der Zustand der Norder-Elbe nicht wesentlich besser geworden war:

„Die Norder-Elbe war sehr versandet, also daß die oberländischen Elbkähne und selbst kleinere Fahrzeuge, die Milch, Gartenkräuter, Holz u. dergl. zur Stadt bringen, häufig nöthigt waren, den ungefähr doppelt längeren Weg durch die Süder-Elbe<sup>1)</sup> zu nehmen, um ohne Aufenthalt nach Hamburg zu kommen.“

Zur Abhülfe wurden dann, wie WOLTMAN a. a. O. beschreibt, Versuche gemacht, die Sandbänke durch Auflockerung des Grundes (Kratzen) zu vertreiben, und als diese Methode erfolglos befunden war, beschloß man die Anwendung der Handbaggerei.<sup>2)</sup>

Zugleich ward, auf WOLTMAN's Rath, durch Anlage von Kajedeichen und Leitdämmen auf den Vorländern das Hochwasser-Profil theilweise regulirt. Diese Dämme werden, wegen ihres anerkannten Nutzens, noch jetzt unterhalten, und sind, soweit als es die Lage der Hamburgischen Territorial-Gränze gestattet hat, fortgesetzt worden.

#### § 5.

Die Erfolge der Handbaggerei bestanden darin, daß man ein Jahrzehnt hindurch die Tiefe einigermaßen in statu quo erhielt, bis die zunehmende Verstärkung der Süder-Elbe eine fühlbare Einwirkung zum Nachtheil der Norder-Elbe zu zeigen schien, und zu kräftigeren Maaßregeln für die Conservation der Letzteren aufforderte.

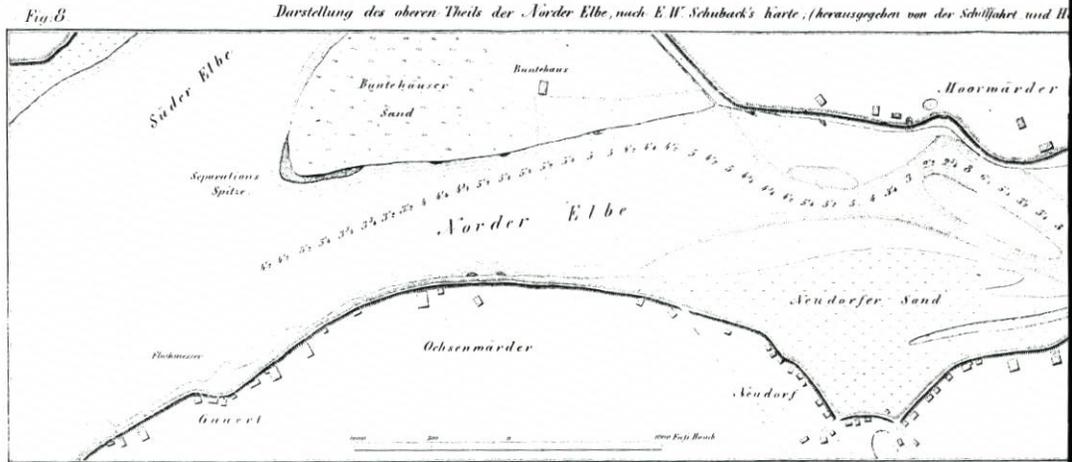
Dieses führte jedoch damals (1834) nur zu dem Beschlusse verstärkter Baggerei und zwar zur Anschaffung eines Dampfbaggers.<sup>3)</sup>

Bei der großen Energie, mit welcher dessen Betrieb mehrere Jahre hindurch fortgesetzt worden ist, würde die merklich wahrnehmbare Verbesserung des Fahrwassers sich ohne Zweifel länger gehalten haben, wenn nicht, in Folge der nunmehr planmäßig eingeleiteten Correction und Vertiefung der Süder-Elbe, eine mächtige, mit jedem Jahre in verstärktem Maaße auftretende Gegenwirkung gegen die Effecte der Baggerei in der Norder-Elbe eingetreten wäre. Da man aber den planmäßigen Operationen des Nachbarstaates gegenüber sich in Hamburg bei dem Palliativmittel der Dampfbaggerei beruhigte, ohne zu gleichzeitiger gründlicher Correction der Norder-Elbe zu schreiten, so mußte die Gefahr, „daß in Gemäßheit allgemeiner Erfahrung die Schifffahrt durch die Norder-Elbe verloren gehen könnte“ (WOLTMAN a. a. O.), sichtlich näher rücken.

<sup>1)</sup> Die Süder-Elbe ist der kürzere Stromarm, aber der Weg vom Separationspunkte durch die Süder-Elbe nach dem Oberhafen von Hamburg ist bedeutend länger, da man alsdann unterhalb Hamburg in die Norder-Elbe gelangt. (Vergl. die Karte Taf. I.).

<sup>2)</sup> Baggerei mit Ketschern, die durch Handarbeiter bewegt werden.

<sup>3)</sup> Dies war der erste Dampfbugger auf der Elbe; man findet über denselben nähere Auskunft in meinen Reisebemerkungen. Hamburg, 1844. S. 35.



Die Nähe dieser Gefahr zeigte sich im Jahre 1839 an einem sehr bezeichnenden, von mir selbst beobachteten Symptome, nemlich an einem verkehrten Gange der Strömung im oberen Theil der Norder-Elbe. Weil nemlich bei der Ebbe sich der Stromspiegel in der Süder-Elbe rascher senkte als in der Norder-Elbe, so strömte der Abfluß aus dem oberen Theil der Letzteren mit großer Heftigkeit um die Separationsspitze herum in die Süder-Elbe hinein; und weil bei der Fluth sich der Spiegel der Süder-Elbe rascher hob als derjenige der Norder-Elbe, so lief der Fluthstrom eine Zeitlang mit großer Heftigkeit aus der Süder-Elbe um die Separationsspitze herum in die Norder-Elbe.<sup>1)</sup> Diese reißenden Strömungen unterwühlten mit einer Kolkentiefe von 25 bis 30 Fuß die Separationsspitze, deren Ufer-Befestigung, aus Faschinenwerk und losen Steinschüttungen bestehend, spurlos in die Tiefe versank.

Nach solchen Symptomen konnte die Unmöglichkeit, bei den bisherigen Palliativmitteln stehen zu bleiben, mit Erfolg behauptet werden, und daran schloß sich die Vorlegung, Genehmigung und Ausführung des Correctionsplans, von welchem in dieser Abhandlung die Rede ist.

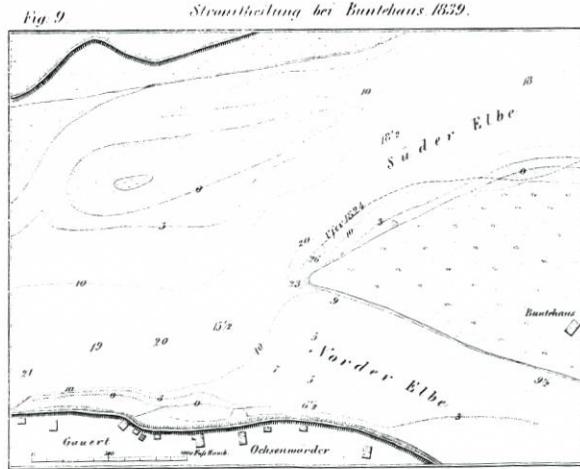
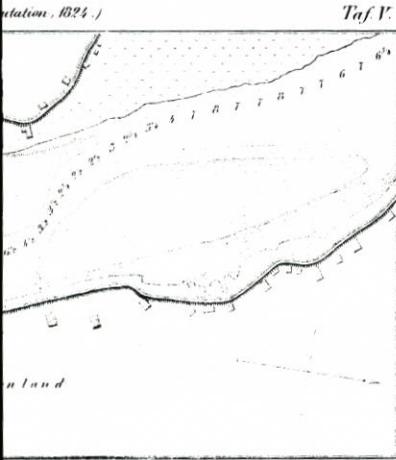
Zur Veranschaulichung der beschriebenen früheren Zustände können die Zeichnungen dienen, welche beigefügt sind, nemlich Fig. 8, den oberen Theil der Norder-Elbe im Jahre 1824 darstellend, und Fig. 9, die Gestalt und Beschaffenheit der Separationsspitze im Jahre 1840.

<sup>1)</sup> Auch in der Vorzeit sind diese Erscheinungen beobachtet worden; ein Bericht von HASENBANCK de Ao. 1731 enthält darüber folgende Mittheilung, die ich hier buchstäblich aufnehmen will:

„Der Ort (die genaue Stelle), alwo sich beide Ströhme theilen, ist mir ganz unbekand; dieses aber ist bekand, daß das Gewässer von dem Strohm zwischen dem Hagelt und dem Buntenhauser Sand, welches eine Distance von 300 Ruthen lang, in der Norder-Elbe gehet, und nenne diese: den Mund der Norder-Elbe; und weil zu spühren, daß der Strohm aus der Süder in der Norder fällt, und allda (beim Buntenhause) einen verkehrten moto machet und ein Theil südlich gehet, so setze, daß allda muß die Wechselung des Strohmey seyn.“

Diese etwas dunkle Schilderung wird verständlich, wenn man berücksichtigt, daß es damals z w e i Punkte gab, wo man die Separation suchen konnte; der obere beim Hagelt, der untere beim Buntenhauser Vorlande, 300 Ruthen weiter abwärts; zwischen beiden lag ein isolirtes Sandfeld. An dem unteren Punkte hatte HASENBANCK den „verkehrten moto,“ d. h. eine aus der Norder-Elbe rückwärts in die Süder-Elbe fließende Ebbeströmung beobachtet.

In Betreff der Fluth bemerkt derselbe Beobachter: „Die Fluth in der Süder-Elbe verwandelt sich beim Buntenhauser Sand in der Norder-Elbe mit einem verkehrten moto zu einem Ebbestrohm.“

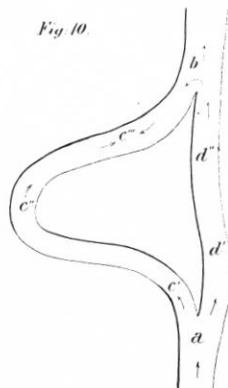


§ 6.

Es ist in der Einleitung bereits darauf hingewiesen und die so eben beschriebenen Wahrnehmungen haben es in einer speciellen Beziehung veranschaulicht, daß die Meeresfluth in dieser Stromgegend mit hemmenden und fördernden Kräften in die Stromverhältnisse eingreift; wo dieses der Fall ist, da hat das Verhalten der von unten in beide Stromarme eintretenden Fluthwelle eine mindestens eben so große Bedeutung, als die Vertheilung des oberen Zuflusses.

Wenn die Fluthwelle aus dem unteren ungetheilten Strome in den getheilten eintritt, so bilden sich zwei kleinere Wellen, von denen jede Einen der beiden Stromarme durchläuft; die Geschwindigkeit ihres Fortschreitens ist ungleich und von der Beschaffenheit, namentlich von der Tiefe, des betreffenden Armes abhängig. Diejenige der beiden Fluthwellen, welche zuerst an dem oberen Separationspunkte anlangt, tritt alsdann von oben in den Arm der trägeren Fluthbewegung ein, und es entsteht in diesem letzteren ein Begegnungspunkt beider Wellen, womit stets erhebliche Nachtheile für die Erhaltung der Tiefe verbunden sind.

In dieser Beziehung würde die Norder-Elbe, als der längere der beiden Stromarme, selbst unter übrigens gleichen Umständen, im Nachtheil gegen die Süder-Elbe sein, um so mehr also muß ein solches Verhältniß eintreten, wenn auch in anderer Hinsicht die Umstände ungünstig gestaltet sind. So war es gekommen, daß der Begegnungspunkt beider Fluthwellen weit abwärts im Norder-Arme belegen und an ausgedehnten hohen Sandablagerungen erkennbar war. (Fig. 8.)



## § 7.

Es scheint mir nicht überflüssig, diese Verhältnisse im Allgemeinen noch genauer zu erläutern. Sei demnach in Fig. 10 eine im Fluthgebiete belegene Stromtheilung dargestellt, bei welcher die beiden Arme von sehr ungleicher Beschaffenheit in Bezug auf das Fortschreiten der Fluthwelle sein sollen, dergestalt, daß dies Fortschreiten in dem Einen Arme ungestört Statt finde, in dem Andern aber sehr verzögert werde; sei ferner diese Verschiedenheit in der Figur durch ungleiche Länge der Arme anschaulich gemacht und werde die Richtung der Fluth durch Pfeile bezeichnet: So ist klar, daß durch die Fluthwelle, welche den Arm a d b durchläuft, der Stromspiegel bei b schon gehoben wird, wenn die andere Welle in dem Arm a c b erst etwa in c" diese Wirkung äußert.

Die nächste Folge davon ist, daß der obere Theil dieses Armes, etwa von b bis c"" mit Fluthwasser von b aus gefüllt wird und daß zwischen b und c" länger als in irgend einer andern Stromgegend die Stromgeschwindigkeit = Null, d. h. die Tendenz zur Ablagerung des Sandes und der Sinkstoffe ein Maximum wird.

Dies ist der directe Nachtheil des Begegnens von zwei Fluthwellen in einem der Arme, daraus folgt nun zweitens die Hervorrufung ganz ähnlicher Erscheinungen in entgegengesetzter Richtung während der Ebbe, mit dem Unterschiede, daß Letztere nur dann auffallend hervortreten, wenn der Zustand der Versandung schon sehr weit fortgeschritten ist und die Gefahr gänzlicher Abschließung des betreffenden Stromarmes nahe liegt.

Ferner folgt aus dem Einströmen des Fluthwassers in den Raum b c"" vom oberen Ende, drittens, eine Verminderung der Durchflußmenge in c', c'', so wie eine Vermehrung der Durchflußmenge in dem ganzen Arme a d b. Die Größe dieser Vermehrung und Verminderung entspricht dem Product aus der Oberfläche des gefüllten Raumes b c"" und der Höhendifferenz zwischen Hoch- und Niedrigwasser in dieser Stromgegend. Alles dieses bewirkt aber viertens eine fortschreitende Abnahme des Strom-Profils bei c' und eine fortschreitende Zunahme des Strom-Profils in dem Arme a d b; diese Veränderung tritt ihrerseits wieder als neue Ursache verzögerter Fluthbewegung in ac'c'' und beschleunigter Fluthbewegung in a d b auf.

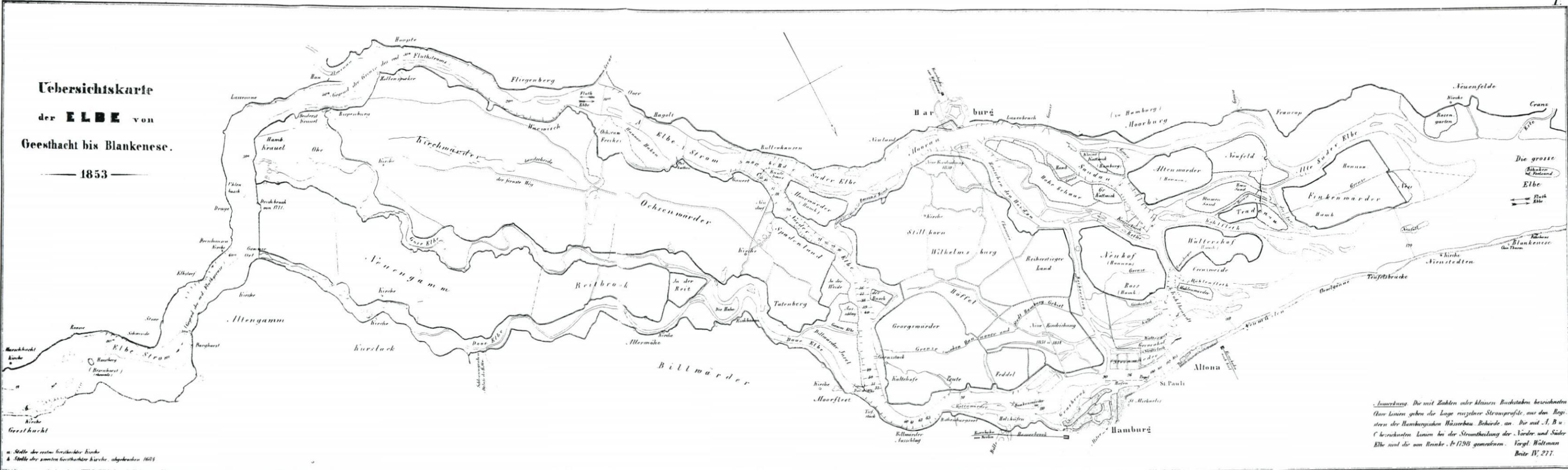
Vergegenwärtigt man sich die täglich wiederkehrende, nimmer ruhende Operation dieser Ursachen und Kräfte, so leuchtet es ein, daß deren Studium einen überaus wichtigen Theil der Aufgabe ausmacht, wenn man einen getheilten Strom im Gebiete der Meeresfluth zu behandeln hat, und daß in solchem Falle die Möglichkeit, beide Arme offen zu halten, von der gehörigen Berücksichtigung des Verhaltens der Fluthwelle abhängt.<sup>1)</sup>

Wenn man sich die obere Mündung des Armes a c b vollständig geschlossen denkt, so hört die ebenbeschriebene nachtheilige Einwirkung auf die untere Mündung c' auf, welches man an vielen toden Stromarmen wahrnehmen kann, die Jahrhunderte hindurch am untern Ende durch das aus- und einströmende Fluthwasser offen erhalten werden und als Fluthbasins eine große Wichtigkeit für den unteren Strom behalten. Ein Beispiel dieser Art ist die Dove-Elbe unweit Hamburg, von welcher noch ausführlicher die Rede sein wird.

Die erläuterte Benachtheiligung der untern Mündung der Norder-Elbe hatte, um 1836, einen sehr hohen Grad erreicht; um davon eine Anschauung zu geben, theile ich in Fig. 11 eine Darstellung des damaligen Zustandes mit, welche auf sehr sorgfältigen und sachkundi-

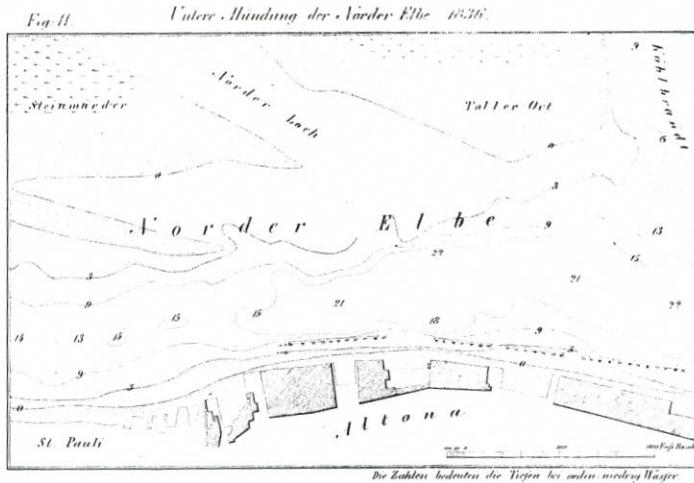
<sup>1)</sup> Ich glaube, diesen Gesichtspunkt kaum zu viel hervorheben zu können, da ich oft die Erfahrung gemacht habe, daß derselbe als „theoretische Speculation“ angesehen wird; nicht zu reden von geradezu verkehrter Beurtheilung desselben.

Übersichtskarte  
der ELBE von  
Geesthacht bis Blankenese.  
1853



a. Stelle der ersten Geesthachter Kirche  
b. Stelle der zweiten Geesthachter Kirche, abgebrannt 1624

Anmerkung. Die mit Zahlen oder kleinen Buchstaben bezeichneten Querlinien geben die Lage einzelner Stromprofile, aus den Registern der Hamburgischen Wasserbau-Behörde, an. Die mit A, B u. C bezeichneten Linien bei der Stromtheilung der Vorder- und Süder-Elbe sind die von Reinke, 1798 gemessenen. Vergl. Wöhlmann Beitr. IV, 277.



gen Aufnahmen der Offiziere eines Königl. Dänischen bei Altona stationirten Kriegsschiffes beruhet.<sup>1)</sup>

Man erkennt darin deutlich die bereits begonnene Bildung einer Barre in der untern Mündung des Norder-Arms, wodurch der damalige Zustand des Letzteren in Bezug auf die Aufnahme der Fluthbewegung hinlänglich charakterisirt ist. Die Dringlichkeit einer gründlichen Correction trat also auch hier entschieden hervor.

#### § 8.

Es würde von keinem Interesse sein, die Lage, Construction u. s. w. der zahlreichen Faschinenwerke zur Regelung der Profile des Mittelwassers und der bereits erwähnten Dämme zur Begränzung des Hochwasser-Profils, hier zu beschreiben, denn eines Theils weichen diese Constructionen von dem an andern Orten zu gleichen Zwecken beobachteten Verfahren nicht wesentlich ab, andern Theils ist meine Absicht bei dieser Abhandlung vorzugsweise auf eine Erörterung der Ursachen und der durch diese bewirkten mannigfachen Veränderungen im Strombett gerichtet. Die Ausführung der Correction ward im Jahre 1840 begonnen, als sie im Jahre 1846 im Wesentlichen beendet war, betrug die Gesamtlänge der bis dahin angelegten 105 Correctionswerke 21,600 Fuß, mithin die durchschnittliche Länge eines Werkes 200 Fuß oder das Durchschnittsmaaß der Einschränkung etwa 400 Fuß. Die Breite der geregelten Strombahn ist beiläufig 700 Fuß. Gleichzeitig mit der Ausführung der Correctionswerke war, wo es zweckmäßig erschien, durch Baggerei assistirt, über deren Umfang und Erfolg im § 29 nähere Nachweisung gegeben wird.

#### § 9.

Die Norder-Elbe erhält in dem untern Theil ihres Laufes einen außerordentlichen Zuwachs ihres hydraulischen Vermögens durch den vorhin bereits erwähnten, am oberen Ende geschlossenen alten Elbarm, welcher den Namen: die Billwärder Dove-Elbe, oder gewöhnlich bloß die Dove-Elbe,<sup>2)</sup> führt. Seit der vor mindestens 400 Jahren ausgeführten

<sup>1)</sup> Vergl. die vom Königl. Dänischen Seekarten-Archiv herausgegebene Karte: Die Elbe von Hamburg bis Twielfleth. 1840.

<sup>2)</sup> Dove-Elbe, niedersächsisch, für taube Elbe, bezeichnet in hiesiger Gegend häufig ehemalige, an einem Ende geschlossene Elbarme, die keinen durchgehenden Strom führen.

Abdämmung am Gammer Ort (vergl. die Uebersichts-Karte Taf. 1) bildet dieses Gewässer ein ausgedehntes Reservoir, welches täglich zweimal durch die Fluth mit Wasser gefüllt und durch die ablaufende Ebbe wieder bis auf ein gewisses Maaß entleert wird; die zu dieser Füllung erforderliche Wassermenge durchströmt demnach regelmäßig den untern Theil der Norder-Elbe und trägt zu dessen Tiefhaltung wesentlich bei.

Ein Blick auf die Uebersichts-Karte giebt einen Begriff von der großen Ausdehnung dieses Fluthbassins, über dessen Capacität im Jahre 1850 sehr specielle Untersuchungen angestellt worden sind, in Veranlassung des Verlangens mehrerer anliegender Marsch-Communen, die Dove-Elbe auch am untern Ende abzudämmen und das Eintreten der Fluth auszuschließen;<sup>1)</sup> das Ergebniß dieser Untersuchungen ist, daß dieses Fluth-Reservoir eine Oberfläche von nahe an 21 Millionen Quadrat-Fuß Oberfläche hat, wovon jedoch nur die untere Hälfte hier von Bedeutung ist, da die regelmäßige Erhebung und Senkung des Spiegels in dem oberen Theile sich auf ein sehr geringes Maaß reducirt. Der Unterschied zwischen ordinär Hochwasser und ordinär Niedrigwasser ist nemlich im untern Theile der Doven-Elbe = 4½ bis 5 Fuß, am oberen Ende aber = Null.

Die Wassermenge, welche dieses Reservoir in der Mitte der Ebbezeit der Norder-Elbe zuführt, beträgt gegen 3000 Cubicfuß in der Secunde.

Einer solchen Verstärkung war und ist die Norder-Elbe um so bedürftiger, weil in dem untern Theile ihres Laufes mehrere Stromspaltungen sich befinden, deren Schließung fast unausführbar ist, weil dieselbe störend in den Schifffahrtsbetrieb und die gewerblichen Interessen im Innern Hamburgs und in dessen nächster Umgebung eingreifen würde; einige kleine Nebenarme am linken Ufer, bei denen solche Hindernisse nicht in Betracht kamen, und die man auf der Uebersichts-Karte, dem Grasbrook gegenüber, leicht findet, sind coupirt worden.

#### § 10.

Die örtlichen Verhältnisse gestatteten es, zu den bisherigen hydraulischen Kräften der Norder-Elbe noch neue, bis zum Jahre 1842 unbenutzt gebliebene hinzuzufügen; die zu diesem Zwecke ausgeführte, tiefeingreifende Operation bestand in der Abschließung mehrerer, Ebbe und Fluth haltender, Stromarme zu Süden der Insel Steinwärder (vergl. die Uebersichts-Karte) und in der Durchleitung einer entsprechenden Wassermenge in geeigneten Richtungen, durch die untere Ausmündung der Norder-Elbe. Die Ausführung dieser Maaßregel hat viel Widerspruch und verkehrte Beurtheilung erfahren, wiewohl sie – unter allen Umständen für die Norder-Elbe nützlich – bei dem Fortgange des energischen Betriebes zur Vertiefung der Süder-Elbe, geradezu als unerläßliche Bedingung der Möglichkeit, die Zugänglichkeit des Hamburgischen Hafens zu conserviren, erkannt werden mußte. Dieselbe ist auf meinen Rath, nebst allem was damit zusammenhängt, begonnen und in wesentlichen Theilen ausgeführt, und es ist unverkennbar, daß diese Operation auf die hydraulischen Verhältnisse der Norder-Elbe im hohen Grade günstig eingewirkt und die nahe Gefahr der Ausbildung einer Barre dicht unterhalb Hamburg (vergl. § 7) für so lange beseitigt hat, als die Behandlung des Stromes nach denselben Grundsätzen Statt findet.

Hiermit ist nun das Feld, auf welchem die in Rede stehende Stromcorrection ausgeführt worden, wie ich hoffe, hinlänglich genau beschrieben, und ich gehe jetzt zur Nachweisung der Messungen und sonstiger Daten für die Beurtheilung der bewirkten Veränderungen über.

1) Vergl. Anhang No. III.

## Zweiter Abschnitt.

## Messungen und Rechnungs-Resultate.

## § 11.

Die Grundlage der Beurtheilung besteht in einer Reihe von Tiefenmessungen, welche seit 1842 jährlich in bestimmten, unveränderlich feststehenden Linien wiederholt werden. Bildet der Winter eine sichere Eisdecke, so werden auf dieser die Linien mit der Kette abgemessen, gestatten aber die Umstände dieses Verfahren nicht, so wird in Booten an eingetheilten und ausgespannten Leinen die Tiefenmessung (Peilung) vorgenommen.

Die Anzahl der festen numerirten Peilungs-Linien vom Ortkathen am rechten Ufer der ungetheilten Ober-Elbe, durch die Norder-Elbe bis Altona, beträgt 103; in der oberen Mündung der Süder-Elbe befinden sich 6 Linien, die mit Litt. a bis f bezeichnet sind.

Jede Section der Elbstrom-Karte hat ihr eigenes Peilungs-Register und in diesem hat jede Linie ihr eigenes Folium.

Die gemessenen Tiefen werden sämmtlich auf eine bestimmte Horizontale, welche  $6\frac{3}{4}$  Fuß höher liegt, als der Nullpunkt des Hamburgischen Hauptpegels, reducirt und alsdann in die Register eingetragen.

Im Anhang habe ich die Einrichtung dieser Register an einem Beispiele gezeigt.<sup>1)</sup>

Nach diesen Registern nun, kann man den Veränderungen des Strombetts von Jahr zu Jahr folgen, und zwar bis in ein ziemlich specielles Detail, da die, durchschnittlich 600 Fuß betragende Entfernung der Linien, kleiner ist als die Strombreite und da die einzelnen Tiefen in Entfernungen von 25 Fuß gemessen sind.

Für die vorliegende Untersuchung habe ich an 8 verschiedenen Stellen je 4 Profil-Linien ausgewählt, welche auf der Uebersichts-Karte (Taf. I) bezeichnet sind. Bei der Auswahl dieser Linien ist lediglich darauf gesehen, daß die betreffenden Stellen geeignet seien, die charakteristischen Veränderungen des Strombetts, während des zehnjährigen Zeitraumes, welchen die Untersuchung umfaßt, möglichst klar zur Anschauung zu bringen; es sind folgende:

- |       |                                      |                     |
|-------|--------------------------------------|---------------------|
| I.    | In der ungetheilten Elbe; Linien No. | 9, 10, 11, 12.      |
| II.   | „ „ Süder-Elbe; . . . „ Litt.        | b, c, d, e.         |
| III.  | „ „ Norder-Elbe; . . . „ No.         | 15, 16, 17, 18.     |
| IV.   | „ „ „ . . . „ „                      | 27, 28, 29, 30.     |
| V.    | „ „ „ . . . „ „                      | 36, 37, 38, 39.     |
| VI.   | „ „ „ . . . „ „                      | 49, 50, 51, 52.     |
| VII.  | „ „ „ . . . „ „                      | 60, 61, 62, 63.     |
| VIII. | „ „ „ . . . „ „                      | 100, 101, 102, 103. |

Die Stellen I, II und III liegen nahe oberhalb und unterhalb der Stromtheilung beim Buntenhause; sie geben Auskunft über das Verhalten der ungetheilten Elbe und der oberen Einmündungen.

Die Stellen IV, V und VI liegen in dem Theil der Norder-Elbe, der noch keine weitere Verstärkung empfängt, als das in ihm selber befindliche Fluthwasser; sie müssen demnach zwar wesentlich abhängig von der oberen Einströmung, aber dennoch, von oben nach unten allmählig zunehmend, den Einfluß des Verhaltens der Fluthbewegung zeigen.

Die Stelle VII liegt nahe unterhalb der Aufnahme der Doven-Elbe; sie zeigt die Verstärkung der Norder-Elbe durch dieses große Fluth-Reservoir.

Die Stelle VIII liegt am unteren Ende der Norder-Elbe, in ihr ist das ganze hydraulische

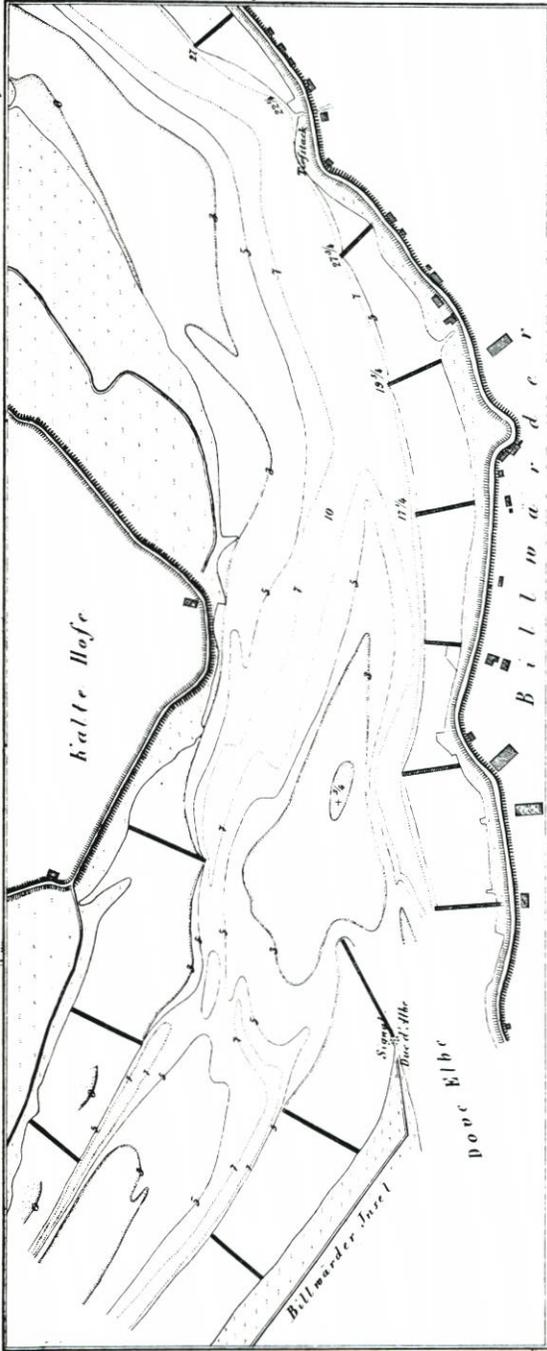
1) Anhang No. IV.

Gestaltung des Strombettes der Förder-Elbe bei Billwärd.

Im Jahre 1845.

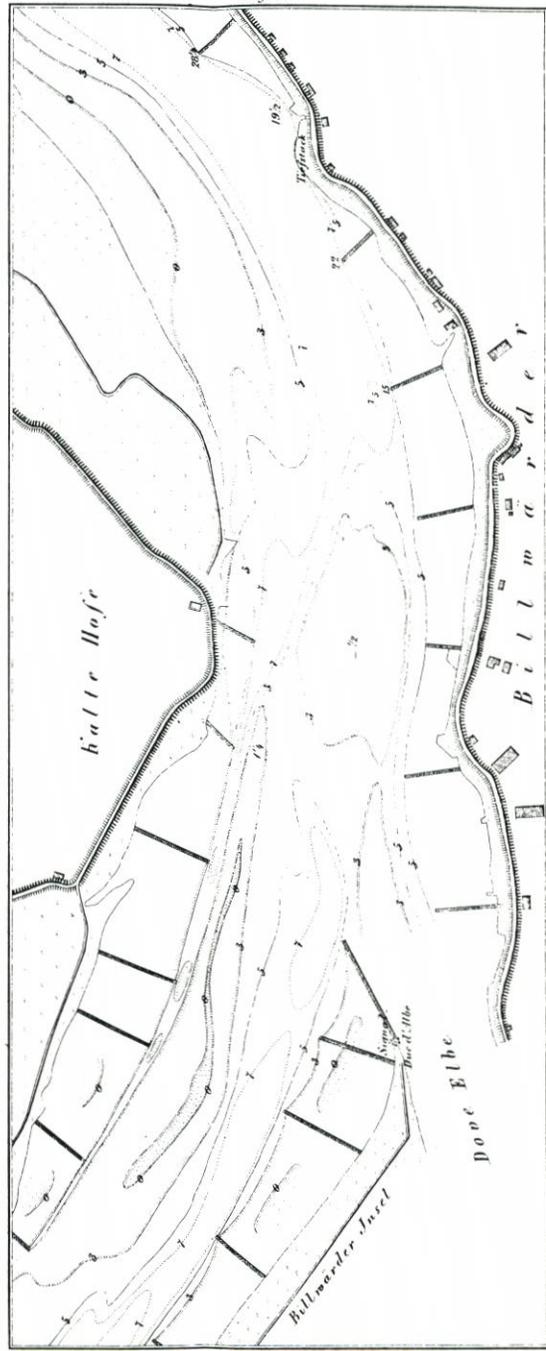
Die Zahlen bedeuten die Tiefen bei sehr niedrigem Wasser.

Fig. 12.



Im Jahre 1847.

Fig. 13.





Vermögen dieses Stromarms, einschließlich der durch die stromleitenden Operationen hinter dem Steinwärder hinzugezogenen Verstärkungen, vereinigt; sie veranschaulicht demnach die gesammten Wirkungen der einzelnen, auf Hervorrufung von Veränderungen während des untersuchten Zeitraums gerichtet gewesenen Kräfte; Wirkungen, die, wenn man die günstigen mit Plus, die ungünstigen mit Minus bezeichnet, in einer algebraischen Summe vereinigt gedacht werden können.

Die zwischen VII und VIII belegene Gegend enthält die obenerwähnten kleineren Stromspaltungen, die wegen des Verkehrs in Hamburg und dessen nächster Umgebung unentbehrlich sind; aus dieser Strecke können deshalb allgemeine Resultate für den ganzen Strom nicht entnommen werden.

Es ist zur Beurtheilung des Folgenden zweckmäßig, die Lage der genannten Linien auf der Uebersichts-Karte nachzusehen.

### § 12.

Das hydraulische Vermögen eines Stromes ist anerkanntermaßen eine Function der Größe des Stromprofils, der mittleren Tiefe und des Stromabhangs oder Gefälles; ob noch andere Elemente dabei in Betracht zu ziehen sind, mag hier dahin gestellt bleiben. In Betreff des Stromabhangs sind gewisse Gränzen gegeben, über welche hinaus eine Verbesserung nicht denkbar ist. Diese Gränzen sind erreicht, wenn alle Unregelmäßigkeiten des Gefälles verschwinden und die Längen-Curve des Stromes in der ganzen Ausdehnung der regulirten Stromstrecke und während aller Stadien sowohl der Ebbe als der Fluth, eine stetig gekrümmte oder, wenn es möglich wäre, gerade Linie bildet. Gemessen wird die Längen-Curve des Stromes durch gleichzeitige Beobachtungen an einer Reihe von nivellirten Pegeln, die aber so nahe beieinander stehen müssen, daß man ohne Bedenken die Linie von Einem zum Andern als gerade ansehen kann.

Es ist sehr schwierig und kostbar, bei öfterer Wiederholung und für lange Stromstrecken dieser Bedingung zu genügen, allen man würde diese Schwierigkeit dennoch überwinden müssen, wenn die Beobachtungen einzelner Fluthwellen zur Grundlage allgemeiner Folgerungen über Veränderungen in den Abhangsverhältnissen dienen könnten. Dies ist jedoch nicht der Fall, weil auf jede einzelne Messung dieser Art eine Menge veränderlicher Nebenumstände einwirken, die man nicht eliminiren kann.

Diese sind (außer Wind und Wetter) die Fluthhöhe und Ebbehöhe derselben Fluthwelle und der vorhergegangenen Fluthwelle zu Cuxhaven, der vordere Abhang der nachfolgenden Fluthwelle und die Höhe des Wasserstandes der Ober-Elbe außerhalb des Fluthgebietes.

Nichtsdestoweniger gewähren gleichzeitige Wasserstands-Beobachtungen an einer Reihe von Pegeln ein wesentliches Hülfsmittel zur Leitung des Urtheils, und werde ich später darauf zurückkommen.

Zunächst sollen hier aus den vorliegenden Tiefenmessungen die beiden anderen Größen, durch welche das hydraulische Vermögen bestimmt wird, abgeleitet und erörtert werden, nemlich:

das Stromprofil und die mittlere Tiefe.

### § 13.

Die Größe des Stromprofils ist für jede der gewählten Linien und für jedes der 10 Jahre, 1843–1852, berechnet, und zwar:

- a) in Bezug auf die Horizontale, auf welche die Peilungen amtlich reducirt werden und welche  $6\frac{3}{4}$  Fuß über dem Nullpunkte des Hauptpegels zu Hamburg liegt;
- b) für einen Wasserstand, der um eben so viel unter dieser Horizontale gedacht wird, als

die ordinäre Ebbe, an dem Orte, wo die fragliche Linie sich befindet, unter die dortige ordinäre Fluthhöhe herabsinkt.<sup>1)</sup>

Die je vier zusammengehörigen Profile sind dann in der Art zusammengefaßt, daß aus ihnen für jedes Jahr und für jede der beiden Spiegelhöhen (a und b) das arithmetische Mittel genommen und daraus die Durchschnittszahl unter c gezogen ist.

Die mittlere Tiefe ist ebenfalls für jede Linie und jedes Jahr, so wie für jede der beiden angenommenen Spiegelhöhen (a und b) besonders berechnet und dann aus den zusammengehörigen je vier Linien, so wie zwischen beiden Spiegelhöhen, ein Werth arithmetisch vermittelt. Diesen gefundenen Mittel-Werthen von  $t$  ist dann noch  $\sqrt{t}$  beigefügt, weil ceteris paribus die Zu- oder Abnahme des hydraulischen Vermögens nach dem Verhältniß der Quadratwurzel aus der mittleren Tiefe geschätzt zu werden pflegt.

Endlich ist noch, sowohl bei den Stromprofilen als bei den mittleren Tiefen, aus den zehn Jahreswerthen eine allgemeine Durchschnittszahl gezogen, und außerdem sind für folgende drei Jahrguppen:

1843–1845; 1846–1849; 1850–1852

ebenfalls Durchschnittszahlen berechnet und beigefügt.

#### § 14.

Die solchergestalt gewonnenen Rechnungsergebnisse sind in Tabellen zusammengestellt (§ 16), zu deren vollständigeren Erläuterung ich noch Folgendes bemerke:

Es könnte scheinen, als seien die Berechnungen für die Höhen a und b überflüssig, indem man die Rechnung sogleich auf das, zwischen beiden in der Mitte liegende, Niveau hätte beziehen können, dies ist jedoch für den vorliegenden Zweck nicht zutreffend. Es sind nemlich hier nicht hydrometrische Arbeiten, auch nicht Nachweisungen der Fahrtiefe in gewissen Zeitpunkten,<sup>2)</sup> sondern es ist eine Uebersicht und Nachweisung beabsichtigt, welche die Veränderungen des ordinären Fluth-Profils und des Ebbe-Profils in sich vereinigt; diese Veränderungen gehen aber keinesweges immer mit einander parallel, oder auch nur gleichförmig, wie leicht einzusehen ist wenn man sich vergegenwärtigt, daß die Strombreiten bei verschiedenen Höhen in verschiedenem Maaße zu- oder abnehmen können.

Ein Beispiel kann dies erläutern, wobei das Zeichen + Zunahme, das Zeichen – aber Abnahme der Profilgröße bedeutet.

Für die Stelle VIII (vergl. die Uebersichts-Karte und die Tabelle VIII im § 16) finden wir folgende Veränderungen während der einzelnen Jahre 1843 bis 1852.

- a) (Bei Höhe =  $6\frac{3}{4}$  Fuß über Null:)  
 – 493; + 1016; – 282; + 1140; + 298; + 488; – 277; + 433; + 339.
- b) (Bei Höhe = Null:)  
 – 420; + 745; – 10; + 884; + 181; + 94; + 65; + 97; + 363.

<sup>1)</sup> Man unterscheidet hier „Hamburger Null“, welches eine feste, unveränderliche Pegelhöhe bedeutet, und „Null in loco“, welches die an verschiedenen Stellen des Stromes verschiedene Höhe der ordinären Ebbe bezeichnen soll.

<sup>2)</sup> Zu solchen Zwecken ist die Annahme einer bestimmten Spiegelhöhe erforderlich und genügend; jedoch ist dabei Folgendes zu bemerken: Im ersten Falle müssen für die mit einander zu vergleichenden Profile die gleichzeitigen Spiegelhöhen, mithin verschiedene Stadien der Fluthentwicklung genommen werden, denn die Fluth ist an dem Einem Pegel nicht in dem nemlichen Stadium wie an dem Andern. Zur Nachweisung der Fahrtiefe kommt es nicht auf die mittlere, sondern auf die größte Tiefe an.

c) Mittel:

- 457; + 881; - 146; + 1022; + 229; + 291; - 106; + 265; + 351.

Im Ganzen 1843 bis 1852:

|                         |      |             |
|-------------------------|------|-------------|
| a) (Bei 6¼ Fuß) Zunahme | 2662 | Quadratfuß. |
| b) (Bei Null). . .      | 1999 | ”           |
| c) Mittel. . . . .      | 2330 | ”           |

Will man demnach die Veränderungen gründlich erforschen, so müssen sowohl die Größen bei Hochwasser als diejenigen bei Niedrigwasser gesondert in Betracht gezogen werden; die alleinige Vergrößerung der Einen ohne eine entsprechende Vergrößerung der Andern kann möglicherweise (jedoch nicht nothwendig) eine Verschlechterung des Strombetts sein; die Zunahme beider ist sicher Verbesserung. Damit aber, bei der großen Menge der zu vergleichenden Größen, nicht der Ueberblick über das Ganze verloren gehe, muß eine Mittelzahl gebildet werden, welche die Eigenthümlichkeiten beider Gränzen in sich aufnimmt. Dies ist die Bedeutung der in den nachfolgenden Tabellen unter c aufgeführten Mittelzahl, durch welche die Betrachtung der Werthe unter a und b keinesweges entbehrlich gemacht wird. Ganz dasselbe gilt auch von den Durchschnittszahlen aus gewissen Zeiträumen; auch diese sollen nur die Schwierigkeit der Uebersicht des Ganzen vermindern, ohne die Stelle der einzelnen Werthe, aus denen sie abgeleitet sind, zu vertreten.

Die Vergleichenngen der Einzelwerthe habe ich in allen Tabellen ganz durchgeführt und die betreffenden Differenzen vollständig beigefügt. Denn in den Einzelwerthen prägen die wirklichen Thatsachen sich aus, durch deren Erforschung und Kenntniß die Brauchbarkeit der Folgerungen wesentlich bedingt ist und die nicht durch Mittelzahlen dargestellt werden.

Ich glaube kaum, daß es nöthig ist, mich gegen das Mißverständniß zu sichern, als ob ich hierdurch mit den Grundsätzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung in Widerspruch träte. Wenn durch Wiederholung der Beobachtung einer und derselben Größe oder Thatsache, welche nur einen einzigen wahren Werth hat, eine Reihe verschiedener Angaben dieses Werthes vorliegt, so vertritt die wahrscheinlichste dieser Angaben (also, den Umständen nach, das arithmetische Mittel aus allen) die Stelle des unbekanntes wahren Werthes; wenn ferner, aus einer Reihe möglicher zukünftiger Thatsachen oder Fälle, die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Falles, oder des Zusammentreffens mehrerer, vorher angegeben werden soll, so vertritt bis zum Augenblick der Entscheidung durch die wirklich erfolgte Thatsache, der nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung ermittelte Werth die Stelle der späteren Gewißheit. Hier aber liegt eine derartige Aufgabe nicht vor, sondern eine Reihe einzelner, wirklicher Thatsachen, von denen jede, zu den ihrer Eigenthümlichkeit entsprechenden Voraussetzungen und Folgerungen berechtigt, soll erörtert werden.

Die Mittelzahlen aber stellen keine einzige dieser Thatsachen genau dar.

## § 15.

Die Höhenlage des ordinär Niedrigwassers in Bezug auf den Hamburger Pegel ist an den acht Punkten, auf welche die nachfolgenden Tabellen sich beziehen, folgendermaßen angenommen:

|   |                          |         |       |
|---|--------------------------|---------|-------|
| I. Ungetheilte Elbe, nahe oberhalb der Stromtheilung. | 3¼ Fuß                   | + Hamb. | Null. |
| II. Süder-Elbe,                                       | } nahe unterhalb         | ”       | ”     |
| III. Norder-Elbe,                                     |                          | 3       | ” + ” |
| IV. ”   | bei Spadenland . . . . . | 2¼      | ” + ” |

|       |   |                                  |    |                 |   |   |   |
|-------|---|----------------------------------|----|-----------------|---|---|---|
| V.    | ” | bei Spadenlander Busch . . . . . | 2  | ”               | + | ” | ” |
| VI.   | ” | bei Kaltenhofe . . . . .         | 1½ | ”               | + | ” | ” |
| VII.  | ” | bei Rotenburgsort . . . . .      | 1¼ | ”               | + | ” | ” |
| VIII. | ” | bei St. Pauli . . . . .          | =  | Hamburger Null. |   |   |   |

Die Höhenlage der ordinären Fluth ist, wie bereits bemerkt, durchgehends zu 6¼ Fuß + Hamburger Null angenommen.

Der Nullpunkt des Hamburger Pegels ist im Mai 1787 durch den damaligen Strombau-Director REINKE festgestellt, der auch die ordinäre Fluthhöhe = 6 Fuß 8 Zoll über demselben befunden. Eine specielle Erörterung dieses Gegenstandes findet man im Anhang zu dieser Abhandlung.<sup>1)</sup>

#### § 16.

Es folgen nun die tabellarisch geordneten Rechnungs-Resultate; jede Tabelle enthält diejenigen für Eine der auf der Uebersichts-Karte bezeichneten Strecken I bis VIII, und zwar in der ersten Abtheilung das Stromprofil, in der zweiten die Tiefe des Stromes, und in der dritten einige sonstige Verhältnisse.

### Dritter Abschnitt.

#### Vergleichung verschiedener Stromstrecken zur Erläuterung des Prinzips.

#### § 29.

Es ist zum Abschlusse dieser allgemeinen Untersuchung noch übrig, eine Nachweisung des Umfanges der Baggerei mitzuthellen, welche während und seit der Correction der Norder-Elbe in dem oberen Theile dieses Stromarmes ausgeführt worden.

Die Correction ward im Jahre 1840 mit Befestigung der Separationsspitze und Aufführung eines 1500 Fuß langen wasserfreien Separations-Dammes mit dem dortigen niedrigen Vorlande begonnen; Hand in Hand mit diesen Arbeiten ging eine stark besetzte Baggerei in der oberen Mündung; im folgenden Jahre 1841 ward an mehreren Stellen, besonders kräftig aber in der Stromstrecke VI (vergl. Uebersichts-Karte) bei der Kaltenhofe gebaggert; im Jahre 1842 war die Baggerei unerheblich; mit dem Jahre 1843, dem vierten Jahre der Ausführung der Correction, beginnt das Decennium, dem die bisher erörterten Zahlenverhältnisse und Thatsachen angehören.

<sup>1)</sup> Anhang No. V.

## Tabelle I.

### Ungetheilte Elbe, 1700 Fuß oberhalb der Stromtheilung.

Entfernung der gemessenen Profile von einander,  $\left\{ \begin{array}{l} \text{No. 9 bis No. 10. 540 Fuß,} \\ \text{" 10 " " 11. 380 " } \\ \text{" 11 " " 12. 380 " } \end{array} \right\}$  Länge der Stromstrecke I. l = 1300 Fuß.  
Die Strombreite beträgt gegen 2000 Fuß zwischen den Ufern.

#### I. Quers-Profil des Stromes. (Profil-Größe in Hamburger Quadrat-Fuß.)

a. Bei einem Wasserstande von  $6\frac{3}{4}$  Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Hochwasser.)

| Datum der Messung                                     | 1843.  | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |       |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Gemessene Profil-Größen                               | No. 9. | —     | 19737 | 21312 | 19925 | 17537 | 18525 | 16512 | 17887 | 15490 | 18287 |
|   | " 10.  | 19459 | 17862 | 21550 | 21400 | 18350 | 17325 | 16137 | 15925 | 17525 | 18400 |
|   | " 11.  | —     | 17575 | 21250 | 21024 | 18418 | 19337 | 16437 | 16526 | 16962 | 17262 |
|   | " 12.  | 19587 | 18825 | 22150 | 21650 | 19531 | 18650 | 16612 | 19825 | 17225 | 16750 |
| Mittelzahl  | 19518  | 18500 | 21565 | 21000 | 18459 | 18459 | 16424 | 17541 | 16801 | 17675 |       |
| Abweichung der einzelnen Größen von der Mittelzahl    | No. 9. | —     | +1238 | — 253 | —1075 | — 922 | + 66  | + 88  | + 346 | —1311 | + 612 |
|   | " 10.  | — 68  | — 637 | — 15  | + 400 | — 109 | —1134 | — 287 | —1616 | + 724 | + 725 |
|   | " 11.  | —     | — 924 | — 315 | + 24  | — 41  | + 878 | + 13  | —1015 | + 161 | — 413 |
|   | " 12.  | + 69  | + 326 | + 585 | + 650 | +1072 | + 191 | + 188 | +2284 | + 424 | — 925 |
| Durchschnittliche Abweichung                          | —      | 781   | 292   | 537   | 536   | 567   | 144   | 1315  | 655   | 669   |       |
| In Procent der Mittelzahl                             | —      | 422   | 1,35  | 2,56  | 2,90  | 3,07  | 0,88  | 7,49  | 3,90  | 3,78  |       |
| Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Profil | .....  | 2162  | 900   | 1725  | 1994  | 2012  | 475   | 3900  | 2025  | 1650  |       |
| Das kleinste Profil verhält sich zum größten wie 1:   | .....  | 1,12  | 1,04  | 1,09  | 1,11  | 1,12  | 1,03  | 1,24  | 1,13  | 1,11  |       |

b. Bei einem Wasserstande von  $3\frac{1}{4}$  Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Niedrigwasser.)

| Datum der Messung                                     | 1843.  | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |       |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Gemessene Profil-Größen                               | No. 9. | —     | 12937 | 14262 | 12850 | 11162 | 10425 | 9187  | 10937 | 8787  | 11262 |
|   | " 10.  | 12725 | 11425 | 14625 | 13925 | 11600 | 11062 | 9825  | 9800  | 10675 | 11425 |
|   | " 11.  | —     | 10837 | 14175 | 13744 | 11250 | 12162 | 9600  | 10425 | 9962  | 9937  |
|   | " 12.  | 12340 | 11175 | 14425 | 14000 | 11798 | 10912 | 8930  | 11950 | 10085 | 9120  |
| Mittelzahl  | 12532  | 11593 | 14372 | 13630 | 11452 | 11140 | 9385  | 10778 | 9877  | 10436 |       |
| Abweichung der einzelnen Größen von der Mittelzahl    | No. 9. | —     | +1344 | — 110 | — 780 | — 290 | — 715 | — 198 | + 159 | —1090 | + 826 |
|   | " 10.  | + 193 | — 168 | + 253 | + 295 | + 148 | — 78  | + 440 | — 978 | + 798 | + 989 |
|   | " 11.  | —     | — 756 | — 197 | + 114 | — 202 | +1022 | + 215 | — 353 | + 85  | — 499 |
|   | " 12.  | — 192 | — 418 | + 53  | + 370 | + 346 | — 228 | — 455 | +1172 | + 208 | —1316 |
| Durchschnittliche Abweichung                          | —      | 671   | 153   | 390   | 247   | 511   | 327   | 665   | 545   | 907   |       |
| In Procent der Mittelzahl                             | —      | 5,79  | 1,07  | 2,86  | 2,16  | 4,59  | 3,48  | 6,17  | 5,52  | 8,69  |       |
| Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Profil | .....  | 2100  | 450   | 1150  | 636   | 1737  | 895   | 2150  | 1888  | 2305  |       |
| Das kleinste Profil verhält sich zum größten wie 1:   | .....  | 1,20  | 1,03  | 1,09  | 1,06  | 1,17  | 1,10  | 1,22  | 1,21  | 1,25  |       |

c. Mittel aus den Mittelzahlen unter a und b. (Halbe Ebbe.) Werthe von P zur Vergleichung mit anderen Stromstrecken.

| Datum der Messung              | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittel in den einzelnen Jahren | 16025 | 15046 | 17968 | 17315 | 14955 | 14799 | 12904 | 14159 | 13339 | 14055 |
| Durchschnitt mehrerer Jahre    | 16346 |       |       | 14993 |       |       |       | 13851 |       |       |
| Allgem. Durchschnittszahl P    | 15056 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

(Fortsetzung von Tabelle I.)

**2. Tiefe des Stromes. (Mittlere Tiefe in Hamburger Fuß.)**

a. Bei einem Wasserstande von  $6\frac{3}{4}$  Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Hochwasser.)

| Datum der Messung                                  | 1843.       | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|--|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittlere Tiefe in den gemessenen Profilen          | No. 9. —    | 9,92  | 11,66 | 10,28 | 9,13  | 9,28  | 8,30  | 9,26  | 8,22  | 9,95  |
|  | " 10. 10,54 | 9,81  | 11,83 | 10,91 | 9,61  | 8,78  | 8,15  | 7,96  | 9,19  | 9,36  |
|  | " 11. —     | 8,97  | 10,59 | 10,51 | 9,26  | 9,72  | 8,29  | 8,15  | 8,69  | 8,47  |
|  | " 12. 10,25 | 8,96  | 10,73 | 10,75 | 9,50  | 9,27  | 8,25  | 9,44  | 8,44  | 8,20  |
| Mittelzahl   | 10,40       | 9,41  | 11,20 | 10,61 | 9,37  | 9,26  | 8,25  | 8,70  | 8,63  | 8,99  |
| Abweichung der einzelnen Werthe von der Mittelzahl | No. 9. —    | +0,51 | +0,46 | -0,33 | -0,24 | +0,02 | +0,05 | +0,55 | -0,41 | +0,96 |
|  | " 10. +0,14 | +0,40 | +0,63 | +0,30 | +0,24 | -0,48 | -0,10 | -0,75 | +0,56 | +0,37 |
|  | " 11. —     | -0,44 | -0,61 | -0,10 | -0,11 | +0,46 | +0,04 | -0,56 | +0,06 | -0,52 |
|  | " 12. -0,15 | -0,45 | -0,47 | +0,14 | +0,13 | +0,01 | 0     | +0,75 | -0,19 | -0,79 |
| Durchschnittliche Abweichung                       | —           | 0,45  | 0,54  | 0,22  | 0,18  | 0,24  | 0,05  | 0,65  | 0,31  | 0,66  |
| In Procent der Mittelzahl                          | —           | 4,77  | 4,82  | 2,07  | 1,92  | 2,59  | 0,61  | 7,46  | 3,60  | 7,34  |

b. Bei einem Wasserstande von  $3\frac{1}{4}$  Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Niedrigwasser.)

| Datum der Messung                                  | 1843.       | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|--|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittlere Tiefe in den gemessenen Profilen          | No. 9. —    | 6,59  | 8,16  | 6,78  | 7,70  | 6,10  | 5,30  | 5,76  | 4,88  | 6,45  |
|  | " 10. 7,25  | 6,52  | 8,33  | 7,41  | 6,11  | 6,70  | 6,78  | 6,32  | 5,69  | 6,02  |
|  | " 11. —     | 5,91  | 7,09  | 5,09  | 5,81  | 6,22  | 5,82  | 7,20  | 5,19  | 5,10  |
|  | " 12. 6,50  | 5,71  | 7,20  | 7,00  | 5,75  | 5,52  | 4,50  | 5,69  | 5,11  | 4,73  |
| Mittelzahl   | 6,87        | 6,18  | 7,69  | 6,57  | 6,34  | 6,14  | 5,60  | 6,24  | 5,22  | 5,57  |
| Abweichung der einzelnen Werthe von der Mittelzahl | No. 9. —    | +0,41 | +0,47 | +0,21 | +1,36 | -0,04 | -0,30 | -0,48 | -0,34 | +0,88 |
|  | " 10. +0,38 | +0,34 | +0,64 | +0,84 | -0,25 | +0,56 | +1,18 | +0,08 | +0,47 | +0,45 |
|  | " 11. —     | -0,27 | -0,60 | -1,48 | -0,53 | +0,08 | +0,22 | +0,96 | -0,03 | -0,47 |
|  | " 12. -0,37 | -0,47 | -0,49 | +0,43 | -0,59 | -0,62 | -1,10 | -0,55 | -0,11 | -0,84 |
| Durchschnittliche Abweichung                       | —           | 0,37  | 0,55  | 0,74  | 0,68  | 0,33  | 0,70  | 0,52  | 0,23  | 0,66  |
| In Procent der Mittelzahl                          | —           | 6,00  | 7,15  | 11,26 | 10,72 | 5,37  | 12,50 | 8,33  | 4,41  | 11,85 |

c. Mittel aus den Mittelzahlen unter a und b. (Halbe Ebbe.) Werthe von  $t$  zur Vergleichung mit anderen Stromstrecken.

| Datum der Messung                | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittel in den einzelnen Jahren   | 8,63  | 7,79  | 9,44  | 8,59  | 7,85  | 7,70  | 6,92  | 7,47  | 6,92  | 7,28  |
| Durchschnitt mehrerer Jahre      | 8,62  |       |       | 7,76  |       |       |       | 7,22  |       |       |
| Allgemeine Durchschnittszahl $t$ | 7,86  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

**3. Sonstige Bemerkungen und Verhältnisse.**

| Datum der Messung                       | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Werthe von $\sqrt{t}$ (halbe Ebbe)      | 2,94  | 2,79  | 3,07  | 2,93  | 2,80  | 2,77  | 2,63  | 2,73  | 2,63  | 2,70  |
| Durchschnitt mehrerer Jahre             | 2,93  |       |       | 2,78  |       |       |       | 2,69  |       |       |
| Allgemeine Durchschnittszahl $\sqrt{t}$ | 2,80  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Die Ebbe wird hier durch einen in Höhe und Lage veränderlichen Mittelrücken in zwei Hauptstromrinnen getheilt; der höchste Punkt des Mittelrückens tritt oft bei der Ebbe als isolirtes Sandfeld zu Tage; selten erreicht derselbe die Höhe der ordinären Fluth.

Größte gemessene Tiefen in dem Profile No. 9. (Ordinäre Fluthhöhe.)

| Datum der Messung    | 1843. | 1844.            | 1845.            | 1846. | 1847.            | 1848.            | 1849.            | 1850.            | 1851.            | 1852.            |
|----------------------|-------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Nördliche Stromrinne | —     | 17 $\frac{1}{2}$ | 19 $\frac{1}{2}$ | 19    | 19 $\frac{1}{2}$ | 16 $\frac{1}{2}$ | 17 $\frac{1}{2}$ | 14 $\frac{1}{2}$ | 16               | 16 $\frac{1}{2}$ |
| Südliche Stromrinne  | —     | 12 $\frac{1}{2}$ | 12 $\frac{1}{2}$ | 15    | 16               | 16 $\frac{1}{2}$ | 15 $\frac{1}{2}$ | 15 $\frac{1}{2}$ | 13 $\frac{1}{2}$ | 14 $\frac{1}{2}$ |

Kleinste gemessene Tiefen auf dem Mittelrücken, Profil No. 9. (Ordinäre Fluthhöhe.)

|   |                 |                 |   |   |                 |                 |                 |                 |                 |
|---|-----------------|-----------------|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| — | 7 $\frac{1}{2}$ | 7 $\frac{1}{2}$ | 4 | 0 | 3 $\frac{1}{2}$ | 3 $\frac{1}{2}$ | 5 $\frac{1}{2}$ | 3 $\frac{1}{2}$ | 3 $\frac{1}{2}$ |
|---|-----------------|-----------------|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|

## Tabelle II.

### Süder-Elbe, 1700 Fuß unterhalb der Stromtheilung.

Entfernung der gemessenen Profile von einander,  $\left. \begin{array}{l} \text{Lit. b bis c. 380 Fuß,} \\ \text{" c " d. 760 " } \\ \text{" d " e. 800 " } \end{array} \right\} \text{Länge der Stromstrecke II. l} = 1940 \text{ Fuß.}$   
 Die Strombreite beträgt 900 bis 1100 Fuß.

#### 1. Quers-Profil des Stromes. (Profil-Größe in Hamburger Quadrat-Fuß.)

a. Bei einem Wasserstande von  $6\frac{3}{4}$  Fuß + Hamburger Null.. (Ordinär Hochwasser.)

| Datum der Messung .....   | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Gemessene Profil-Größen $\left\{ \begin{array}{l} \text{Lit. b.} \\ \text{" c.} \\ \text{" d.} \\ \text{" e.} \end{array} \right.$                            | 13312 | 11850 | 14450 | 14412 | 12400 | 12412 | 12875 | 12150 | 13962 | 12162 |
|   | —     | 12662 | 13450 | 15100 | 13275 | 12550 | 13862 | 12912 | 13362 | 11887 |
|   | 13537 | 13081 | 13775 | 16950 | 15212 | 13900 | 13987 | 13750 | 14887 | 13612 |
|   | 13062 | 13756 | 14975 | 16412 | 14862 | 14562 | 14325 | 12525 | 14278 | 13987 |
| Mittelzahl .....  | 13304 | 12837 | 14162 | 15718 | 13937 | 13356 | 13762 | 12834 | 14122 | 12912 |
| Abweichung der einzelnen Größen von der Mittelzahl $\left\{ \begin{array}{l} \text{Lit. b.} \\ \text{" c.} \\ \text{" d.} \\ \text{" e.} \end{array} \right.$ | + 8   | - 987 | + 288 | -1306 | -1537 | - 944 | - 887 | - 684 | - 160 | - 750 |
|   | —     | - 175 | - 712 | - 618 | - 662 | - 806 | + 100 | + 78  | - 760 | -1025 |
|   | + 233 | + 244 | - 387 | +1232 | +1275 | + 544 | + 225 | + 916 | + 765 | + 700 |
|   | - 240 | + 919 | + 813 | + 694 | + 925 | +1206 | + 563 | - 309 | + 156 | +1075 |
| Durchschnittliche Abweichung In Procent der Mittelzahl .....  | —     | 581   | 550   | 962   | 1100  | 900   | 444   | 497   | 460   | 887   |
| Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Profil .....   | —     | 4,53  | 3,88  | 6,12  | 7,90  | 6,74  | 3,23  | 3,87  | 3,26  | 6,87  |
| Das kleinste Profil verhält sich zum größten wie 1: .....   | —     | 1905  | 1525  | 2538  | 2812  | 2150  | 1450  | 1600  | 1525  | 2100  |
|   | —     | 1,16  | 1,11  | 1,18  | 1,23  | 1,17  | 1,11  | 1,13  | 1,11  | 1,18  |

b. Bei einem Wasserstande von 3 Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Niedrigwasser.)

| Datum der Messung .....   | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Gemessene Profil-Größen $\left\{ \begin{array}{l} \text{Lit. b.} \\ \text{" c.} \\ \text{" d.} \\ \text{" e.} \end{array} \right.$                            | 8812  | 7483  | 9925  | 10400 | 8000  | 7787  | 8250  | 7625  | 9137  | 8487  |
|   | —     | 9137  | 9775  | 11725 | 9712  | 8987  | 10300 | 9350  | 9437  | 8600  |
|   | 9562  | 9044  | 10112 | 13000 | 11262 | 9950  | 10037 | 9800  | 10937 | 9875  |
|   | 8675  | 9481  | 10850 | 12087 | 10537 | 10237 | 10000 | 8200  | 9962  | 9662  |
| Mittelzahl .....  | 9016  | 8786  | 10140 | 11803 | 9878  | 9240  | 9647  | 8744  | 9868  | 9156  |
| Abweichung der einzelnen Größen von der Mittelzahl $\left\{ \begin{array}{l} \text{Lit. b.} \\ \text{" c.} \\ \text{" d.} \\ \text{" e.} \end{array} \right.$ | - 104 | -1303 | - 215 | -1403 | -1878 | -1453 | -1397 | -1119 | - 731 | - 669 |
|   | —     | + 351 | - 365 | - 78  | - 166 | - 253 | + 653 | + 606 | - 431 | - 556 |
|   | + 546 | + 258 | - 128 | +1197 | +1384 | + 710 | + 390 | +1056 | +1069 | + 719 |
|   | - 341 | + 695 | + 710 | + 284 | + 659 | + 997 | + 353 | - 544 | + 94  | + 506 |
| Durchschnittliche Abweichung In Procent der Mittelzahl .....  | —     | 652   | 354   | 740   | 1022  | 853   | 698   | 831   | 581   | 612   |
| Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Profil .....   | —     | 7,42  | 3,49  | 6,27  | 10,34 | 9,23  | 7,24  | 9,50  | 5,99  | 6,88  |
| Das kleinste Profil verhält sich zum größten wie 1: .....   | —     | 1998  | 1075  | 2600  | 3262  | 2450  | 2050  | 2175  | 1800  | 1388  |
|   | —     | 1,27  | 1,11  | 1,25  | 1,41  | 1,31  | 1,25  | 1,29  | 1,20  | 1,16  |

c. Mittel aus den Mittelzahlen unter a und b. (Halbe Ebbe.) Werthe von P zur Vergleichung mit andern Stromstrecken.

| Datum der Messung .....              | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittel in den einzelnen Jahren ..... | 11160 | 10812 | 12151 | 13760 | 11907 | 11298 | 11704 | 10789 | 11995 | 11034 |
| Durchschnitt mehrerer Jahre .....    | 11374 |       |       | 12167 |       |       | 11273 |       |       |       |
| Allgem. Durchschnittszahl P =        | 11661 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

(Fortsetzung von Tabelle II.)

**2. Tiefe des Stromes.** (Mittlere Tiefe in Hamburger Fuß.)

a. Bei einem Wasserstande von 6½ Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Hochwasser.)

| Datum der Messung                                      | 1843.          | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittlere Tiefe in den gemessenen Profilen              | Litt. b. 11,05 | 10,60 | 13,38 | 14,70 | 11,02 | 11,34 | 11,79 | 11,19 | 13,24 | 10,78 |
|  | " c. —         | 12,99 | 14,61 | 16,77 | 13,80 | 13,21 | 14,59 | 12,91 | 14,23 | 12,51 |
|  | " d. 12,31     | 12,36 | 14,29 | 16,75 | 15,01 | 13,70 | 13,77 | 12,90 | 14,60 | 13,41 |
|  | " e. 10,88     | 12,61 | 13,43 | 14,74 | 13,79 | 13,06 | 12,84 | 10,72 | 12,81 | 12,53 |
| Mittelzahl   | 11,41          | 12,14 | 13,93 | 15,74 | 13,40 | 12,83 | 13,25 | 11,93 | 13,74 | 12,31 |
| Abweichung der einzelnen Werte von der Mittelzahl      | Litt. b. -0,36 | -1,54 | -0,55 | -1,04 | -2,38 | -1,49 | -1,46 | -0,72 | -0,50 | -1,53 |
|  | " c. —         | +0,85 | +0,68 | +1,03 | +0,40 | +0,38 | +1,34 | +0,98 | +0,49 | +0,20 |
|  | " d. +0,90     | +0,22 | +0,36 | +1,01 | +1,61 | +0,87 | +0,52 | +0,97 | +0,95 | +1,10 |
|  | " e. -0,53     | +0,47 | +0,50 | -1,00 | +0,39 | +0,23 | +0,41 | -1,21 | -0,93 | +0,22 |
| Durchschnittliche Abweichung in Procent der Mittelzahl | —              | 0,77  | 1,02  | 1,02  | 1,19  | 0,74  | 0,93  | 0,97  | 0,72  | 0,76  |
|  | —              | 6,34  | 6,48  | 6,48  | 8,89  | 5,77  | 7,02  | 8,13  | 5,24  | 6,17  |

b. Bei einem Wasserstande von 3 Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Niedrigwasser.)

| Datum der Messung                                      | 1843.          | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittlere Tiefe in den gemessenen Profilen              | Litt. b. 7,64  | 6,85  | 9,63  | 10,95 | 7,27  | 8,01  | 8,04  | 7,44  | 9,49  | 7,39  |
|  | " c. —         | 9,52  | 10,86 | 13,02 | 10,05 | 9,46  | 10,84 | 9,16  | 10,48 | 12,28 |
|  | " d. 9,56      | 8,61  | 10,54 | 13,00 | 11,26 | 9,95  | 10,02 | 9,65  | 10,94 | 10,97 |
|  | " e. 7,89      | 9,34  | 9,68  | 10,99 | 10,04 | 9,31  | 9,09  | 6,97  | 9,06  | 8,78  |
| Mittelzahl   | 8,36           | 8,58  | 10,18 | 11,99 | 9,65  | 9,18  | 9,49  | 8,30  | 9,99  | 9,85  |
| Abweichung der einzelnen Werte von der Mittelzahl      | Litt. b. -0,72 | -1,73 | -0,55 | -0,94 | -2,38 | -1,17 | -1,45 | -0,86 | -0,50 | -2,46 |
|  | " c. —         | +0,94 | +0,68 | +1,03 | +0,40 | +0,28 | +1,35 | +0,86 | +0,49 | +2,43 |
|  | " d. +1,20     | +0,03 | +0,36 | +1,01 | +1,61 | +0,77 | +0,53 | +1,35 | +0,95 | +1,12 |
|  | " e. -0,47     | +0,76 | -0,50 | -1,00 | +0,39 | +0,13 | -0,40 | -1,33 | -0,93 | -1,07 |
| Durchschnittliche Abweichung in Procent der Mittelzahl | —              | 0,86  | 0,52  | 0,97  | 1,19  | 0,59  | 0,93  | 1,10  | 0,72  | 1,77  |
|  | —              | 10,02 | 5,11  | 8,09  | 12,33 | 6,42  | 9,80  | 13,25 | 7,21  | 17,79 |

c. Mittel aus den Mittelzahlen unter a und b. (Halbe Ebbe.) Werte von t zur Vergleichung mit anderen Stromstellen.

| Datum der Messung              | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittel in den einzelnen Jahren | 9,88  | 10,36 | 12,05 | 13,86 | 11,52 | 11,00 | 11,37 | 10,11 | 11,86 | 11,08 |
| Durchschnitt mehrerer Jahre    | 10,71 |       |       | 11,94 |       |       | 10,85 |       |       |       |
| Allgemeine Durchschnittszahl   | 11,26 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

**3. Sonstige Bemerkungen und Verhältnisse.**

| Datum der Messung                       | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Berthe von $\sqrt{t}$ (halbe Ebbe)      | 3,14  | 3,21  | 3,47  | 3,72  | 3,39  | 3,31  | 3,37  | 3,18  | 3,44  | 3,32  |
| Durchschnitt mehrerer Jahre             | 3,27  |       |       | 3,45  |       |       | 3,29  |       |       |       |
| Allgemeine Durchschnittszahl $\sqrt{t}$ | 3,35  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Die Süder-Ebbe ist hier, durch veränderliche Sandablagerungen, bald in zwei Stromrinnen getheilt, bald in Eine Schlaufe vereinigt.

Größte gemessene Tiefen in dem Profile Litt. b. (Ordinäre Fluthöhe.)

| Datum der Messung    | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nördliche Stromrinne | 14½   | 16    | —     | 15½   | 13½   | 13½   | 14½   | 11½   | 11½   | —     |
| Bereinigter Strom    | —     | —     | 15    | —     | —     | —     | —     | —     | —     | 29    |
| Südlische Stromrinne | 16½   | 12    | —     | 23½   | 16    | 19    | 19½   | 21    | 24½   | —     |

Kleinste gemessene Tiefen auf dem Mittelrücken in dem genannten Profile. (Ordinäre Fluthöhe.)

|    |    |   |     |    |   |   |    |    |   |
|----|----|---|-----|----|---|---|----|----|---|
| 9½ | 7½ | — | 11½ | 8½ | 5 | 6 | 5½ | 7½ | — |
|----|----|---|-----|----|---|---|----|----|---|

## Tabelle III.

### Norder-Elbe, 1600 Fuß unterhalb der Stromtheilung.

Entfernung der gemessenen Profile von einander,  $\left. \begin{array}{l} \text{No. 15 bis No. 16. 400 Fuß,} \\ \text{" 16 " " 17. 800 " } \\ \text{" 17 " " 18. 800 " } \end{array} \right\} \text{ Länge der Stromstrecke III. } l = 2000 \text{ Fuß.}$

Die Strombreite beträgt 700 Fuß (zwischen den Köpfen der Werke).

#### 1. Quers-Profil des Stromes. (Profil-Größe in Hamburger Quadrat-Fuß.)

a. Bei einem Wasserstande von  $6\frac{3}{4}$  Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Hochwasser.)

| Datum der Messung  | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Gemessene Profil-Größen $\left. \begin{array}{l} \text{No. 15.} \\ \text{" 16.} \\ \text{" 17.} \\ \text{" 18.} \end{array} \right\}$                            | 6575  | 6800  | 7550  | 7918  | 6144  | 6269  | 5731  | 4656  | 5462  | 4588  |
|  | 6662  | 6025  | 7225  | 7756  | 5800  | 6031  | 5856  | 5156  | 5100  | 4250  |
|  | 5549  | 5639  | 7462  | 7291  | 5954  | 5617  | 6124  | 5525  | 5210  | 4789  |
|  | 5944  | 4956  | 6169  | 6769  | 5550  | 5775  | 5544  | 5469  | 5339  | 4994  |
| Mittelzahl   | 6182  | 5855  | 7101  | 7433  | 5862  | 5923  | 5814  | 5201  | 5278  | 4655  |
| Abweichung der einzelnen Größen von der Mittelzahl $\left. \begin{array}{l} \text{No. 15.} \\ \text{" 16.} \\ \text{" 17.} \\ \text{" 18.} \end{array} \right\}$ | + 393 | + 945 | + 449 | + 485 | + 265 | + 346 | - 83  | - 545 | + 184 | - 67  |
|  | + 480 | + 170 | + 124 | + 323 | - 79  | + 108 | + 42  | - 45  | - 178 | - 405 |
|  | - 633 | - 216 | + 361 | - 142 | + 75  | - 306 | + 310 | + 324 | - 68  | + 134 |
|  | - 238 | - 899 | - 932 | - 664 | - 329 | - 148 | - 270 | + 268 | + 61  | + 340 |
| Durchschnittliche Abweichung   | 436   | 557   | 466   | 403   | 187   | 227   | 176   | 296   | 123   | 236   |
| In Procent der Mittelzahl  | 7,05  | 9,51  | 6,57  | 5,42  | 3,19  | 3,83  | 3,03  | 5,69  | 2,33  | 5,07  |
| Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Profil  | 1113  | 1844  | 1381  | 1149  | 594   | 652   | 580   | 869   | 362   | 745   |
| Das kleinste Profil verhält sich zum größten wie 1:.....   | 1,20  | 1,37  | 1,22  | 1,17  | 1,11  | 1,12  | 1,10  | 1,19  | 1,07  | 1,18  |

b. Bei einem Wasserstande von 3 Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Niedrigwasser.)

| Datum der Messung  | 1843. | 1844.  | 1845.  | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|--|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Gemessene Profil-Größen $\left. \begin{array}{l} \text{No. 15.} \\ \text{" 16.} \\ \text{" 17.} \\ \text{" 18.} \end{array} \right\}$                            | 3600  | 3737   | 4579   | 4941  | 3168  | 3293  | 2762  | 1706  | 2406  | 1616  |
|  | 3869  | 3400   | 4625   | 5131  | 3175  | 3406  | 3231  | 2590  | 2481  | 1669  |
|  | 2849  | 2918   | 4694   | 4663  | 3226  | 2985  | 3496  | 2903  | 2625  | 2156  |
|  | 2700  | 1350   | 3131   | 3719  | 2500  | 2725  | 2544  | 2469  | 2362  | 2137  |
| Mittelzahl   | 3254  | 2851   | 4258   | 4613  | 3017  | 3102  | 3008  | 2417  | 2468  | 1894  |
| Abweichung der einzelnen Größen von der Mittelzahl $\left. \begin{array}{l} \text{No. 15.} \\ \text{" 16.} \\ \text{" 17.} \\ \text{" 18.} \end{array} \right\}$ | + 346 | + 886  | + 321  | + 328 | + 151 | + 191 | - 246 | - 711 | - 62  | - 278 |
|  | + 615 | + 549  | + 369  | + 518 | + 158 | + 304 | + 223 | + 173 | + 13  | - 225 |
|  | - 405 | + 67   | + 436  | + 50  | + 209 | - 117 | + 448 | + 486 | + 157 | + 262 |
|  | - 554 | - 1501 | - 1127 | - 894 | - 517 | - 377 | - 464 | + 52  | - 106 | + 243 |
| Durchschnittliche Abweichung   | 480   | 750    | 563    | 447   | 258   | 247   | 355   | 355   | 89    | 252   |
| In Procent der Mittelzahl  | 14,41 | 26,31  | 13,22  | 9,69  | 8,55  | 7,96  | 11,80 | 14,69 | 3,61  | 13,31 |
| Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Profil  | 1169  | 2387   | 1563   | 1412  | 726   | 681   | 912   | 1197  | 261   | 540   |
| Das kleinste Profil verhält sich zum größten wie 1:.....   | 1,43  | 2,77   | 1,50   | 1,38  | 1,29  | 1,25  | 1,36  | 1,70  | 1,11  | 1,33  |

c. Mittel aus den Mittelzahlen unter a und b. (Halbe Ebbe.) Werthe von P zur Vergleichung mit anderen Stromstrecken.

| Datum der Messung              | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittel in den einzelnen Jahren | 4718  | 4353  | 5679  | 6023  | 4439  | 4512  | 4411  | 3809  | 3873  | 3274  |
| Durchschnitt mehrerer Jahre    | 4917  |       |       | 4846  |       |       | 3652  |       |       |       |
| Allgem. Durchschnittszahl P =  | 4509  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

(Fortsetzung von Tabelle III.)

**2. Tiefe des Stromes.** (Mittlere Tiefe in Hamburger Fuß.)

a. Bei einem Wasserstande von  $6\frac{3}{4}$  Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Hochwasser.)

| Datum der Messung                                 | 1843.         | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|---|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittlere Tiefe in den gemessenen Profilen         | No. 15. 8.39  | 8.34  | 9.58  | 10.05 | 7.77  | 7.94  | 7.29  | 5.60  | 6.73  | 5.81  |
|   | " 16. 9.19    | 8.61  | 10.73 | 11.08 | 8.29  | 8.62  | 8.37  | 7.37  | 7.28  | 6.07  |
|   | " 17. 7.59    | 7.70  | 10.15 | 10.61 | 8.50  | 8.16  | 8.92  | 8.02  | 7.63  | 6.94  |
|   | " 18. 6.62    | 5.73  | 8.79  | 9.72  | 7.85  | 8.19  | 7.91  | 7.80  | 7.63  | 7.22  |
| Mittelzahl  | 7.95          | 7.59  | 9.81  | 10.36 | 8.10  | 8.23  | 8.12  | 7.20  | 7.32  | 6.51  |
| Abweichung der einzelnen Werte von der Mittelzahl | No. 15. +0.44 | +0.75 | -0.23 | -0.31 | -0.33 | -0.29 | -0.83 | -1.60 | -0.59 | -0.70 |
|   | " 16. +1.24   | +1.02 | +0.92 | +0.72 | +0.19 | +0.39 | +0.25 | +0.17 | -0.04 | -0.44 |
|   | " 17. -0.36   | +0.11 | +0.34 | +0.25 | +0.40 | -0.07 | +0.80 | +0.82 | +0.31 | +0.43 |
|   | " 18. -1.33   | -1.86 | -1.02 | -0.64 | -0.25 | -0.04 | -0.21 | +0.60 | +0.31 | +0.71 |
| Durchschnittliche Abweichung                      | 0.84          | 0.93  | 0.63  | 0.48  | 0.29  | 0.20  | 0.52  | 0.80  | 0.31  | 0.52  |
| In Procent der Mittelzahl                         | 10.56         | 12.25 | 6.42  | 4.63  | 3.58  | 2.43  | 6.40  | 11.11 | 4.23  | 7.98  |

b. Bei einem Wasserstande von 3 Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Niedrigwasser.)

| Datum der Messung                                 | 1843.         | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|---|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittlere Tiefe in den gemessenen Profilen         | No. 15. 4.64  | 4.78  | 5.83  | 6.30  | 4.02  | 4.19  | 3.54  | 3.21  | 2.98  | 2.06  |
|   | " 16. 5.44    | 4.86  | 6.98  | 7.33  | 4.54  | 4.87  | 4.62  | 3.92  | 3.67  | 2.78  |
|   | " 17. 4.20    | 4.14  | 6.40  | 6.86  | 4.75  | 4.41  | 5.17  | 4.27  | 4.08  | 3.19  |
|   | " 18. 4.91    | 4.50  | 5.01  | 6.36  | 4.10  | 4.23  | 4.12  | 3.20  | 3.32  | 3.56  |
| Mittelzahl  | 4.80          | 4.57  | 6.05  | 6.71  | 4.35  | 4.42  | 4.36  | 3.65  | 3.51  | 2.90  |
| Abweichung der einzelnen Werte von der Mittelzahl | No. 15. -0.16 | +0.21 | -0.22 | -0.41 | -0.33 | -0.23 | -0.82 | -0.44 | -0.53 | -0.84 |
|   | " 16. +0.64   | +0.29 | +0.93 | +0.62 | +0.19 | +0.45 | +0.26 | +0.27 | +0.16 | -0.12 |
|   | " 17. -0.60   | -0.43 | +0.35 | +0.15 | +0.40 | -0.01 | +0.81 | +0.62 | +0.57 | +0.29 |
|   | " 18. +0.11   | -0.07 | -1.04 | -0.35 | -0.25 | -0.19 | -0.24 | -0.45 | -0.19 | +0.66 |
| Durchschnittliche Abweichung                      | 0.38          | 0.25  | 0.64  | 0.38  | 0.26  | 0.22  | 0.53  | 0.45  | 0.36  | 0.48  |
| In Procent der Mittelzahl                         | 7.92          | 5.47  | 10.57 | 5.66  | 5.98  | 5.00  | 12.15 | 12.33 | 10.25 | 16.55 |

c. Mittel aus den Mittelzahlen unter a und b. (Halbe Ebbe.) Werte von  $t$  zur Vergleichung mit anderen Stromstrecken.

| Datum der Messung                  | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittel in den einzelnen Jahren     | 6.37  | 6.08  | 7.93  | 8.53  | 6.22  | 6.32  | 6.24  | 5.42  | 5.41  | 4.70  |
| Durchschnitt mehrerer Jahre        | 6.79  |       |       | 6.83  |       |       | 5.18  |       |       |       |
| Allgemeine Durchschnittszahl $t =$ | 6.32  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

**3. Sonstige Bemerkungen und Verhältnisse.**

| Datum der Messung                         | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Werte von $\sqrt{t}$ (halbe Ebbe)         | 2.52  | 2.46  | 2.81  | 2.92  | 2.50  | 2.51  | 2.50  | 2.33  | 2.33  | 2.16  |
| Durchschnitt mehrerer Jahre               | 2.60  |       |       | 2.61  |       |       | 2.28  |       |       |       |
| Allgemeine Durchschnittszahl $\sqrt{t} =$ | 2.51  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Die Norder-Ebbe ist hier, durch veränderliche Sandablagerungen, bald in zwei Stromrinnen getheilt, bald in Einer Rinne vereinigt.

**Größte gemessene Tiefen in dem Profile No. 15. (Ordinäre Fluthöhe.)**

| Datum der Messung    | 1843.            | 1844.            | 1845.            | 1846.            | 1847.            | 1848.            | 1849.            | 1850.           | 1851.            | 1852.           |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Nördliche Stromrinne | 12 $\frac{1}{2}$ | —                | 10 $\frac{1}{2}$ | 12 $\frac{1}{2}$ | 10 $\frac{1}{2}$ | 10 $\frac{1}{2}$ | 8 $\frac{1}{2}$  | 7 $\frac{1}{2}$ | 9 $\frac{1}{2}$  | 10              |
| Vereinigter Strom    | —                | 12 $\frac{1}{2}$ | —                | —                | —                | —                | —                | 14              | —                | —               |
| Südl. Stromrinne     | —                | —                | 16               | 18 $\frac{1}{2}$ | 14 $\frac{1}{2}$ | 11 $\frac{1}{2}$ | 11 $\frac{1}{2}$ | —               | 12 $\frac{1}{2}$ | 6 $\frac{1}{2}$ |

**Kleinste gemessene Tiefen auf dem Mittelrücken in dem genannten Profile. (Ordinäre Fluthöhe.)**

|   |   |                 |   |                 |   |   |   |   |                 |
|---|---|-----------------|---|-----------------|---|---|---|---|-----------------|
| — | — | 6 $\frac{1}{2}$ | 6 | 4 $\frac{1}{2}$ | 4 | 4 | 2 | 5 | 4 $\frac{1}{2}$ |
|---|---|-----------------|---|-----------------|---|---|---|---|-----------------|

Der vereinigte Strom in den Jahren 1843 und 1844 lag am südlichen Ufer.

## Tabelle VIII.

### Norder-Elbe bei St. Pauli, 53000 Fuß unterhalb der Stromtheilung.

Entfernung der gemessenen Profile von einander,  $\left. \begin{array}{l} \text{No. 100 bis No. 101. 800 Fuß,} \\ \text{" 101 " " 102. 800 " } \\ \text{" 102 " " 103. 800 " } \end{array} \right\} \text{Länge der Stromstrecke VIII. } l = 2400 \text{ Fuß.}$

Die Strombreite beträgt 1250 Fuß zwischen den Ufern.

#### I. Quers-Profil des Stromes. (Profil-Größe in Hamburger Quadrat-Fuß.)

##### a. Bei einem Wasserstande von $6\frac{3}{4}$ Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Hochwasser.)

| Datum der Messung  | 1843.                            | 1844.                              | 1845.                              | 1846.                             | 1847.                             | 1848.                              | 1849.                            | 1850.                            | 1851.                             | 1852.                            |
|--|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Gemessene Profil-Größen $\left. \begin{array}{l} \text{No. 100} \\ \text{" 101} \\ \text{" 102} \\ \text{" 103} \end{array} \right\}$                            | 17262<br>18356<br>16781<br>17946 | 17356<br>18674<br>16875<br>15468   | 17987<br>19387<br>18344<br>16718   | 18681<br>18450<br>18061<br>16095  | 19437<br>19550<br>19662<br>17219  | 19500<br>20281<br>19500<br>17781   | 19694<br>20737<br>20575<br>18006 | 19481<br>20194<br>19862<br>18356 | 19550<br>20625<br>20725<br>18737  | 20281<br>20737<br>20200<br>19775 |
| Mittelzahl   | 17586                            | 17093                              | 18109                              | 17827                             | 18967                             | 19265                              | 19753                            | 19473                            | 19909                             | 20248                            |
| Abweichung der einzelnen Größen von der Mittelzahl $\left. \begin{array}{l} \text{No. 100} \\ \text{" 101} \\ \text{" 102} \\ \text{" 103} \end{array} \right\}$ | - 324<br>+ 770<br>- 805<br>+ 360 | + 263<br>+ 1581<br>- 218<br>- 1625 | - 122<br>+ 1278<br>+ 235<br>- 1391 | + 854<br>+ 623<br>+ 254<br>- 1732 | + 470<br>+ 583<br>+ 695<br>- 1748 | + 235<br>+ 1016<br>+ 235<br>- 1484 | - 59<br>+ 984<br>+ 822<br>- 1747 | + 8<br>+ 721<br>+ 389<br>- 1117  | - 359<br>+ 716<br>+ 816<br>- 1172 | + 33<br>+ 489<br>- 48<br>- 473   |
| Durchschnittliche Abweichung. In Procent der Mittelzahl  | 565<br>3.21                      | 921<br>5.39                        | 765<br>4.22                        | 866<br>4.86                       | 874<br>4.61                       | 742<br>3.85                        | 903<br>4.57                      | 558<br>2.87                      | 766<br>3.85                       | 261<br>1.29                      |
| Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Profil  | 1575                             | 3206                               | 2669                               | 2586                              | 2443                              | 2500                               | 2731                             | 1838                             | 1988                              | 962                              |
| Das kleinste Profil verhält sich zum größten wie 1:.....   | 1,09                             | 1,21                               | 1,16                               | 1,16                              | 1,14                              | 1,14                               | 1,15                             | 1,10                             | 1,11                              | 1,05                             |

##### b. Bei einem Wasserstande gleich Hamburger Null. (Ordinär Niedrigwasser.)

| Datum der Messung  | 1843.                            | 1844.                            | 1845.                           | 1846.                            | 1847.                            | 1848.                           | 1849.                             | 1850.                            | 1851.                            | 1852.                            |
|--|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Gemessene Profil-Größen $\left. \begin{array}{l} \text{No. 100} \\ \text{" 101} \\ \text{" 102} \\ \text{" 103} \end{array} \right\}$                            | 9456<br>9731<br>8275<br>10100    | 9381<br>9831<br>8281<br>8387     | 9981<br>10125<br>9669<br>9086   | 10894<br>9656<br>9800<br>8469    | 11487<br>10675<br>10887<br>9306  | 11381<br>11112<br>10788<br>9800 | 11144<br>11625<br>11475<br>9212   | 11337<br>11119<br>10931<br>10329 | 11381<br>10806<br>11637<br>10281 | 11987<br>11325<br>11162<br>11081 |
| Mittelzahl   | 9390                             | 8970                             | 9715                            | 9705                             | 10589                            | 10770                           | 10864                             | 10929                            | 11026                            | 11389                            |
| Abweichung der einzelnen Größen von der Mittelzahl $\left. \begin{array}{l} \text{No. 100} \\ \text{" 101} \\ \text{" 102} \\ \text{" 103} \end{array} \right\}$ | + 66<br>+ 341<br>- 1115<br>+ 710 | + 411<br>+ 861<br>- 689<br>- 583 | + 266<br>+ 410<br>- 46<br>- 629 | + 1189<br>- 49<br>+ 95<br>- 1236 | + 898<br>+ 86<br>+ 298<br>- 1283 | + 611<br>+ 342<br>+ 18<br>- 970 | + 280<br>+ 761<br>+ 611<br>- 1652 | + 408<br>+ 190<br>+ 2<br>- 600   | + 355<br>- 220<br>+ 611<br>- 745 | + 598<br>- 64<br>- 227<br>- 308  |
| Durchschnittliche Abweichung. In Procent der Mittelzahl  | 557<br>5.93                      | 636<br>7.09                      | 338<br>3.48                     | 641<br>6.60                      | 641<br>6.07                      | 485<br>4.50                     | 826<br>7.63                       | 300<br>2.74                      | 482<br>4.37                      | 299<br>2.63                      |
| Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Profil  | 1825                             | 1550                             | 1039                            | 2425                             | 2181                             | 1571                            | 2413                              | 1008                             | 1356                             | 908                              |
| Das kleinste Profil verhält sich zum größten wie 1:.....   | 1,22                             | 1,19                             | 1,11                            | 1,29                             | 1,22                             | 1,16                            | 1,26                              | 1,10                             | 1,13                             | 1,08                             |

##### c. Mittel aus den Mittelzahlen unter a und b. (Halbe Ebbe.) Werthe von P zur Vergleichung mit anderen Stromstrecken.

| Datum der Messung              | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittel in den einzelnen Jahren | 13488 | 13031 | 13912 | 13766 | 14778 | 15017 | 15308 | 15202 | 15467 | 15818 |
| Durchschnitt mehrerer Jahre    | 13477 |       |       | 14717 |       |       | 15495 |       |       |       |
| Allgem. Durchschnittszahl P =  | 14579 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

(Fortsetzung von Tabelle VIII.)

**2. Tiefe des Stromes.** (Mittlere Tiefe in Hamburger Fuß.)

a. Bei einem Wasserstande von  $6\frac{1}{2}$  Fuß + Hamburger Null. (Ordinär Hochwasser.)

| Datum der Messung                                 | 1843.         | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|---|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittlere Tiefe in den gemessenen Profilen         | No. 100 15,43 | 15,30 | 14,90 | 17,02 | 16,11 | 16,14 | 15,75 | 16,39 | 16,29 | 16,22 |
|   | " 101 15,50   | 15,07 | 13,35 | 13,96 | 15,04 | 15,58 | 14,78 | 14,02 | 14,69 | 14,99 |
|   | " 102 14,06   | 12,56 | 14,31 | 14,73 | 16,51 | 17,17 | 15,36 | 15,47 | 14,80 | 15,31 |
|   | " 103 16,38   | 14,38 | 15,58 | 14,90 | 17,67 | 16,23 | 14,74 | 15,85 | 14,89 | 15,21 |
| Mittelzahl  | 15,34         | 14,33 | 14,53 | 15,15 | 16,33 | 16,28 | 15,16 | 15,43 | 15,17 | 15,43 |
| Abweichung der einzelnen Werte von der Mittelzahl | No. 100 +0,09 | +0,97 | +0,37 | +1,87 | -0,22 | -0,14 | +0,59 | +0,96 | +1,12 | +0,79 |
|   | " 101 +0,16   | +0,74 | -1,18 | -1,19 | -1,29 | -0,70 | -0,38 | -1,41 | -0,48 | -0,44 |
|   | " 102 -1,28   | -1,77 | -0,22 | -0,42 | +0,18 | +0,89 | +0,20 | +0,04 | -0,37 | -0,12 |
|   | " 103 +1,04   | +0,05 | +1,05 | -0,25 | +1,34 | -0,05 | -0,42 | +0,42 | -0,28 | -0,22 |
| Durchschnittliche Abweichung                      | 0,64          | 0,88  | 0,70  | 0,93  | 0,76  | 0,45  | 0,40  | 0,71  | 0,56  | 0,39  |
| In Procent der Mittelzahl                         | 4,18          | 6,14  | 4,82  | 6,14  | 4,65  | 2,76  | 2,64  | 4,60  | 3,69  | 2,53  |

b. Bei einem Wasserstande gleich Hamburger Null. (Ordinär Niedrigwasser.)

| Datum der Messung                                 | 1843.         | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|---|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittlere Tiefe in den gemessenen Profilen         | No. 100 8,68  | 8,75  | 9,30  | 10,88 | 10,95 | 10,12 | 9,91  | 10,08 | 10,28 | 10,42 |
|   | " 101 8,75    | 8,75  | 8,80  | 8,78  | 9,28  | 9,26  | 9,55  | 9,27  | 9,23  | 9,38  |
|   | " 102 7,31    | 7,88  | 8,80  | 9,33  | 9,76  | 11,38 | 9,37  | 9,11  | 8,66  | 8,93  |
|   | " 103 10,40   | 9,21  | 9,54  | 9,41  | 9,92  | 9,58  | 8,57  | 9,10  | 8,94  | 9,05  |
| Mittelzahl  | 8,78          | 8,65  | 9,11  | 9,60  | 9,98  | 10,08 | 9,35  | 9,39  | 9,28  | 9,44  |
| Abweichung der einzelnen Werte von der Mittelzahl | No. 100 -0,10 | +0,10 | +0,19 | +1,28 | +0,97 | +0,04 | +0,56 | +0,69 | +1,00 | +0,98 |
|   | " 101 -0,03   | +0,10 | -0,31 | -0,82 | -0,70 | -0,82 | +0,20 | -0,12 | -0,05 | -0,06 |
|   | " 102 -1,47   | -0,77 | -0,31 | -0,27 | -0,22 | +1,30 | +0,02 | -0,28 | -0,62 | -0,51 |
|   | " 103 +1,62   | +0,56 | +0,43 | -0,19 | -0,06 | -0,50 | -0,78 | -0,29 | -0,32 | -0,39 |
| Durchschnittliche Abweichung                      | 0,81          | 0,38  | 0,31  | 0,64  | 0,49  | 0,66  | 0,39  | 0,34  | 0,50  | 0,49  |
| In Procent der Mittelzahl                         | 9,23          | 4,39  | 3,40  | 6,67  | 4,91  | 6,55  | 4,17  | 3,62  | 5,39  | 5,19  |

c. Mittel aus den Mittelzahlen unter a und b. (Halbe Ebbe.) Werte von  $t$  zur Vergleichung mit anderen Stromproben.

| Datum der Messung                      | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mittel in den einzelnen Jahren         | 12,06 | 11,48 | 11,82 | 12,37 | 13,15 | 13,18 | 12,25 | 12,41 | 12,22 | 12,43 |
| Durchschnitt mehrerer Jahre            | 11,79 |       |       | 12,74 |       |       | 12,35 |       |       |       |
| Allgemeine Durchschnittszahl $\bar{t}$ | 12,34 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

**3. Sonstige Bemerkungen und Verhältnisse.**

| Datum der Messung                             | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Werte von $\sqrt{t}$ (halbe Ebbe)             | 3,47  | 3,39  | 3,44  | 3,51  | 3,62  | 3,63  | 3,50  | 3,52  | 3,49  | 3,52  |
| Durchschnitt mehrerer Jahre                   | 3,43  |       |       | 3,57  |       |       | 3,51  |       |       |       |
| Allgemeine Durchschnittszahl $\sqrt{\bar{t}}$ | 3,51  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Die Norder-Ebbe ist hier seit 1846 in einer Stromrinne vereinigt, welche den Ufern parallel, etwas näher dem rechtsseitigen Ufer, liegt.

Größte gemessene Tiefen im Profile No. 103. (Ordinäre Fluthöhe.)

| Datum der Messung    | 1843.            | 1844.            | 1845.            | 1846.            | 1847.            | 1848. | 1849. | 1850. | 1851.            | 1852. |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|-------|-------|------------------|-------|
| Nördliche Stromrinne | 26 $\frac{1}{2}$ | 27 $\frac{1}{2}$ | 30 $\frac{1}{2}$ | —                | —                | —     | —     | —     | —                | —     |
| Bereinigter Strom    | —                | —                | —                | 27 $\frac{1}{2}$ | 27 $\frac{1}{2}$ | 27    | 28    | 25    | 25 $\frac{1}{2}$ | 26    |
| Südliche Stromrinne  | 9 $\frac{1}{2}$  | 9 $\frac{1}{2}$  | 7                | —                | —                | —     | —     | —     | —                | —     |

Kleinste gemessene Tiefen auf dem Mittelrücken. (Ordinäre Fluthöhe.)

|                 |                 |                 |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------------|-----------------|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 $\frac{1}{2}$ | 5 $\frac{1}{2}$ | 7 $\frac{1}{2}$ | — | — | — | — | — | — | — | — |
|-----------------|-----------------|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|



Das folgende Tableau giebt vollständige Auskunft über Zeit, Ort und Quantität der in Rede stehenden Baggereien von 1840 bis 1852.

| Stromgegend,<br>wo gebaggert.   | 1840.  | 1841. | 1842. | 1843. | 1844. | 1845. | 1846. | 1847. | 1848. | 1849. | 1850. | 1851. | 1852. |
|---|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | Gebaggerte Quantität in Tausend Cubicfuß Hamburger Maaß. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Bei Buntehaus,<br>oberhalb und in der<br>Strecke III. }                         | 2765   | —     | —     | —     | 316   | 418   | 1012  | 716   | 423   | 170   | 1240  | 405   | 1425  |
| Bei Spadenland,<br>oberhalb und in der<br>Strecke IV. }                         | —  | 546   | —     | —     | —     | —     | —     | 195   | —     | —     | —     | —     | —     |
| Bei Spadenlander<br>Busch und Ausschlag,<br>oberhalb und in der<br>Strecke V. } | —  | 115   | 163   | —     | —     | —     | 97    | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| Bei Georgswärder<br>und Kaltehofe,<br>oberhalb und in der<br>Strecke VI. }      | —  | 2709  | —     | —     | —     | —     | 225   | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| Bei Billwärder,<br>oberhalb und in der<br>Strecke VII. }                        | —  | —     | —     | 526   | 113   | 688   | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| Summe . . . . .   | 2765   | 3370  | 163   | 526   | 429   | 1106  | 1334  | 911   | 423   | 170   | 1240  | 405   | 1425  |

Von 1840 bis 1852.

|              |  |           |           |
|--------------|--|-----------|-----------|
| Strecke III. | Bei Buntehaus . . . . .                | 8,890,000 | Cubicfuß, |
| ” IV.        | ” Spadenland . . . . .                 | 741,000   | ”         |
| ” V.         | ” Spadenlander Busch und Ausschlag     | 375,000   | ”         |
| ” VI.        | ” Georgswärder und Kaltehofe . . . . . | 2,934,000 | ”         |
| ” VII.       | ” Billwärder . . . . .                 | 1,327,000 | ”         |

Total . . . . . 14,267,000 Cubicfuß,  
oder circa 75,000 Schachtruthen preussisches Maaß.

In sämtlichen Strecken I bis VII.

|            |   |           |           |
|------------|---|-----------|-----------|
| 1840–1842. | Erste Aufräumung beim Beginn der Correction . . . . . | 6,298,000 | Cubicfuß, |
| 1843–1845. | Während des Fortganges der Corrections-Arbeiten       | 2,061,000 | ”         |
| 1846–1852. | Nach Beendigung der wesentlichen Anlagen . . . . .    | 5,908,000 | ”         |

Wie oben . . . . . 14,267,000 Cubicfuß.

Die erste Aufräumung betrifft, wie man aus obigem Tableau ersieht, in der Hauptmasse, die obere und die untere Mündung des, auf seine eignen Kräfte beschränkten, Norder-Elbarmes; an jedem Ende desselben ist damals ein Quantum von  $2\frac{1}{4}$  Millionen Cubicfuß Sand herausgebaggert.

Wie diese beiden Stromstrecken in gleich hohem Grade versandet waren, habe ich aus den Nachrichten früherer Zeit nachgewiesen (vergl. § 4, § 6 und Fig. 8), interessant ist die Verschiedenheit ihres Verhaltens nach Wegschaffung jener großen Sandmassen durch Baggerei.

Die obere Mündung (Buntehaus) behält drei Jahre lang eine schiffbare Tiefe ohne künstliche Beihülfe, von da an aber zeigen die alljährlich erforderlich gewesenen Aufräumungen sich in einer Zahlenreihe, deren auf- und absteigende Werthe nur durch finanzielle Rücksichten veranlaßt sind. Das arithmetische Mittel aus den in 1844–1852 registrirten Quantitäten kann daher einen brauchbaren Maaßstab für die zur Erhaltung der Schiffbarkeit in der oberen Mündung der Norder-Elbe unter den bestehenden Verhältnissen jährlich erforderlich gewesene Baggerei abgeben; diese Durchschnittszahl ist 680,500 Cubicfuß. Dieselbe ist nicht zu verwechseln mit der Größe der jährlichen Ablagerung in dieser Stromstrecke, denn wir haben gesehen, daß während desselben Zeitraumes, in welchem diese Baggereien Statt fanden, die Profil-Größe und mittlere Tiefe eben daselbst in steter Abnahme gewesen ist, d. h. die Ablagerung war größer als die Ausräumung.

Zu bemerken ist noch, daß man fast dieselbe Durchschnittszahl erhält, wenn man die große Baggerei von 1840 auf die vier Jahre 1840–1843 vertheilt;  $\frac{2\,765\,000}{4} = 691\,250$ .

Das Verhalten der Stromstrecke bei der Kaltenhofe ist ein gerade entgegengesetztes; nur Einmal (1846) erforderte eine durchpassirende Sandmasse, welche die Schifffahrt temporär benachtheiligte, die Anwendung von Baggerei; das Quantum war unbedeutend, und auch dies hätte unterbleiben können, wenn man nicht in Hamburg gern suchte, die Beseitigung selbst vorübergehender Uebelstände im Fahrwasser ebenso bereitwillig zu bewirken, als sie gemeinhin von Schiffen und Rhedern dringlich gefordert zu werden pflegt. Dabei haben wir gesehen, daß Profil-Größe und mittlere Tiefe in dieser Strecke nicht nur nicht abgenommen, sondern fortwährend zugenommen haben.

Das Endresultat der Vergleichung bestätigt also auch hier die Sätze, auf welche wir in jedem einzelnen Theile der Untersuchung hingeführt wurden; wir finden nemlich, daß in der oberen Mündung, trotz fortgesetzter Baggerei, der Strom sein Bette erhöhet, daß aber dagegen am unteren Ende nach der ersten Aufräumung, ohne fernere Baggerei, der Strom sein Bette fortwährend vertieft und regelmäßig ausbildete.

Diese Nachweisung einer festbegründeten Erfahrung kann vielleicht für manchen Strombaumeister nützlich sein, um in ähnlichen Verhältnissen die noch immer sehr verbreitete Vorliebe für die Anwendung von Palliativmitteln leichter auf richtige Urtheilsgründe zurückzuführen.

Die Baggereien 1843–1845 in der Stromstrecke VII bei Billwärder hatten den Zweck, Inconvenienzen zu befestigen, welche durch das in's Treiben gebrachte große Sandfeld (vergl. § 22) temporär verursacht wurden und die, weil Manche darin Symptome des Mißlingens der Stromcorrection erkennen wollten, zu nicht geringer Allarmirung Unkundiger Veranlassung gaben, anstatt daß aus der raschen Fortbewegung so großer Sandmassen durch den Strom selbst, gerade die sichere Beruhigung hätte entnommen werden können, daß die hydraulischen Kräfte der Norder-Elbe zur Erhaltung ihrer Schiffbarkeit von Spadenland abwärts bei geregelter Leitung vollkommen genügend seien.

Als beiläufige Notiz hat es vielleicht einiges Interesse, zu bemerken, daß die ausgebagerten  $14\frac{1}{4}$  Millionen Cubicfuß Sand ausreichen würden, um, bei gleichmäßiger Ausbreitung, das ganze Strombette der Norder-Elbe von der Stromtheilung bis Billwärder in der Normal-Breite von 700 Fuß ungefähr 9 Zoll hoch damit zu bedecken, und dürfte diese Vorstellung besonders geeignet sein, den verhältnismäßig geringen Nutz-Effect von Baggereien im freien Strom anschaulich zu machen, wenn man dabei in Erinnerung bringt, daß circa

9 Millionen Cubicfuß, also weit über die Hälfte jener Quantität, an einer einzigen Stelle von geringer Ausdehnung in der oberen Mündung gebaggert ist, die dadurch nicht nachhaltig vertieft worden. Die übrigen 5 Millionen vertheilen sich ebenfalls sehr ungleich; etwa 4 Millionen derselben kommen auf die unterste Stromstrecke; eine Million nur bleibt für den mittleren Theil, der bei einer Längen-Ausdehnung von 16 000 Fuß und der Normal-Breite von 700 Fuß, eine Bodenfläche des Strombettes von circa 11 Millionen Quadratfuß darbietet. Diese Grundfläche könnte man also, bei gleichmäßiger Ausbreitung, etwa einen starken Zoll hoch mit dem herausgebaggerten Sande bedecken. Vergleicht man nun hiermit die im § 16 mitgetheilten Veränderungen, welche von Jahr zu Jahr in den Werthen der mittleren Tiefe Statt gefunden haben, so erhält man das, für erfahrene Strombaukundige freilich nichts weniger als überraschende Ergebnis, daß gegen die Quantitäten Sandes, welche der auf eine angemessene Breite eingeschränkte Strom selber von einer Stelle zur andern fortbewegt, jene gebaggerten Sandmassen fast verschwinden.

§ 30.

Die bis hierher gewonnenen Ergebnisse der Erörterung lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen:

1. In Betreff der natürlichen Verhältnisse des concreten Falles und deren Statt gefundenen Veränderungen:

a. Die ungetheilte Elbe zunächst oberhalb der Stromtheilung, ihrer natürlichen Beschaffenheit nach bisher eine Stätte unregelmäßiger Sandablagerungen, die an großen Schwankungen in den Durchschnittswerthen der Profil-Größe und der mittleren Tiefe erkannt werden (§ 20), befindet sich noch gegenwärtig in diesem regellosen Zustande. (§ 18, § 20.)

b. Die obere Mündung der Süder-Elbe nimmt an den Schwankungen des Hauptstromes Theil, jedoch bedarf diese Abzweigung, zur Ueberwindung und gleichmäßigen Weiterförderung der Sandmassen, keiner Beihülfe durch künstliche Aufräumung. (§ 18, § 20.)

c. Auch die obere Mündung der Norder-Elbe wird in jene Schwankungen hineingezogen, aber mit dem Unterschiede, daß die ungünstigen Veränderungen sich bei Weitem stärker geltend machen als die günstigen, dergestalt, daß – ungeachtet höchst kräftiger Beihülfen durch Baggerei – dennoch sowohl Profil-Größe als mittlere Tiefe in dieser Abzweigung des Stromes sich in Abnahme befindet. (§ 18, § 20, § 24, § 29.)

d. Dieses Uebergewicht der ungünstigen Einwirkungen über die günstigen erstreckt sich jedoch seit Ausführung der Correction der Norder-Elbe nicht weit abwärts von der oberen Mündung; schon nahe unterhalb derselben findet ein Zustand des Gleichgewichts Statt, der bald in ein Uebergewicht der günstigen, die Vertiefung fördernden Einwirkungen übergeht. (§ 21.)

e. Am untern Ende der Norder-Elbe ist durch Herbeiführung neuer Verstärkungen des hydraulischen Vermögens der frühere, gefahrdrohende Zustand vollständig umgewandelt. (§ 22.)

f. Der Begegnungspunkt der beiden Fluthwellen ist aus der früheren, weit abwärts in der Norder-Elbe befindlichen, Lage bis nahe an die Stromtheilung herangerückt und der widernatürliche Rückstrom zur Ebbezeit ist gehoben. (§ 24–28.)

2. In Betreff der Begründung von Erfahrungsresultaten, welche zu allgemeiner Anwendung geeignet sind:

a. Bei Stromtheilungen, zumal im Gebiete der Meeresfluth, wird das Uebergewicht des

herrschenden Stromarmes stets bis zur völligen Unterdrückung des beherrschten Armes zunehmen, wenn nicht durch Kunstanlagen und Arbeiten eingewirkt wird.

b. Durch feste Regelung des Stromes mittelst Bauwerke kann das verlorene Gleichgewicht wieder hergestellt und gesichert werden.

c. Baggereien sind Palliativmittel, verwerflich wo die Möglichkeit zur Stromcorrection gegeben ist, unentbehrlich wo durch Territorialverhältnisse oder durch andere, dem Strombau fremde, Interessen oder Vorurtheile der Strombaumeister an rationeller Durchführung seiner Aufgabe gehindert wird.

Die Begründung dieser drei Sätze ist so sehr in alle Theile der Erörterung verflochten, daß nicht füglich auf einzelne Paragraphen verwiesen werden kann.

### § 31.

Erinnert man sich nun desjenigen, was in den §§ 5, 6 und 7 über die Bewegung mehrerer Fluthwellen in den Armen eines und desselben Stromes gesagt ist, und vergegenwärtigt man sich die mitgetheilten Thatsachen aus der Vergangenheit und Gegenwart, und scheint es mir, daß das leitende Prinzip dieser Stromcorrection, ganz so einfach als es in der That ist, vorliege und daß dessen Begründung in den allgemeinen natürlichen Eigenschaften derjenigen strömenden Gewässer, welche die Uebergangsstufe vom Meerbusen zu dem oberen, stets in Einer Richtung fließenden, Strome bilden (§ 1) nicht verkannt werden könne.

Dies Prinzip ist:

Annäherung und thunlichste Fixierung des Begegnungspunktes der beiden Fluthwellen an die, in geeigneter Weise zu gestaltende, obere Separationsspitze.

Nach meiner Ueberzeugung ist die schiffbare Offenhaltung beider Stromarme in solchen Stromgegenden nur in dem Maaße erreichbar, als dies Prinzip klar erkannt und in der, durch die besondere Oertlichkeit bedingten Art und Weise consequent durchgeführt wird. Dabei ist jedoch noch Folgendes zu bemerken:

Wäre es möglich, beide Arme so zu gestalten, daß der Begegnungspunkt der beiden Wellen, unter allen Umständen gerade an der oberen Separationsspitze sich befindet, dergestalt, daß weder die natürlichen Veränderungen in dem Wasserstande des oberen Stromes, noch der Wechsel in den Höhen der Fluthen und Ebben, dessen Stelle verschieben könnten, so wäre das Verhältniß der beiden Stromarme zu einander und zu dem Hauptstrome fest und unveränderlich.

Aber solche Unveränderlichkeit widerstreitet der Natur der Ströme, deren Wesen sich eben in dem Wechsel und in steter Veränderung ausspricht; die Baukunst vermag nicht, diesen wesentlichen Charakter der Ströme aufzuheben, außer durch Canalisirung, wovon hier nicht die Rede sein kann.

Die Praxis des Strombaues muß deßhalb in den meisten Fällen dieser Art ihr Ziel als erreicht ansehen, wenn es ihr gelungen ist, zu veranlassen, daß bei mittlerem Sommerwasserstande im oberen Strome, verbunden mit mittlerer Höhe der Fluth und der Ebbe, jede der beiden Fluthwellen denjenigen Stromarm, in den sie von unten eingetreten ist, in seiner ganzen Länge bis zur oberen Separationsspitze durchlaufe, ohne durch ein Begegnen der andern Welle vorher ausgeglichen zu werden.

## Vierter Abschnitt.

Hervorhebung einiger spezieller Wahrnehmungen  
und Verhältnisse.

## § 34.

Es ist in den vorliegenden Daten schließlich noch das Material nachzuweisen zu einer ganz allgemeinen Erörterung, welche in das Gebiet der Hydrometrie gehört.

Soll nemlich die Wassermenge oder das hydraulische Vermögen eines Stromes ermittelt werden, so kommt es bekanntlich darauf an, Zahlenwerthe anzugeben für die Profil-Größe und für die mittlere Geschwindigkeit, welche Letztere entweder unmittelbar gemessen oder aus dem Stromabhang und der mittleren Tiefe, in Verbindung mit einem empirischen Coefficienten, berechnet werden soll.

Eine unerlässliche Bedingung der Richtigkeit des Resultates ist nun, daß die in Rechnung gebrachte mittlere Geschwindigkeit wirklich mit der in Rechnung gebrachten Profil-Größe zusammengehöre, und in der großen Schwierigkeit (vielleicht Unmöglichkeit), dieser Bedingung zu genügen, liegt der Hauptgrund der Unsicherheit von hydrometrischen Bestimmungen für große Ströme.

Mißt man die Geschwindigkeit unmittelbar mit dem WOLTMAN'schen Flügel, so befindet man sich mit seiner Messung allerdings genau in demselben Profil, dessen Größe man in Rechnung bringt, aber man ist genöthigt, aus einer vergleichungsweise kleinen Anzahl von Messungen, welche nur auf das Verhalten einzelner Stromfäden während der Beobachtungszeit Bezug haben, auf das große Ganze eines Querschnitts von mehreren tausend Quadratfuß Fläche zu schließen; werden nun die unleugbar Statt findenden, innern Bewegungen des Wassers und die daraus entstehenden Folgen für die Messungen, worüber HAGEN<sup>1)</sup> sich in einer Weise ausspricht, welcher kein aufmerksamer Beobachter von Strömen seine Beistimmung versagen wird, in Erwägung gezogen, so wird man gewiß im Allgemeinen geneigt sein, den Werth der mittleren Geschwindigkeit auch aus dem Stromabhang und durch andere Methoden, bei denen die Berücksichtigung einer längeren Stromstrecke zum Grunde liegt, abzuleiten. Alsdann aber hat man es nicht mehr mit einer einzigen, ganz bestimmt gegebenen Profil-Größe und mittleren Tiefe, sondern mit einem oftmals höchst verschieden gestalteten längeren Stromschlauche zu thun, der gar verschiedene Werthe dafür darbietet. Nun wird zwar stets die Regel ertheilt und auch gewiß in den meisten Fällen thunlichst befolgt, daß man für hydrometrische Zwecke nur regelmäßige Stromstrecken mit geraden und parallelen Ufern und möglichst gleichförmig gestalteten Profilen auswählen solle; aber diese Eigenschaften sind in der Natur bei den Strömen nur in beschränktem Grade anzutreffen und nur in sehr seltenen Fällen mögen dieselben alle vereinigt gefunden werden.

Aus diesem Grunde scheint es mir für den Praktiker von Interesse zu sein, daß die relative Brauchbarkeit einzelner Stromstrecken für hydrometrische Zwecke an der hier vorliegenden großen Anzahl genau gemessener und berechneter Profile näher erörtert werde.

Um für diese relative Brauchbarkeit einen Maaßstab zu haben, ist vielleicht der bei Berechnung der Tabellen eingeschlagene Weg der geeignetste, jedoch muß dabei zugleich die aufmerksame Berücksichtigung derjenigen Merkmale, welche man durch wirkliche Besichtigung oder Messung wahrnehmen kann, angewendet werden.

Ob die Ufer sich in gerader und paralleler Richtung erstrecken, ob große Unregelmäßig-

<sup>1)</sup> HAGEN, Wasserbaukunst, II., 1.

keiten in der Form eines Queer-Profiles vorhanden sind, kann man leicht sehen oder messen; will man aber den Grad der Regelmäßigkeit des Strombetts in dessen Länge nerstreckung beurtheilen, so bedarf es der Messung und Vergleichung mehrerer benachbarter Profile.<sup>2)</sup> Diese werden in der Natur stets an Größe und Form, d.h. (bei vorausgesetzter gleicher Breite) an Größe und mittlerer Tiefe verschieden sein, und daher kann in der Praxis zuweilen die Frage von Wichtigkeit werden, ob die in concreto vorliegenden Abweichungen der einzelnen ermittelten Werthe ungewöhnlich groß sind, oder ob ähnliche Differenzen anderswo vorgefunden wurden.

In den Tabellen (§ 16) sind nun die Abweichungen der zusammengehörigen (je vier) Werthe von ihrer Mittelzahl in der Weise in einen einzigen Ausdruck vereinigt, daß aus denselben, ohne Berücksichtigung der Zeichen, das arithmetische Mittel genommen und dieses alsdann in Procent der Mittelzahl ausgedrückt ist. So erhält man eine reine Verhältnißzahl für jede einzelne Stromstrecke und für jedes einzelne Jahr, welche sich zur Vergleichung vollkommen eignet und als Maaßstab für die relative Regelmäßigkeit des Strombetts dienen kann.

Zur Erleichterung der Uebersicht ist auf Tafel XII eine Darstellung sämtlicher Verhältnißzahlen beigefügt; dieselben sind als Ordinaten aufgetragen und man erkennt an der Form der durch deren Endpunkte gezogenen Curven den größern oder geringern Grad von Regelmäßigkeit des Strombetts in der betreffenden Strecke.

§ 35.

Gehen wir nun zur nähern Erörterung dieser Zahlen über und betrachten zuvörderst diejenigen, welche sich auf die Werthe der Profil-Größe beziehen, so finden wir, daß bei ordinär Hochwasser in den jährlich wiederholten Messungen von je vier benachbarten Profilen, während eines zehnjährigen Zeitraumes, die durchschnittliche Abweichung der einzelnen Profil-Größen von der zugehörigen Mittelzahl in Procent der Letzteren, folgende ist:

|                     |             |        | Maxi-<br>mum. |       | Mini-<br>mum. |       | Mittel<br>aus Allen. |
|---------------------|-------------|--------|---------------|-------|---------------|-------|----------------------|
| In der Stromstrecke | I. (Tabelle | I.)    | 7,49          | ..... | 0,88          | ..... | 3,35                 |
| " " "               | II. ( "     | II.)   | 7,90          | ..... | 3,23          | ..... | 5,16                 |
| " " "               | III. ( "    | III.)  | 9,51          | ..... | 2,33          | ..... | 5,17                 |
| " " "               | IV. ( "     | IV.)   | 8,16          | ..... | 4,15          | ..... | 6,45                 |
| " " "               | V. ( "      | V.)    | 12,89         | ..... | 1,20          | ..... | 4,67                 |
| " " "               | VI. ( "     | VI.)   | 11,95         | ..... | 2,86          | ..... | 6,06                 |
| " " "               | VII. ( "    | VII.)  | 14,21         | ..... | 2,45          | ..... | 5,91                 |
| " " "               | VIII. ( "   | VIII.) | 5,39          | ..... | 1,29          | ..... | 3,87                 |

Bei ordinär Niedrigwasser hat diese Verhältnißzahl folgende Werthe:

|                     |           |  | Maxi-<br>mum. |       | Mini-<br>mum. |       | Mittel<br>aus Allen. |
|---------------------|-----------|--|---------------|-------|---------------|-------|----------------------|
| In der Stromstrecke | I. ....   |  | 8,69          | ..... | 1,07          | ..... | 4,48                 |
| " " "               | II. ....  |  | 10,34         | ..... | 3,49          | ..... | 7,35                 |
| " " "               | III. .... |  | 26,31         | ..... | 3,61          | ..... | 12,35                |
| " " "               | IV. ....  |  | 10,57         | ..... | 4,86          | ..... | 6,72                 |

<sup>2)</sup> Ich habe öfter gesehen, daß es versucht ward, durch sogenannte Längs-Peilungen oder Tiefenmessungen im Stromstriche, hierüber ein Urtheil zu begründen; diese Methode dürfte aber überall ungenügend sein, wo hydrometrische Zwecke erreicht werden sollen.

|                     |            | Maxi-<br>mum. | Mini-<br>mum. | Mittel<br>aus Allen. |
|---------------------|------------|---------------|---------------|----------------------|
| In der Stromstrecke | V. ....    | 19,05         | 5,21          | 9,42                 |
| " " "               | VI. ....   | 22,71         | 5,76          | 13,32                |
| " " "               | VII. ....  | 20,79         | 2,63          | 9,69                 |
| " " "               | VIII. .... | 7,63          | 2,63          | 5,10                 |

Wegen Krümmung oder bedeutender Divergenz der Ufer sind die Stromstrecken III, VI und VII nicht als solche zu betrachten, die man für hydrometrische Zwecke auswählen würde; die Stromstrecke VI würde nur dann gewählt werden, wenn man die Jahre 1843, 1844 und 1845 ausschließt, weil erst nach 1845 die Uferlinien daselbst genügend geregelt waren. Nimmt man nur die Jahre 1846 bis 1852, so erhält man in der Stromstrecke VI:

|                              | Maxi-<br>mum. | Mini-<br>mum. | Mittel aus<br>7 Messungen. |
|------------------------------|---------------|---------------|----------------------------|
| Bei ordinär Hochwasser ..... | 7,89          | 2,86          | 4,72                       |
| " " " Niedrigwasser.....     | 15,28         | 5,76          | 10,87                      |

Vielleicht würde jedoch die mehrerwähnte Wahrnehmung temporärer Unregelmäßigkeit der Querschnitte in Folge fortgeschobener Sandmassen dennoch bei den Meisten diese Strecke von der Wahl ausschließen.

Dagegen würde, nach meiner Ueberzeugung, kein Wasserbaumeister Anstand nehmen, hydrometrische Arbeiten in jeder der anderen (durch größeren Druck hervorgehobenen) Stromstrecken auszuführen und den Resultaten denjenigen Grad von Zuverlässigkeit beizulegen, welcher, nach Maaßgabe der auf die Messung verwendeten Sorgfalt, im Allgemeinen und Besondern mit dergleichen Bestimmungen verbunden gedacht wird.

Betrachten wir nun die Verhältniszahlen, welche uns als Maaßstab der relativen Regelmäßigkeit dieser Stromstrecken dienen, so finden wir zunächst, daß – bei Messung von je vier Profilen – die durchschnittliche Abweichung der vier Werthe vom Mittel in einem einzelnen Falle (V) bis zu 13 Procent bei ordinär Hochwasser und bis zu 19 Procent bei ordinär Niedrigwasser gestiegen ist; nimmt man an, daß einem aufmerksamen Beobachter das Vorhandensein der ungünstigen Nebenumstände, die so große Abweichungen verursachen, nicht entgehen könne und daß derselbe deßhalb in solchem Falle die fragliche Stromstrecke ausschließen werde, so bleibt als gefundene Maximumgränze der durchschnittlichen Abweichung bei ordinär Hochwasser etwa 8 Procent und bei ordinär Niedrigwasser etwa 10 Procent.

Den Gegensatz dazu bilden andere einzelne Fälle, wo die Werthe der gemessenen vier Profil-Größen fast gleich zu nennen sind, denn Abweichungen von nur 1 Procent in der Profil-Größe können bei der hier erörterten Aufgabe nicht in Betracht kommen.

Nehmen wir die arithmetischen Mittel aus allen Messungen einer jeden Stromstrecke und vereinigen wir, um in einen einzigen Ausdruck gleichsam das Total-Ergebniß zusammenzufassen, noch die Messungen beider Wasserstände durch Vermittlung, so erhalten wir Folgendes:

|              |            |      |         |            |            |             |             |
|--------------|------------|------|---------|------------|------------|-------------|-------------|
| Stromstrecke | I. ....    | 3,91 | Procent | Abweichung | $t = 7,86$ | $P = 15056$ | Quadratfuß. |
| "            | VIII. .... | 4,98 | "       | "          | " 12,34    | " 14597     | "           |
| "            | II. ....   | 6,25 | "       | "          | " 11,26    | " 11661     | "           |
| "            | IV. ....   | 6,58 | "       | "          | " 8,61     | " 4686      | "           |
| "            | V. ....    | 7,04 | "       | "          | " 6,56     | " 4660      | "           |

Die beigelegten Werthe von  $P$  und  $t$  findet man am Fuße der zugehörigen Tabellen (§ 16) unter der erläuternden Benennung „allgemeine Durchschnittszahlen;“ diese beziehen sich ebenfalls auf den mittleren Wasserstand zwischen ordinär Hoch- und ordinär Niedrigwasser, und können dazu dienen die verschiedene Größe der Procentzahl zu erklären, wenn man sich die übrigen Umstände in den vorliegenden Stromstrecken völlig gleich denkt.

Sei nemlich  $\frac{P}{t}$  der Werth für die Strombreite und sei ferner die Länge der Stromstrecke, welche man unter der Bezeichnung  $l$  am Eingange einer jeden Tabelle angegeben findet, dividirt durch die Anzahl der Profile weniger Eins (also hier dividirt durch 3), der Werth für die mittlere Entfernung der Profile von einander, so hat man folgendes Tableau:

| Stromstrecke No.                       | $\frac{P}{t}$<br>Strombreite. | $\frac{l}{3}$<br>Distanz<br>der Profile. | (Profil=Größe.)<br>Abweichung der einzelnen<br>Werthe von der Mittelzahl<br>in Procent der Letzteren. |
|--|-------------------------------|--|---|
| Ungetheilte Elbe. I. ....              | 1915                          | 433                                      | 3,91  |
| Norder=Elbe, bei St. Pauli. VIII. .... | 1181                          | 800                                      | 4,98  |
| Süder=Elbe, obere Mündung. II. ....    | 1035                          | 646                                      | 6,25  |
| Norder=Elbe, Spadenland. IV. ....      | 544                           | 560                                      | 6,58  |
| Norder=Elbe, Busch. V. ....            | 710                           | 577                                      | 7,04  |

Als ein feststehender Erfahrungssatz dürfte hiernach anzunehmen sein, daß bei Strömen von der natürlichen Beschaffenheit der Unter-Elbe, bei mittlerem Wasserstande, bei Profil-Größen zwischen 4500 bis 15,000 Quadratfuß und zwischen regelmäßig gestalteten Ufern man bei Messung der Profil-Größe auf Abweichungen von 4 bis 8 Procent nach beiden Seiten der Mittelzahl mindestens gefaßt sein muß, jenachdem die Entfernung der gemessenen Profile von  $\frac{1}{3}$  der Strombreite bis zur ganzen Strombreite angenommen wird.

Dabei ist jedoch nicht zu übersehen, daß einzelne Profil-Größen bedeutend größere Differenzen geben können, und es ist daher (außer bei Erörterung ganz beschränkter Localfragen) unter allen Umständen rathsam, hydrometrische Arbeiten im freien Strome nicht auf vereinzelt Profile-Messungen zu bauen, wenn diese auch noch so sorgfältig ausgeführt und berechnet sind.

§ 36.

In Betreff der mittleren Tiefen erhält man auf ganz ähnlichem Wege folgendes Ergebnis, bei welchem die, aus oben angegebenen Gründen, nicht zu hydrometrischen Zwecken geeigneten Stromstrecken III, VI und VII sofort weggelassen sind.

Für ordinär Hochwasser. Größe der Abweichung der einzelnen Werthe von der Mittelzahl, in Procent der Letzteren.

| Stromstrecke |  | Maxi-<br>mum. | Mini-<br>mum. | Mittel<br>aus Allen. |
|--------------|--|---------------|---------------|----------------------|
| I. ....      |  | 7,46          | 0,61          | 3,91                 |
| ” II. ....   |  | 8,89          | 5,24          | 6,82                 |
| ” IV. ....   |  | 9,77          | 2,94          | 6,07                 |
| ” V. ....    |  | 11,16         | 1,39          | 4,73                 |
| ” VIII. .... |  | 6,14          | 2,53          | 4,21                 |

Für ordinär Niedrigwasser.

| Stromstrecke |       | Maxi-<br>mum. | Mini-<br>mum. | Mittel<br>aus Allen. |
|--------------|-------|---------------|---------------|----------------------|
| I.           | ..... | 12,50         | 4,41          | 8,62                 |
| ”            | II.   | 17,79         | 5,11          | 10,00                |
| ”            | IV.   | 12,04         | 4,31          | 8,41                 |
| ”            | V.    | 20,87         | 1,90          | 10,72                |
| ”            | VIII. | 9,23          | 3,40          | 5,35                 |

Man sieht hieraus, daß in regelmäßig beauferten Stromstrecken unter den vorliegenden Stromverhältnissen die Abweichung bei niedrigem Wasserstande bis über 20 Procent, bei Hochwasser bis über 11 Procent zu beiden Seiten des Mittels zunehmen kann; dabei ist jedoch zu erinnern, daß der Werth der mittleren Tiefe in den gebräuchlichen Formeln für die gleichförmige Bewegung des Wassers nur unter dem Wurzelzeichen vorkommt.

Vereinigen wir, wie im § 5 auch bei den Profil-Größen geschehen, die arithmetischen Mittel in der dritten Columne nochmals durch Vermittelung zu einem einzigen Ausdrucke und ordnen wir die Stromstrecken nach der Größe dieses Werthes, indem wir zugleich die zugehörigen Werthe der Strombreite und Distanz der Profile daneben stellen, so erhalten wir folgendes Tableau.

| Stromstrecke No.                  | $\frac{P}{t}$<br>Strombreite. | $\frac{l}{3}$<br>Distanz<br>der Profile. | (Mittlere Tiefe.)<br>Abweichung der einzelnen<br>Werthe von der Mittelzahl<br>in Procent der Letzteren. |
|-----------------------------------|-------------------------------|--|---|
| Norder=Elbe, St. Pauli. VIII..... | 1181                          | 800                                      | 4,78  |
| Ungetheilte Elbe. I.....          | 1915                          | 433                                      | 6,26  |
| Norder=Elbe, Spadenland. IV.....  | 544                           | 560                                      | 7,24  |
| Norder=Elbe, Busch. V.....        | 710                           | 577                                      | 7,72  |
| Süder=Elbe, obere Mündung. II.... | 1035                          | 646                                      | 8,41  |

Daraus geht hervor, daß unter ähnlichen Stromverhältnissen auch bei Bestimmung des Werthes der mittleren Tiefe für mittlere Wasserstände, man auf Abweichungen von 4 bis 8 Procent zu beiden Seiten der Mittelzahl gefaßt sein muß; zugleich aber ergibt sich, daß außer dem Verhältnisse der Distanz der gemessenen Profile zu der Strombreite, hier noch eine andere wesentliche Ursache, welche mit der Regelmäßigkeit der Ausbildung des Strombetts in bedingendem Zusammenhange steht, zu berücksichtigen sein müsse.

Diese Ursache ist aus den vorliegenden Daten nicht mit Sicherheit zu entnehmen, jedoch weist die nachfolgende Erörterung auf den großen Einfluß regelmäßiger Begränzung, respective Beschränkung der Hochwasserprofile in dieser Beziehung hin.

## § 37.

In dem vorstehenden Tableau befinden sich nemlich zwei Stromstrecken, bei denen das Verhältniß der Strombreite zur Distanz der gemessenen Profile ziemlich dasselbe ist, auch die absolute Größe der Strombreite ist nicht sehr verschieden und die allgemeine Durchschnittszahl für die mittlere Tiefe  $t$  ist in beiden beinahe gleich; diese Stromstrecken – die Norder-Elbe bei St. Pauli, VIII und die Süder-Elbe, obere Mündung, II – rangiren hinsichtlich der Regelmäßigkeit der Profil-Größe unmittelbar nach einander (vergl. das Tableau § 35),

dagegen findet man hinsichtlich der Regelmäßigkeit der mittleren Tiefe einen großen Unterschied. Die Norder-Elbe bei St. Pauli hat in letzterer Beziehung den ersten, die obere Mündung der Süder-Elbe den letzten Platz unter den fünf discutirten Stromstrecken.

Vor Ausführung der stromleitenden Operationen bei dem Steinwärder (vergl. § 10) nahm die Stromstrecke VIII nicht diese günstige Stellung ein, wie man das noch an den Werthen im Jahre 1843 (Tabelle VIII) sehen kann, obgleich damals schon eine große Veränderung zu Gunsten des Stroms eingetreten war.

Nun besteht der charakteristische, durch die Correction und Stromleitung ausgebildete Unterschied zwischen diesen beiden Stromstrecken darin, daß bei VIII (Norder-Elbe St. Pauli) nicht nur (wie bei der Süder-Elbe) das Profil des kleinen Wassers, sondern auch das Hochwasser-Profil mehr, als dies früher der Fall war, geregelt worden ist, daß aber in der Gegend der Stromtheilung und im oberen Theile der Süder-Elbe, II eine solche Regelung der Hochwasser-Profile fehlt. Hierin dürfte der wesentlich mitwirkende Umstand, auf den im vorigen Paragraphen hingedeutet ist, zu finden sein, denn wenn das kleine Wasser eine geschärfte Einwirkung auf das Strombett ausübt, während dem Hochwasser eine unverhältnißmäßige Ausbreitung gestattet bleibt, so können die Wirkungen dieses Mangels, in der minderen Uebereinstimmung unter den Werthen der mittleren Tiefe benachbarter Profile sich bemerklich machen.

#### § 38.

In eine andere, vielleicht bald zur Oeffentlichkeit gelangende Abhandlung, welche ausschließlich mit Gegenständen der Hydrometrie sich beschäftigt, habe ich diejenigen Folgerungen aufgenommen, welche aus den nachgewiesenen Erfahrungssätzen sich ferner ergeben; sie werden dort im Zusammenhange mit mehreren verwandten Beobachtungen und Erfahrungen eine geeignetere Stelle finden als hier. Nach meinem Dafürhalten ist es für die Ausbildung der Theorie und der Praxis in gleichem Grade wünschenswerth, daß begründete Wahrnehmungen der Mängel unsrer hydrometrischen Hilfsmittel, wozu die Praxis so häufig Gelegenheit giebt, in zweckmäßiger Weise bearbeitet, veröffentlicht werden, denn wir sind, ungeachtet des Besitzes sinnreich construirter Meßapparate und bei der sorgfältigsten Ausführung der mit denselben angestellten Messungen, noch weit davon entfernt, auf directem Wege zu sichern Resultaten in Betreff der mittleren Geschwindigkeit und der Wassermenge eines großen Stromes gelangen zu können.

– „Das Gesetz, wonach die Geschwindigkeit bei größerer Tiefe sich vermindert, ist keineswegs bereits aufgefunden: die angestellten Beobachtungen zeigen im Gegentheil unter sich so wesentliche Differenzen, daß man entweder die Voraussetzung machen muß, das gesuchte Gesetz sei viel complicirter als irgend eine der bisherigen Theorien, oder man muß den Grund in den Messungen selber suchen.“ –

– „Die Untersuchung über die gleichförmige Bewegung findet nur auf solche Stromstrecken Anwendung, die nicht allein gleich große, sondern auch gleich geformte Profile haben.“ –

Diese beiden Sätze, welche man in HAGEN's Handbuche<sup>1)</sup> vollständig begründet und weiter ausgeführt findet, mögen, indem sie das Motiv jener Bearbeitung meiner hydrometrischen Beobachtungen und Erfahrungen bezeichnen, den Schluß der vorliegenden Abhandlung machen.

<sup>1)</sup> II., I. Seite 289 und 294. Hiermit ist auch zu vergleichen die lehrreiche Abhandlung von BAUMGARTEN, Notice sur le moulinet de WOLTMAN. Extrait des Annales des ponts et chaussées. 1848.

## V. Ueber die Lage des Nullpunktes am Hauptpegel zu Hamburg.

## Zu § 15. S. 66

Zu Hamburg gab es bis gegen Ende des vorigen Jahrhunderts keine feste Bestimmungen über die Höhenlage der gewöhnlichen Fluth und Ebbe, auch hatte man keine unveränderliche, regelmäßig eingetheilte Pegel, sondern es dienten einzelne, zum Theil in gewissen Abständen mit eisernen Ringen versehene Pfähle, die den Hafensteuermännern, Schiffern und Lootsen bekannt waren als Anhaltspunkte der Beurtheilung der Wasserhöhe; andere Marken wurden von den beim Wasserbau Angestellten benutzt und eine Controle zur Erhaltung der unveränderten Höhe dieser Zeichen gab es nicht.

Dieser Mangel ist um so mehr zu beklagen, da die mit der Fürsorge für die Elbe betraute Behörde schon vor vielen Jahren detaillirte Aufmessungen der wichtigsten Parthien des Stromes anfertigen ließ, welche von großem Werthe sein würden, wenn die Tiefenmessungen sich auf ein bekanntes Niveau bezögen.

Man findet aber auf den ältesten Special-Karten (1699) entweder gar keine Nachweisung der Wasserhöhe oder eine unbestimmte Notiz, z. B. „bei niedrigem Wasser,“ „beim allerniedrigsten Wasser und Ostwind“ oder Aehnliches. Als man anfangs, eine größere Genauigkeit zeigen zu wollen, bezog man sich auf dieses oder jenes, den Verfertigern der Karten bekannte Uferbauwerke, so z. B. finde ich auf einer mit ungemeinem Fleiße ausgearbeiteten Karte vom Jahre 1755 die Nachweisung, daß die gemessenen Tiefen auf „das niedrigste Wasser, wenn es unten an den vor MORMANN'S Hause liegenden Stack tritt,“ reducirt und darnach in die Karte eingetragen seien.

Im Jahre 1766 wurden der Professor BÜSCH und der Baumeister SONNIN zur Begutachtung gewisser, die Elbe betreffenden Fragen aufgefordert, und es scheint, daß die in diesem Gutachten enthaltene Rüge:

„wir wünschten gewiß zu sein, ob hier (bei der Stromtheilung) oder bei unserer ganzen Stadt jetzt oder jemals ein beständiges Punctum a quo in Ansehung der Wasserhöhe, nach welchem man die Abänderungen des Stromes mit gehöriger Sicherheit beurtheilen könne, verordnet worden sei?“

die Veranlassung gegeben hat zur Errichtung desjenigen Pegels am Ochsenwärder Ufer, den man 20 Jahre später, zu REINKE'S Zeit, daselbst den alten Fluthmesser nannte und dessen Nullpunkt um einen Fuß niedriger war als das ordinäre Niedrigwasser daselbst.

Dem Bedürfnisse eines ordentlichen Hauptpegels in der Nähe der Stadt wurde erst vollständig abgeholfen, als der Strombau in REINKE'S Hände kam.

Dieser beobachtete vom Januar 1786 bis zum Mai 1787 alle während der Tageszeit eintretende Fluth- und Ebbe-Höhen an einer „provisorischen“ Scala, die von ihm selbst errichtet war.

Aus diesen Beobachtungen ermittelte er, durch ein uns nicht aufbewahrtes Verfahren, eine Höhe, welche er

„den eigentlichen Punkt des ordinären niedrigen Wassers“ nannte und den er als Nullpunkt der definitiven Scale annahm, welche im Mai 1787 errichtet ward.

Nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche ist man berechtigt, unter den Ausdrücken „ordinäre Fluthhöhe,“ „ordinäre Ebbehöhe“ das arithmetische Mittel aus einer großen (mindestens ein Jahr lang fortgeführten) Reihe von Beobachtungen zu verstehen. In dieser Bedeutung werden die Ausdrücke von den namhaftesten Schriftstellern gebraucht; WOLTMAN definirt (Beiträge I, S. 9) „die ordinäre Fluthhöhe wird gefunden, wenn man die Höhen aller täglichen Fluthen eines oder mehrerer Jahre beobachtet und daraus das arithmetische Mittel

nimmt“. Der Nullpunkt des von ihm in Cuxhaven errichteten Fluthmessers, der von WOLTMAN stets als die „ordinäre“ Ebbe bezeichnet ist, stimmt noch gegenwärtig genau mit der „mittleren“ Ebbe überein.

Da bei Hamburg die mittlere Ebbe sehr bedeutend von dem Nullpunkte des Pegels abweicht, so mußte vermuthet werden, daß mit der Stellung des Letzteren nach dem Jahre 1787 eine erhebliche Veränderung vorgegangen sei, wodurch ich mich veranlaßt fand, diesem Gegenstande eine genaue, lange fortgesetzte Untersuchung zu widmen.

In den Acten befand sich ein von REINKE herrührendes Verzeichniß hoher Sturmfluten, bei welchem er erläuternd hinzugefügt hatte, daß die Höhen der älteren Angaben nach aufgefundenen Marken an Häusern, Treppen u. s. w. ermittelt seien; ich bemühte mich demnach, solche Fluthmarken aus alter Zeit aufzufinden, um dieselben mit dem Nullpunkte des jetzigen Pegels zu vergleichen.

Das (im Jahre 1844 in einem Hamburgischen Journal<sup>1)</sup> veröffentlichte) Ergebnis war folgendes:

An 11 verschiedenen Stellen der Stadt fand ich 29 Marken von 12 hohen Sturmfluten, von denen 6 in das laufende Jahrhundert fallen.

Acht von diesen Sturmfluthen sind auch in dem erwähnten REINKE'schen Verzeichnisse aufgeführt; desgleichen enthält ein Verzeichniß von WOLTMAN, das bis 1792 eine Copie des REINKE'schen ist, später aber davon abweicht, Höhenangaben von 8 Fluthen aus dieser Reihe.

Es ward nun eine sorgfältige Vergleichung der Höhenlage dieser aufgefundenen Zeichen mit der Höhe des Nullpunktes am jetzigen Pegel vorgenommen, so daß, vermittelt der Marken, eine Vergleichung des alten REINKE'schen Nullpunktes mit dem jetzigen Nullpunkte möglich erschien.

Die Resultate gaben folgendes Tableau:

| No. des Ortes, wo die Marke befindlich. | Gemessene Höhe der aufgefundenen Marken über dem Hamburger Nullpunkte von 1844. |                  |                   |                   |                  |                    |                   |                   |                   |
|---|---|------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|   | 1751,<br>Sept. 11.  | 1756,<br>Oct. 8. | 1791,<br>März 22. | 1792,<br>Dec. 11. | 1793,<br>März 3. | 1806,<br>Febr. 27. | 1824,<br>Nov. 15. | 1825,<br>Febr. 4. | 1825,<br>Nov. 27. |
| No. 1.....                              | 18' 11½"  | 19' 33"          | 19' 4½"           | 19' 6½"           | —                | —                  | —                 | —                 | —                 |
| " 2.....                                | 18' 10"   | 19' 2"           | 19' 4"            | 19' 6"            | 18' 1"           | 18' 3½"            | —                 | 20' 3"            | 19' 0"            |
| " 3.....                                | —   | 19' 5"           | 19' 5"            | —                 | —                | —                  | —                 | 20' 3"            | —                 |
| " 4.....                                | —   | —                | 19' 3½"           | 19' 6½"           | —                | —                  | 18' 11½"          | 20' 1½"           | —                 |
| " 5.....                                | —   | —                | 19' 5½"           | —                 | —                | —                  | —                 | —                 | —                 |
| " 6.....                                | —   | —                | 19' 6"            | —                 | —                | —                  | —                 | —                 | —                 |
| " 7.....                                | —   | —                | —                 | —                 | —                | —                  | —                 | 20' 2½"           | —                 |
| " 8.....                                | —   | —                | —                 | —                 | —                | —                  | —                 | 20' 3½"           | —                 |
| " 9.....                                | —   | —                | —                 | —                 | —                | —                  | —                 | 20' 3½"           | —                 |
| " 10.....                               | —   | —                | —                 | —                 | —                | —                  | —                 | 20' 5½"           | —                 |
| " 11.....                               | —   | —                | —                 | —                 | —                | —                  | —                 | 20' 3"            | —                 |
| "                                       | —   | —                | —                 | —                 | —                | —                  | —                 | 20' 5"            | —                 |
| Mittel.....                             | 18' 10½"  | 19' 3½"          | 19' 4½"           | 19' 6½"           | 18' 1"           | 18' 3½"            | 18' 11½"          | 20' 3½"           | 19' 0"            |
| Reinke.....                             | 20' 2"  | 20' 5"           | 20' 2½"           | 20' 6"            | 18' 0"           | 18' 6"             | 18' 9"            | 20' 6"            | (fehlt)           |
| Wolman.....                             | (mit Reinke gleichlautend.)   |                  |                   |                   | 18' 6"           | (fehlt)            | 19' 2"            | 20' 4"            | 18' 10"           |
| Differenz.....                          | +1' 1¼"   | +1' 1½"          | +0' 10"           | +0' 11¼"          | -0' 1"           | +0' 2½"            | -0' 2½"           | +0' 2½"           | —                 |
|   | Vor Errichtung  |                  | Nach Errichtung   |                   | +0' 5"           |                    | +0' 2½"           | +0' 0¼"           | -0' 2"            |
|   | der Reinke'schen Scale.   |                  |                   |                   |                  |                    |                   |                   |                   |

<sup>1)</sup> Neue Hamburger Blätter No. 51. November 27, 1844. Dasselbst ist auch eine ausführliche Beschreibung der Stellen, an denen die alten Fluthmarken aufgefunden wurden, mitgetheilt. Hier schien es mir genügend zu sein, die Marken nur zu numeriren; um so mehr, da jetzt, wie aus dem Verfolg dieser Abhandlung zu ersehen ist, die Hauptfrage über die Lage des Nullpunktes ihre vollständige Erledigung auf andern Wege findet.

Man bemerkt hier sogleich, daß die Differenz zwischen der neuen Messung und der REINKE'schen Angabe bei den Fluthen vor 1793 nahe einen Fuß beträgt, daß aber von 1793 an Beides nahe übereinstimmt. Die kleinen Differenzen von einigen Zollen können nicht in Betracht kommen, denn es ist zu berücksichtigen, daß solche Marken hoher Fluthen von Privatpersonen gewöhnlich nur nach den zurückgebliebenen Spuren der Nässe an den Wänden der Häuser gemacht werden und daher keine ganz scharfe Genauigkeit haben können; eben so wenig aber darf man auch von einer damaligen Notirung der Höhe am Pegel voraussetzen, daß sie bei einer so großen Sturmfluth wirklich zur Zeit des höchsten Wassers beobachtet sei. In einem solchen Falle war in damaliger Zeit die Umgebung des Pegels weit und breit überschwemmt, das Blockhaus, bei dem der Pegel an einem Pfahlwerke angebracht war, blieb Stunden lang vom Lande aus unzugänglich und selbst mit Böten war es nicht ohne große Beschwerde zu erreichen; sogar Zerstörungen der Pfahlwerke des Hafens durch Sturmfluthen ohne Eisgang kamen vor.<sup>1)</sup>

Uebrigens aber kann es nicht dem geringsten Zweifel unterliegen, daß Fluthhöhen, welche an mehreren weit von einander entfernten Stellen der Stadt, von verschiedenen, in keinerlei Verbindung mit einander stehenden Leuten, mit der Absicht, ein denkwürdiges Ereigniß für ihre Nachkommen dauernd festzustellen, nahezu gleich hoch markirt sind, in der Wirklichkeit nicht erheblich von der markirten Höhe abgewichen sein können, und namentlich darf mit voller Zuversicht behauptet werden, daß die wirklich erreichte Fluthhöhe nicht bedeutend höher gewesen sein könne, als die Marken sie angeben. Denn das Unduliren des Wassers und das Aufsteigen der Nässe in den Wänden kann die nasse Kante und in Folge dessen die Marke vielleicht etwas hinauf bringen, aber nicht wohl erniedrigen.

Da nun bei den vier ersten Fluthen von 1751, 1756, 1791 und 1792 beziehlich 2, 3, 6 und 3 Marken vorhanden sind, welche nahe mit einander übereinstimmen, deren Mittel aber constant um einen ganzen Fuß von der REINKE'schen Angabe abweicht, so schien es, daß das Verschwinden dieser auffallenden constanten Differenz am Ende des Jahres 1792 nur durch die Annahme erklärt werden könne, der Nullpunkt der Scale sei um 1792–1793 einen Fuß höher gestellt, die darauf bezügliche Nachweisung aber sei verloren gegangen.

Mit diesem wenig befriedigenden Resultate mußte ich vor acht Jahren den ersten Theil meiner Untersuchungen in Bezug auf die Vergangenheit vorläufig abschließen, da noch keine weitere Daten aufgefunden waren.

Seitdem bin ich durch Gefälligkeit eines Freundes in Besitz REINKE'scher Beobachtungen aus den Jahren 1787 bis 1800 gelangt, welche abschriftlich aufbehalten worden sind, und dadurch ward eine sichere Basis gegeben auf welcher die Untersuchung von Neuem vorgenommen werden konnte.

Zuvörderst ergab sich, daß die beiden Fluthhöhen von 1791 und 1792 in den Registern ebenso notirt sind als es in dem früher von mir benutzten REINKE'schen Verzeichniß der Fall

<sup>1)</sup> Nach der Sturmfluth vom 8. October 1756 mußte von der Admiralität die Verfügung gemacht werden:

„Daß die Barcasse ungesäumt und die Admiralitäts-Jagd so bald als möglich an der zum Theil weggerissenen hölzernen Wand gegen den Vorsetzen über hingelegt, mit genugsamer Mannschaft versehen, und Letzterer die Ordre ertheilt werde, des Nachts in Chalouppen fleißig patrouilliren zu fahren, damit des Nachts Niemand durch die Oeffnungen in und aus der Stadt kommen könne.“

Die Ordre ist vom 13. October (5 Tage nach der Sturmfluth) datirt, mithin müssen die Beschädigungen so bedeutend gewesen sein, daß man nicht in wenigen Tagen denselben abhelfen konnte.

war, d. h. um einen Fuß von den gemessenen Marken abweichend; ebenso auch die Fluthhöhe von 1793, welche bis auf einen Zoll mit der aufgefundenen Marke stimmt.

Ich beschloß also alle diese Ergebnisse einstweilen auf sich beruhen zu lassen und schlug einen ganz andern jetzt practicablen Weg ein, nemlich denjenigen der Vergleichung der Mittelzahlen aus vielen Beobachtungen.

Das Material bestand in den erwähnten REINKE'schen Beobachtungen von 1787 bis 1800, und in meinen Beobachtungen von 1842 bis 1852.

Es sind einige Verschiedenheiten unter diesen Materialien zu bemerken.

REINKE's Beobachtungen enthalten nur diejenigen Fluthen und Ebben, welche in die Tageszeit fallen; Nachtbeobachtungen fehlen ganz. Außerdem kommen hin und wieder kürzere oder längere Unterbrechungen vor, ohne Angabe des Grundes; während Eiszeiten fallen die Beobachtungen meistens aus. Berechnete Mittelzahlen befanden sich in der erhaltenen Abschrift nicht.

Die Beschaffenheit der Beobachtungen gestattete es demnach nicht, daß die erforderlichen Mittelzahlen auf die gewöhnliche Art berechnet, d. h. daß aus den einzelnen Beobachtungen Monatsmittel und aus letzteren Jahresmittel abgeleitet wurden; sondern die Summe aller Beobachtungen mußte dividirt werden durch deren Anzahl. Da die Zahl der Beobachtungen sehr groß ist (4195 Fluth- und 4187 Ebbebeobachtungen) und sich auf einen 13jährigen Zeitraum vertheilt, so kann der solchergestalt gewonnenen Mittelzahl, nach meiner Ueberzeugung, dieselbe Bedeutung beigemessen werden als ob sie die Mittelzahl aus etwa 6 Jahren vollständiger Beobachtungen (Tag und Nacht und ohne Lücken) wäre; denn der Einfluß der zufälligen Lücken gleicht sich in einer so langen Reihe von Jahren aus, und zwischen den Höhen der Tag- und Nachtfluthen findet dauernd ein charakteristischer Unterschied nicht Statt, da die Dauer einer Fluthperiode nicht in 24 Stunden aufgeht.

Die neueren Beobachtungen seit 1842 sind ganz vollständig und die Mittelzahlen werden in der Weise berechnet, daß zuvörderst Monatsmittel und aus diesen Jahresmittel berechnet werden. Dabei werden jedoch diejenigen Beobachtungen ausgeschlossen, bei denen Eisgang oder Eisstand registrirt ist, und zwar deshalb, weil die Entwicklung der Fluthwelle in Eiszeiten stets sehr merklich gestört, zuweilen völlig entsetzt wird.

Die Vergleichung giebt folgendes Resultat:

1. Hochwasser (Fluthhöhe) im eisfreien Strom.

|                |   |                  |
|----------------|---|------------------|
| 1788 bis 1800. | Mittel aus 4195 Beobachtungen . . . . . | 7 Fuß 6,42 Zoll. |
| 1842 bis 1852. | Mittel aus 11 Jahresmitteln . . . . .   | 7 " 9,24 "       |
|                | Differenz . . . . .                     | 0 Fuß 2,82 Zoll. |

2. Niedrigwasser (Ebbehöhe) im eisfreien Strom.

|                |   |                  |
|----------------|---|------------------|
| 1788 bis 1800. | Mittel aus 4187 Beobachtungen . . . . . | 1 Fuß 1,00 Zoll. |
| 1842 bis 1852. | Mittel aus 11 Jahresmitteln . . . . .   | 1 " 4,39 "       |
|                | Differenz . . . . .                     | 0 Fuß 3,39 Zoll. |

3. Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser oder Fluthgröße.

|               |           |                  |
|---------------|-----------|------------------|
| 1788 bis 1800 | . . . . . | 6 Fuß 5,42 Zoll. |
| 1842 bis 1852 | . . . . . | 6 " 4,85 "       |

Die Mittelzahlen aus den einzelnen Jahren gewähren einiges Interesse, und ich will sie deßhalb hier beifügen; es sind folgende:

| Fluthhöhe. |                       |                      | Ebbehöhe. |                       |                      |
|------------|-----------------------|----------------------|-----------|-----------------------|----------------------|
| 1788       | aus 333 Beobachtungen | ... 7 Fuß 6,80 Zoll. | 1788      | aus 330 Beobachtungen | ... 1 Fuß 0,67 Zoll. |
| 1789       | " 315 "               | ... 7 " 9,00 "       | 1789      | " 314 "               | ... 1 " 7,34 "       |
| 1790       | " 359 "               | ... 7 " 3,78 "       | 1790      | " 359 "               | ... 0 " 9,90 "       |
| 1791       | " 366 "               | ... 7 " 7,08 "       | 1791      | " 361 "               | ... 0 " 10,39 "      |
| 1792       | " 324 "               | ... 7 " 8,16 "       | 1792      | " 325 "               | ... 1 " 3,90 "       |
| 1793       | " 344 "               | ... 7 " 7,97 "       | 1793      | " 339 "               | ... 0 " 11,03 "      |
| 1794       | " 326 "               | ... 7 " 6,45 "       | 1794      | " 330 "               | ... 0 " 10,73 "      |
| 1795       | " 277 "               | ... 7 " 7,76 "       | 1795      | " 285 "               | ... 1 " 2,69 "       |
| 1796       | " 319 "               | ... 7 " 6,80 "       | 1796      | " 322 "               | ... 0 " 11,59 "      |
| 1797       | " 311 "               | ... 7 " 4,24 "       | 1797      | " 305 "               | ... 0 " 9,23 "       |
| 1798       | " 331 "               | ... 7 " 9,10 "       | 1798      | " 330 "               | ... 1 " 4,74 "       |
| 1799       | " 306 "               | ... 7 " 3,57 "       | 1799      | " 308 "               | ... 1 " 7,12 "       |
| 1800       | " 284 "               | ... 7 " 2,74 "       | 1800      | " 279 "               | ... 0 " 7,63 "       |

## Jahresmittel aus den Monatsmitteln:

| Fluthhöhe. |       |                  | Ebbehöhe. |       |                  |
|------------|-------|------------------|-----------|-------|------------------|
| 1842       | ..... | 7 Fuß 3,12 Zoll. | 1842      | ..... | 0 Fuß 7,97 Zoll. |
| 1843       | ..... | 7 " 11,59 "      | 1843      | ..... | 1 " 5,44 "       |
| 1844       | ..... | 7 " 10,56 "      | 1844      | ..... | 1 " 9,19 "       |
| 1845       | ..... | 7 " 10,54 "      | 1845      | ..... | 1 " 10,23 "      |
| 1846       | ..... | 7 " 10,65 "      | 1846      | ..... | 1 " 5,56 "       |
| 1847       | ..... | 7 " 7,09 "       | 1847      | ..... | 1 " 4,02 "       |
| 1848       | ..... | 7 " 2,51 "       | 1848      | ..... | 1 " 0,01 "       |
| 1849       | ..... | 7 " 7,02 "       | 1849      | ..... | 1 " 3,31 "       |
| 1850       | ..... | 8 " 2,81 "       | 1850      | ..... | 2 " 0,83 "       |
| 1851       | ..... | 8 " 2,07 "       | 1851      | ..... | 1 " 10,34 "      |
| 1852       | ..... | 8 " 0,05 "       | 1852      | ..... | 1 " 7,80 "       |

Aus der Vergleichung dieser Daten geht hervor, daß der jetzige Hamburger Nullpunkt mit dem von REINKE im Mai 1787 festgestellten Nullpunkte bis auf etwa zwei bis drei Zoll übereinstimmt. Um diese Differenz von 2 bis 3 Zoll ist der jetzige Nullpunkt niedriger als der alte.

Für den früher erörterten Unterschied welcher zwischen der REINKE'schen Bestimmung der vier großen Sturmfluthen vor 1793 und den, von mir aufgefundenen, Höhenzeichen dieser nemlichen Fluthen Statt findet, giebt es nun keine andere wahrscheinliche Erklärung mehr, als diejenige, daß dieselben in REINKE's Register nicht richtig eingetragen worden sind, wozu die oben beschriebenen örtlichen Schwierigkeiten viel beigetragen haben mögen.

Demnach bleibt nun noch die Frage zu beantworten, wie es zugegangen sei, daß REINKE den von ihm als „den eigentlichen Punkt des ordinär Niedrigwassers“ bezeichneten Höhenpunkt um 13 Zoll niedriger gesetzt hat, als das arithmetische Mittel aus seinen eignen Beobachtungen?

Die am nächsten liegende Vermuthung, daß etwa die Jahre 1786 und 1787, in denen die Beobachtungen an der provisorischen Scale angestellt wurden, ein niedrigeres Mittel gegeben als die darauf folgenden Beobachtungsjahre aus denen die Differenz von 13 Zoll hervorgeht, hat sich nicht bestätigt.

Es sind nemlich an der provisorischen Scale beobachtet:

Im Jahre 1786 ..... 331 Fluthhöhen,  
 " " 1787 ..... 124 "

Zusammen .... 455 Fluthhöhen, woraus das Mittel 14 Fuß 1,30 Zoll.

Ferner:

Im Jahre 1786 . . . . . 328 Ebbehöhen,  
 " " 1787 . . . . . 121 "

Zusammen . . . . 449 Ebbehöhen, woraus das Mittel 7 Fuß 11,72 Zoll.

Die mittlere Fluthgröße oder der mittlere Unterschied ist = 6 Fuß 1,58 Zoll.

Es kommt nun darauf an, den Höhen-Unterschied der beiden REINKE'schen Nullpunkte (des provisorischen und des definitiven) zu kennen, und glücklicher Weise befindet sich unter den Beobachtungen eine Höhenangabe, die REINKE selber zweimal mitgetheilt hat; einmal nach der provisorischen Scale, an der die Wasserhöhe abgelesen war und ein anderes Mal nach der definitiven Scale in einem späteren Actenstücke; nemlich

den 17. November 1786 Niedrigwasser; ist registriert nach der provisorischen Scale

. . . 2 Fuß 7 Zoll über Null.

und später von REINKE angegeben, nach der definitiven Scale . . . 4 " 1 " unter "

Die Differenz beider Nullpunkte war also = 6 Fuß 8 Zoll,

um welche der provisorische Nullpunkt niedriger lag als der definitive.

Hiernach ist das Mittel aus den Beobachtungen  $17\frac{86}{87}$ , reducirt auf den definitiven Nullpunkt:

Für Hochwasser . . . . . 7 Fuß 5,30 Zoll.  
 » Niedrigwasser . . . . . 1 " 3,72 "

Dies Mittel des Niedrigwassers weicht also von dem REINKESchen Nullpunkte sogar um 16 Zoll ab, also um 3 Zoll mehr als jene erste Mittelzahl, die aus allen 13 Jahren gezogen ist.

Hiernach kann es nicht bezweifelt werden, daß REINKE ein anderes Verfahren als die arithmetische Vermittlung aller an der provisorischen Scale gemachten Beobachtungen befolgt hat, um seinen definitiven Nullpunkt zu bestimmen.

Aus den Acten oder sonstigen authentischen Quellen habe ich bis jetzt keine Nachweisung über sein Verfahren erhalten können, es liegt aber eine Vermuthung nahe, welche eine sehr große Wahrscheinlichkeit für sich hat; nemlich diese, daß REINKE diejenigen Wasserstände, bei denen eine merkliche Einwirkung von Anschwellung der Ober-Elbe Statt fand, von seiner Rechnung ausgeschlossen habe. Hierzu war er vollkommen berechtigt aus dem Gesichtspunkte des Hamburgischen Schiffsverkehrs, so wie auch wegen der Beziehung des Hamburgischen Pegels zu dem Cuxhavener Pegel, denn die Anschwellungen der Ober-Elbe afficiren den Wasserstand zu Cuxhaven nicht merklich und haben für den Hamburgischen Schifffahrt-Verkehr nur ein ganz secundäres Interesse; der Letztere, welcher im Wesentlichen aus Seeschiffen besteht, trägt vielmehr den Begriff, welchen man in der Nähe der See mit dem Ausdrucke „ordinäre Ebbe“ verbindet, auch auf Hamburg über und versteht darunter eine solche Ebbehöhe, bei welcher Wind und Wetter keine Störung in der normalen Entwicklung der Meeresfluth herbeiführen, die aber auch andererseits nicht durch ungewöhnliche obere Zuflüsse gestört wird.<sup>1)</sup>

Dem Begriffe, den der Seefahrer mit den Worten „ordinäre Ebbe“ verbindet, entspricht der Hamburgische Nullpunkt, und

<sup>1)</sup> Beiläufig will ich bemerken, daß die unter Seeleuten sehr verbreitete Ansicht, daß durch hohes Oberwasser die Fluth zurückgehalten werde und deßhalb nicht so hoch werde als sie sonst geworden sein würde, irrig ist. Das Oberwasser hält den Fluthstrom zurück, es verkleinert auch den Unterschied zwischen Fluth und Ebbe, aber es erhöht das Niveau von Beiden.

deßhalb glaube ich, daß auch in diesem Falle REINKE durch einen gewissen practischen Tact auf das Richtige geleitet worden ist, vielleicht ohne gerade den innern Zusammenhang ganz klar zu durchschauen; denn wäre Letzteres der Fall gewesen, so würde sich in den noch vorhandenen Acten wohl eine Auskunft über sein Verfahren finden.

Aus allen vorstehenden Erörterungen, durch welche, wie ich glaube, der Gegenstand erledigt ist, gehen folgende Resultate hervor:

1. Es findet ein kleiner Unterschied zwischen dem REINKE'schen Nullpunkte von 1787 und dem jetzigen Nullpunkte des Hamburgischen Pegels Statt, indem der Letztere wahrscheinlich zwei bis drei Zoll niedriger liegt als der Erstere.

2. Es ist ein Unterschied zu machen unter den beiden Ausdrücken: „ordinäre“ Fluth und Ebbe und „mittlere“ Fluth und Ebbe. Nur in der Nähe der See oder an solchen Orten, wo die Mittelzahlen durch obere Zuflüsse nicht afficirt werden, bedeuten jene beiden Ausdrücke gleiche Höhenpunkte.

3. Die ordinäre Ebbehöhe ist das arithmetische Mittel aus den beobachteten Ebben, welche von Einwirkungen des oberen Stromes und des Eises frei sind.

Die mittlere Ebbehöhe ist das arithmetische Mittel aus allen beobachteten Ebben im eisfreien Strom.

4. Die ordinäre Ebbe ist die geeignetste Höhe für den Nullpunkt des Pegels, wenn dieser, wie zu Hamburg, für den Schifffahrtverkehr die Bedeutung des gewöhnlichen Niedrigwassers haben soll.

5. Obwohl die mittlere Ebbe zu Hamburg etwa 16 Zoll höher liegt als der jetzige Nullpunkt des Pegels, oder etwa 13 Zoll höher als der REINKE'sche Nullpunkt von 1787, so ist dennoch durchaus kein Grund vorhanden den Nullpunkt zu verändern, vielmehr würde dadurch nur die spätere Benutzung der reichen Schätze von Beobachtungen, welche wir besitzen, erschwert werden.

*Ergänzende Anmerkungen zu HÜBBES Aufsatz über „Erfahrungen und Beobachtungen im Gebiete der Strombaukunst“*

*(von Prof. Dr.-Ing. WINFRIED SIEFERT, Cuxhaven)*

Stellte HÜBBES Arbeit von 1842 den ersten Versuch dar, das Tidegeschehen in der Elbe in seinem komplexen Ablauf zu verstehen, so plante er mit diesem Werk, einen Gesamtüberblick über die „Strombaukunst“ der damaligen Zeit zu beginnen. Wie in seinem Vorwort ausgeführt, stellt es den ersten von vier geplanten Teilen dar. Die vorstehend ausgewählten Kapitel beschäftigen sich mit dem Stromspaltungsgebiet der Elbe in Hamburg in allgemeiner Form. Sie zeigen aber deutlich, daß man dem Phänomen der Stromteilung bei Bunthaus und der Bedeutung der Wassermengenverteilung in Norder- und Süderelbe für die Schifffahrt sehr starke Beachtung schenkte. Nicht zufällig hatte WOLTMAN seinen „Strömungsmeß-Apparat“ erstmals bei Bunthaus eingesetzt.

Interessant auch ist die Akribie, mit der HÜBBE zu Werke ging (und die sich später auch bei LENTZ zeigte), als er Beobachtungen von REINKE nachrechnete, was ihn in § 4 zu einem Kommentar veranlaßte, wie man ihn in heutigen Veröffentlichungen (leider) kaum noch findet. Dasselbe gilt für die wiedergegebene Widmung. Ich meine, unsere Literatur ist ohne solche Bemerkungen ärmer geworden.

Der Autor veröffentlichte seine Arbeit 16 Jahre nach seiner Berufung zum Wasserbau-direktor in Hamburg. So konnte er die 1842 schon zusammengestellten Erkenntnisse ergänzen durch weitere Erfahrungen „vor Ort“ und durch Meßdaten bis einschl. 1852. Spätestens diese Arbeit wird die Notwendigkeit gezeigt haben, entlang der Elbe ein Nivellement auszuführen, um endlich die Pegelnullprodukte von Hamburg bis Cuxhaven zueinander in Beziehung setzen zu können. Dieses Nivellement nahm LENTZ dann tatsächlich 1854/55 vor.

Die drei übrigen, im Vorwort genannten „Abtheilungen“ hat HÜBBE nicht mehr veröffentlicht oder veröffentlichen können. Dazu haben sicherlich seine öffentliche Abmahnung und seine Amtsenthebung 1856 beigetragen. HÜBBE war fraglos einer der führenden Wasserbauer seiner Zeit, war Ritter eines österreichischen und eines preußischen Ordens, Mitglied des Architekten-Vereins Berlin und der Hamburgischen Mathematischen Gesellschaft, aber er war auch ein politisch engagierter Zeitgenosse. In der unruhigen Zeit nach 1848 verfaßte er politische Schriften, deren Inhalt seine Vorgesetzten zu o. g. Schritt veranlaßt hatten. Zwar endete der Prozeß gegen ihn 1863 mit Freispruch, als Resultat aber blieb, daß Hamburg auf die Mitarbeit eines seiner fähigsten Männer verzichtet hatte.

## Ueber Stromcorrectionen im Fluthgebiet<sup>1)</sup>

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

---

<sup>1)</sup> Erschienen in Hamburg 1856

Inhalts-Verzeichniß<sup>1)</sup>

|   |     |
|---|-----|
| <b>Vorwort</b> . . . . .  | 095 |
| <b>Erster Abschnitt.</b> Die Fluthwelle nach ihrem Eintritt in die Strommündung . . . . . | 097 |
| <b>Zweiter Abschnitt.</b> Anordnung der Correctionswerke . . . . .                        | 101 |
| <b>*) Dritter Abschnitt.</b> Nähere Betrachtung einzelner Fälle . . . . .                 |     |
| <b>Ströme in England</b> . . . . .  |     |
| River Clyde . . . . .   |     |
| » Severn . . . . .  |     |
| » Avon . . . . .  |     |
| » Tyne . . . . .  |     |
| » Mersey . . . . .  |     |
| » Thames . . . . .  |     |
| » Humber . . . . .  |     |
| Einige andere Flüsse in England . . . . .   |     |
| <b>Ströme im nördlichen Frankreich</b> . . . . .  |     |
| Die Seine . . . . .   |     |
| » Loire . . . . .   |     |
| <b>Ströme in den Niederlanden</b> . . . . .   |     |
| Die Schelde . . . . .   |     |
| Der Rhein und die Maaß . . . . .  |     |
| Die Merwede . . . . .   |     |
| <b>Tide-Ströme in Deutschland</b> . . . . .   |     |
| <b>Anmerkungen zum dritten Abschnitt</b> . . . . .  |     |
| 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 . . . . .   |     |

---

<sup>1)</sup> 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 . . . . .              |     |
| <b>Anhang.</b> 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 Verhältnis 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.

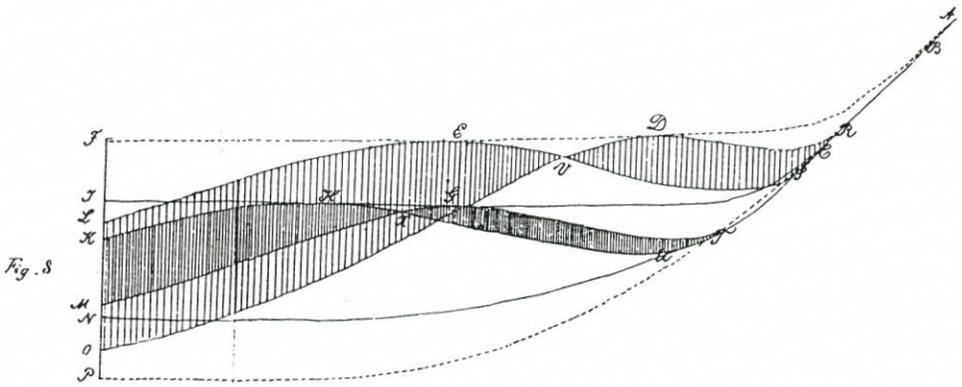
## Zweiter Abschnitt

### 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.

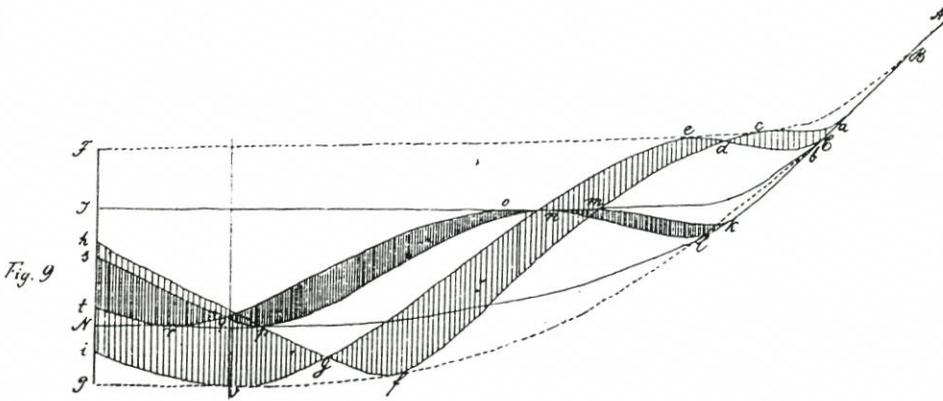
Anders sind die Verhältnisse im Fluthgebiet der Ströme. Das durch den oberen Strom gelieferte Wasserquantum wird hier vermehrt durch das einströmende Fluthwasser, und Letzteres überwiegt das Erstere um so mehr, je weiter man sich der Mündung nähert. Dies Fluthwasser hat aber nicht, wie das Wasser des 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 *tsqr* 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 verwildeter 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 hinausführte. 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

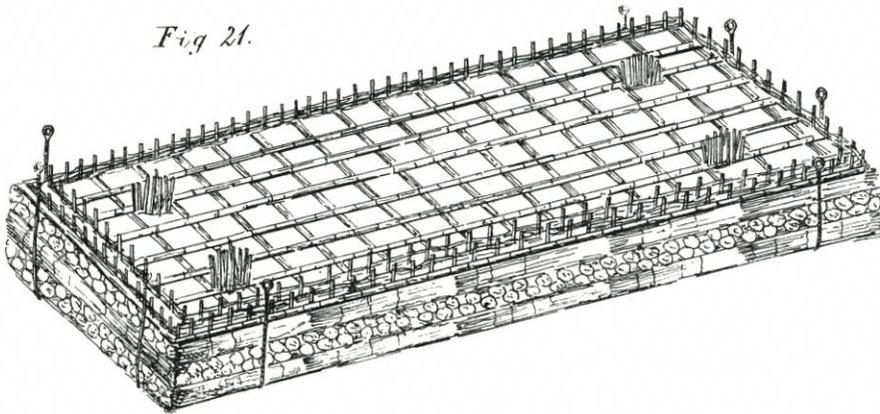
In der mittleren Parthie der deutschen Ströme findet in allen den Gegenden, wo das Steinmaterial mangelt, fast ausschließlich der Packwerksbau beim Bau der Regulirungswerke Anwendung; er besteht bekanntlich darin, daß man auf der Oberfläche des Wassers schwimmende, im Allgemeinen trapezförmige Lagen 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.*

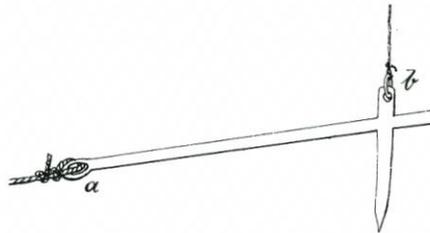


Nachdem das Sinkstück durch die Fluth flott geworden ist, wird es an vorher ausgelegten Ankern nach dem durch Fluchtbaaken oder auf andere Weise genau bezeichneten Orte transportirt, wo es versenkt werden soll. Nun werden, kurz vor Hochwasser, die mit Belastungsmaterial beladenen Fahrzeuge – es sind 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 Anker 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 aufgehängt, 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 Bühnen 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 Bühnen 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 Bühnenfeldern 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.

## Ueber die Eigenschaften und das Verhalten des Schlicks<sup>1)</sup>

Von HEINRICH HÜBBE

Diejenige Art der Sinkstoffe, welche man allgemein mit dem Namen Schlick bezeichnet, besteht aus sehr feinen, einzeln kaum wahrnehmbaren Theilchen, welche im angefeuchteten Zustande zusammenkleben, mit größerer Wassermenge vermischt die Gestalt eines halbflüssigen Breies annehmen und in noch größerer bewegter Wassermenge sich gleichmäßig vertheilen, so daß zuletzt ihr Vorhandensein nur noch an der trüben Färbung des Wassers erkannt wird. Bei dauernder Ruhe findet bekanntlich Ablagerung des Schlicks und völlige Klärung des Wassers statt. An der Luft getrocknet erhärtet der Schlick zu einer ziemlich festen Masse, die aber leicht mechanisch zerkleinert und zu Staub zerrieben werden kann. Als abgelagerte, natürliche Schicht des Erdbodens in den Flußthälern und Meerbusen wird derselbe mit dem Namen Marsch-Erde, Klei-Erde auch Klei, Letten, Thon bezeichnet.

Die Entstehung des Schlicks ist auf zwei ganz verschiedene Ursachen zurückzuführen, nämlich theils auf die Verwitterung der Gesteine und die von den fließenden Gewässern an den Ufern und auf dem Boden der Flußbetten ausgeübte Friction, theils auf das Leben und Absterben von Infusorien, deren Schalen oder Panzer, nach EHRENBURG'S Entdeckung, einen erheblichen Theil der Schlickmasse ausmachen. Ueber die relative Ergiebigkeit dieser beiden Prozesse der Schlickbildung lassen sich im Allgemeinen keine sicheren Behauptungen aufstellen; jede einzelne Oertlichkeit wird hierin ihre eigenthümlichen Verhältnisse darbieten. Für gewiß halte ich es, daß in den noch vom Meere beherrschten Stromgebenden den organischen Bildungen ein nicht geringer Antheil an der Schlickmasse zukomme, denn die mikroskopische Betrachtung zeigt schon bei mäßiger Vergrößerung auffallende Verschiedenheiten zwischen dem Schlick aus der Nähe der See und demjenigen vom oberen Strome. Ueberall aber, also auch im untern Stromgebiete und am Meere, erhält die im Wasser befindliche Schlickmasse dadurch einen erheblichen Beitrag, daß die von Strom und Wellen bewegten Sandkörner sich an einander reiben und abschleifen. Das auf diese Weise entstehende Schleifmehl geht, sobald die Stücke fein genug sind um nicht selber wieder für Sandkörner zu gelten, in die allgemeine Schlickmasse über.

Ueber das specifische Gewicht des Schlicks findet man in den der Praxis gewidmeten Schriften sehr von einander abweichende Angaben; dies hat seinen Grund darin, daß die Untersuchungen sich meistens auf Proben beziehen, bei denen ein nicht näher angegebener Grad von Feuchtigkeit stattfand.

BRAHMS (Th. I, C. 4, § 15), mit welchem WOLTMAN (Beitr. Th. III, S. 197) übereinstimmt, giebt das specif. Gewicht der „Kleierde“ = 1,875 an; diese Angabe entspricht nach meinen Untersuchungen dem Maximum, welches bei Mischungen von trockenem Schlickstaub und Wasser zu erreichen ist. In Ackerbauschriften finde ich Angaben für „reinen Thon“ bis zum „Letten“ von 2,452 bis 2,702; diese Werthe sind, wenn man nach dem gewöhnlichen Wortverstande die Zwischenräume zwischen den Theilchen mitrechnet, viel zu groß, sie entsprechen ungefähr dem von mir = 2,43 gefundenen specif.

---

<sup>1)</sup> Aus: Zeitschr. f. Bauwesen, Jg. 10, 1860

Gewichte der trocknen Schlicksubstanz selbst, ohne die Zwischenräume zwischen den Theilchen mitzurechnen.

Es ist für die Praxis von Wichtigkeit, daß man mit Leichtigkeit und Sicherheit von beobachteten Gewichtverhältnissen zwischen Schlick und Wasser zu Raumverhältnissen übergehen könne, denn die Messungen des in der Natur vorkommenden Trüben im Wasser liefern uns stets nur Zahlen, die sich auf Gewicht beziehen, und wir können für die Anwendung dieser Resultate auf die Lösung praktischer Fragen, z. B. Aufschlickung von Häfen und dergl., der Raumverhältnisse nicht entbehren. Wir bedürfen dazu zunächst einer zuverlässigen Bestimmung des specifischen Gewichts der Substanz der Schlicktheilchen, abgesehen von den zwischen den Theilchen befindlichen, mit Luft oder Wasser gefüllten Zwischenräumen. In Betracht der Wichtigkeit der hieran sich knüpfenden Folgerungen habe ich den betreffenden Experimenten, die wegen der eigenthümlichen Beschaffenheit des Materials sehr mühsam sind, die größtmögliche Sorgfalt gewidmet, um dieselben so zu arrangiren, daß sie volles Licht über die Sache verbreiten und eine hinlängliche Genauigkeit der Resultate verbürgen.

Mein Verfahren war folgendes: Als nach dem Ablaufe einer andauernden Hochfluth der Ober-Elbe im Jahre 1854 die Vorländer ausgedehnte, frische Schlickablagerungen darboten, fand ich auf einem im vorhergegangenen Herbste mit reinem Baggersande bedeckten Vorlande eine zur Untersuchung besonders geeignete, eben abgetrocknete Schlickschicht. Dieselbe war, wie gesagt, das Product einer einzigen Anschwellung des Stromes. Noch von keiner neuen Vegetation berührt und durch den darunter liegenden Baggersand völlig von der älteren Vegetation getrennt, war dieselbe ein unverfälschtes Specimen von dem „Geschenk des Flußes“, das diese Hochfluth dem Stromthale zugeführt hatte. Von dieser etwa  $\frac{1}{4}$  Zoll dicken Schicht nahm ich mehrere Stücke auf und bewahrte sie zur gelegentlichen Untersuchung in verschlossenen gläsernen Gefäßen. Noch in demselben Jahre bestimmte ich nach einem dieser Stücke das specifische Gewicht der Substanz mittelst eines sorgfältigen Experimentes, und fand dasselbe = 2,437. Es sind mir aber die nähern Nachweisungen über jene Untersuchungen verloren gegangen, und sind deshalb nach den übrigen Probestücken wiederholte Versuche gemacht, über welche Folgendes zu bemerken ist.

Der Schlick ward pulverisirt, durch ein feines Sieb von Sandkörnern, Klümpchen und dergl. befreit und bei  $80^{\circ}$  R. getrocknet, das benutzte Wasser war filtrirtes Regenwasser, die Temperatur bei den Experimenten ist zu  $16^{\circ}$  R. anzunehmen, wobei 1 hamburgischer Cubikzoll Wasser = 13,57 Grammen wiegt. Waage und Gemäße gestatteten Bestimmungen auf Centigrammen genau, auf Milligrammen annähernd; die Gemäße waren von Repsold für hamburgisches Maaß gefertigt, und ich habe in den folgenden Nachweisungen über die angestellten Versuche die auf dieses Maaß bezüglichen Zahlen unverändert stehen lassen, jedoch da, wo es nützlich schien, Reductionen auf preußisches (rheinländ.) Maaß beigefügt. Der hamburgische Fuß verhält sich zum preußischen wie 1 : 1,0952; cubisch wie 1 : 1,31366.

Die Ergebnisse der zur Ermittlung des specifischen Gewichts angestellten Experimente waren folgende: *(Siehe Tabelle auf Seite 127 oben.)*

Unter Mitberücksichtigung der oben erwähnten Untersuchung vom Jahre 1854 ergibt sich als Mittelwerth des specif. Gewichts 2,426, wofür ich 2,43 setze.

Zu bemerken ist noch, daß der Zweck des mit einer feineren Waage gemachten Experimentes IV insbesondere darauf gerichtet war, einen Zweifel zu heben, der durch G. ROSE, Abhandl. über d. Fehler, welche bei Bestimmungen d. specif. Gew. d. Körper entstehen, wenn man dieselben im Zustande der feinsten Vertheilung wägt (Poggend. Ann. Bd. 73, Jahrg. 1848) angeregt war, und der sich auf die von ROSE vermuthete Fähigkeit der Körper

| Nr.<br>des Versuchs. | Absolutes Gewicht in<br>1 Cubikzoll hamb.<br>der Versuchsmischung.<br>Grammen |                 | Gewichtverhältniß<br>zum<br>Gesamten |        | Ein Cubikzoll<br>hamb.   preufs.<br>wiegt<br>Grammen |       | Specifi-<br>sches Ge-<br>wicht der<br>Schick-<br>theilchen<br>$\frac{p'}{13,57 - p''}$ | Beschaffenheit<br>der<br>Mischung. |
|----------------------|---|-----------------|--------------------------------------|--------|--|-------|--|------------------------------------|
|                      | Schlickstaub<br>$p'$  | Wasser<br>$p''$ | Schlick                              | Wasser | $P'$   | $P$   |  |                                    |
|                      |   |                 |                                      |        |  |       |  |                                    |
| I                    | 5,00  | 11,50           | 0,303                                | 0,697  | 16,50  | 21,67 | 2,42   | Flüssig                            |
| II.                  | 8,64  | 10,00           | 0,463                                | 0,537  | 18,64  | 24,49 | 2,42 ✓   | Halbflüssiger Schlamm.             |
| III                  | 12,44   | 8,46            | 0,595                                | 0,405  | 20,90  | 27,43 | 2,43   | Steifer Schlamm.                   |
| IV. *)               | 14,763  | 7,488           | 0,663                                | 0,337  | 22,251   | 29,23 | 2,424  | Fette Kleierde.                    |

bezog, in sehr fein vertheiltem Zustande das Wasser zu verdichten. Es ergab sich, daß innerhalb der mit meinen Mitteln erreichbaren Grenzen der Genauigkeit eine derartige Wirkung nicht erkennbar wird.

Mit Hilfe dieser Bestimmung des specif. Gewichts der Schlicksubstanz ist es leicht, von beobachteten Gewichtverhältnissen zu Raumverhältnissen überzugehen. So enthielten z. B. nach meinen Messungen der Schlickmenge der Ober-Elbe im Durchschnitt 100 000 Gewichttheile Wasser 3,17 Gewichttheile Schlick, d. h. also nach Vorstehendem: auf  $100\,000 \cdot \frac{2,43}{3,17} = 76\,656$  Raumtheile Wasser kam 1 Raumtheil Schlick, oder auf 100 000 Raumtheile Wasser 1,304 Raumtheile Schlick.

Diese Zahlen beziehen sich, wie erwähnt, auf vollkommen getrocknete Schlicktheilchen, ohne alle Zwischenräume gedacht, mithin in einem Zustande, wie sie in der Natur nicht vorkommen. Um eine praktisch anwendbare Regel zu erhalten, nach welcher man das Raumverhältniß natürlicher Schlickablagerungen, Kleischichten und dergl. aus beobachteten Gewichtverhältnissen ableiten könne, dienen die folgenden Untersuchungen.

Nennt man  $P'$  das absolute Gewicht eines Cubikzolls hamburgisch von einer gegebenen Mischung von Schlickstaub und Wasser, und berücksichtigt, daß bei meinen Versuchen 1 Cubikzoll Wasser 13,57 Grammen wog, so läßt sich die Formel aufstellen

$$P' = 2,43 \cdot 13,57 - 1,43 p'',$$

wo  $p''$ , wie in vorstehender Tabelle, das in der Mischung enthaltene Wassergewicht bedeutet. Substituirt man nun für  $p''$  nach und nach  $0,9P'$ ,  $0,8P'$ ,  $0,7P'$  u. s. w., so erhält man eine Reihe von Werthen für  $P'$ , welche, sofern nicht andre Umstände hinzukommen, die in der eigenthümlichen Beschaffenheit des Schlicks und des Wassers ihren Grund haben und bisher noch nicht berücksichtigt waren, das absolute Gewicht von 1 Cubikzoll hamb. von den Mischungen angeben müssen, in denen resp.  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{2}{10}$ ,  $\frac{3}{10}$  u. s. w. des Gewichtes aus Wasser und das Uebrige aus Schlicksubstanz besteht. Durch Versuche überzeugt man sich aber leicht, daß die nach dieser Formel berechneten Werthe nicht für alle Mischungen mit der Wirklichkeit übereinstimmen. Man vermenge z. B. 9 Gewichttheile trocknen Schlickstaub mit 1 Gewichttheil Wasser, und wäge die Mischung nachdem sie möglichst fest gestampft worden, so wird man das Gewicht von 1 Cubikzoll hamb. nur 19 Grammen finden, während nach obiger Formel für dieses Mischungsverhältnis  $P' = 28,85$  wird. Setzt man gar  $p'' = \text{Null}$ , so findet man in Wirklichkeit 14,20 Grammen als das Gewicht von 1 Cubikzoll hamb. des trocknen, möglichst dicht zusammengeschüttelten Schlickstaubes, während für diesen Fall die Formel  $P' = 32,97$  giebt. Für  $p'' = 0,2$  trifft das wirkliche Gewicht mit dem nach der Formel berechneten nahe zusammen, und für alle größeren Werthe von  $p''$  stimmen beide überein. Die Ursache dieser anscheinenden Anomalie ist leicht einzusehen, wenn in Betracht gezogen wird, daß die obige

Formel auf der Voraussetzung beruht, daß alle Zwischenräume zwischen den Schlicktheilchen wirklich vom Wasser angefüllt seien; diese Voraussetzung ist aber nur dann zulässig, wenn das in der Mischung enthaltene Wasserquantum dazu groß genug ist, nicht aber, wenn dieses Wasserquantum kleiner ist als der Rauminhalt sämtlicher Zwischenräume bei möglichst dichter Lage der Schlicktheilchen. Demnach ist es ganz naturgemäß, daß die obige Formel nur bis zu einem gewissen Mischungsverhältniß mit der Wirklichkeit übereinstimmt. Um nun, wie es für die Praxis von Interesse ist, das specifische Gewicht beliebiger Mischungen von Schlick und Wasser durch geeignete Formeln auszudrücken, ist eine zuverlässige Bestimmung des Rauminhaltes der Summe der Zwischenräume, bei möglichst dichter Lage der Schlicktheilchen, oder was dasselbe sagt, das Verhältniß der Zwischenräume zum ganzen Raume, welchen die Schlicktheilchen bei ihrer dichtesten Lagerung einnehmen, erforderlich.

Durch Versuche habe ich gefunden, daß die schwerste Mischung aus Schlick und Wasser, welche ich künstlich hervorbringen konnte, dem Gewicht nach aus 0,784 Schlick und 0,216 Wasser bestand. Ein hamb. Cubikzoll dieser Mischung wog 25,35 Grammen; das specifische Gewicht derselben war 1,86; ihre Beschaffenheit ist diejenige einer ziemlich trocknen brüchigen Kleierde, die nur nach langer Bearbeitung sich zur Noth formen läßt. Bei 80° R. getrocknet, wiegt davon 1 Cubikzoll hamb. 19,874 Grammen, das specifische Gewicht ist dann = 1,46 und die Masse hat Aehnlichkeit mit einem sehr dicht gestrichenen Luftziegel. Dieses Experiment ist in die weiter unten folgende übersichtliche Tabelle sub No. V aufgenommen, wo eine Reduction auf preußisches Maaß sich beigefügt findet.

Durch natürliche Ablagerung können die Schlicktheilchen noch etwas, aber nicht viel dichter zusammengedrängt werden<sup>1)</sup>; ich fand nämlich das specifische Gewicht eines Stückes der oben beschriebenen natürlichen Schlickschicht vom Jahre 1854, nachdem dasselbe bei 80° R. getrocknet war, = 1,477, woraus das absolute Gewicht von 1 hamb. Cubikzoll = 20,04 Grammen folgt.

Nach diesen beiden Versuchen und mit Berücksichtigung des specifischen Gewichts der dichten Schlicksubstanz = 2,43, ergibt sich die Größe der Zwischenräume zwischen den Schlicktheilchen im Verhältniß zum ganzen Raum, nämlich:

$$\text{bei der künstlichen Mischung} = \frac{2,43 - 1,46}{2,43} = 0,399.$$

$$\text{bei der natürlichen Mischung} = \frac{2,43 - 1,477}{2,43} = 0,392.$$

Für alle praktischen Zwecke kann hiernach angenommen werden, daß in einer möglichst dicht gelagerten Schlickmasse die Summe der Zwischenräume = 0,4 oder  $\frac{2}{5}$  des ganzen Raumes betrage.

Der Raum, den die Schlicksubstanz selbst, oder das, was bei den Wägungen für Schlick gerechnet ist, einnimmt, verhält sich also, bei der dichtesten Lagerung, zu den Zwischenräumen wie 3 : 2. Wenn nun das in einer Mischung enthaltene Wasser gerade ausreicht, um diese Raumgröße zwischen den Schlicktheilchen auszufüllen, so wird das specifische Gewicht der Mischung ein Maximum und = 1,86. Bei weiterer Verdünnung durch Zusatz eines größern Wasserquantums nimmt das specifische Gewicht ab bis zum Grenzwerte für reines Wasser =

<sup>1)</sup> Es ist hier immer nur von Gebilden der gegenwärtigen geologischen Periode die Rede, und versteht sich von selbst, daß unter dem Drucke mächtiger aufliegender Schichten und Mitwirkung chemischer Umwandlungen dichtere Lagen der Theilchen stattfinden können, auch beweist dies das specif. Gewicht vieler Gesteine. Diese Verhältnisse stehen aber bei der vorliegenden Untersuchung nicht in Frage.

1; bei größerer Trockenheit, wegen geringeren Wasserzusatzes, nimmt das spezifische Gewicht ebenfalls ab bis zum Grenzwerte 1,046, welcher dem spezifischen Gewicht des durch Rütteln und Drücken dicht gelagerten trocknen Schlickstaubes entspricht. Im letzteren Zustande ist die Summe der Zwischenräume = 0,57 des ganzen Raumes, also mehr als die Hälfte desselben. Diese Daten für trocknen Schlickstaub sind durch einen Versuch ermittelt, der in der übersichtlichen Tabelle unter No. VI aufgeführt ist.

Es würde für die Wissenschaft von Interesse sein, zu untersuchen, nach welchem Gesetze die Annäherung der Schlicktheilchen an einander zunimmt, wenn man trocknen Schlickstaub nach und nach durch Anfeuchtung in feste Kleierde umwandelt. Meine Hilfsmittel waren zur Messung der dabei in Betracht kommenden sehr feinen Unterschiede nicht ausreichend. Wenn es übrigens auch keinem Zweifel unterworfen ist, daß die Annäherung der Theilchen Anfangs nur unvollkommen, nachher aber immer rascher bewirkt wird, so hat doch dies für die Praxis keine Bedeutung, und es darf die zur Vereinfachung der Formel dienende Voraussetzung gemacht werden, daß die Annäherung der Theilchen an einander vom Zustande der völligen Trockenheit bis zu demjenigen der größten Dichtigkeit in demselben Verhältnisse fortschreite, in welchem der Zusatz von Wasser zur Masse stattfindet.

Aus allem Gesagten geht hervor, daß man verschiedene Arten von Mischungen aus Schlick und Wasser unterscheiden muß, nämlich:

- 1) solche Mischungen, welche weniger Wasser enthalten, als die natürlichen Zwischenräume zwischen den Schlicktheilchen bei der dichtesten Lagerung aufnehmen können. Diesen Mischungen fehlt die Eigenschaft der Klebrigkeit ganz, sie lassen sich nicht formen, können brüchig, leicht zerfallend oder staubartig sein;
- 2) solche Mischungen, die mehr Wasser enthalten, als die Zwischenräume bei der dichtesten Lage aufnehmen können; dazu gehören alle Mischungen von fester Kleierde bis zum klaren Wasser. Dieselben können also hart, plastisch, weich, schlammig, halbflüssig und ganz flüssig sein;
- 3) diejenige Mischung, welche die Grenze zwischen jenen beiden bildet; es ist dies die festeste Kleierde, deren spezifisches Gewicht größer als irgend einer andern dieser Mischungen, und wie bereits bemerkt = 1,86 ist.

Es sei nun für eine beliebige Maaß-Einheit:

$P$  das absolute Gewicht der Mischung,

$nP$ , wo  $n < 1$  und positiv ist, das absolute Gewicht des in der Mischung enthaltenen Wassers, also

$(1 - n)P$  das absolute Gewicht des darin enthaltenen Schlicks, und

$p$  das absolute Gewicht einer Maaß-Einheit Wasser;

so ist

$\frac{P}{p} = G$  das spezifische Gewicht der Mischung.

Nun ist aber nach dem Vorstehenden:

das spezifische Gewicht der Schlicktheilchen an sich = 2,43; es ist ferner

für  $n = 0,216$ , das in der Mischung enthaltene Wasser gerade ausreichend, um die natürlichen Zwischenräume auszufüllen; auch ist, wenn  $m$  die Summe dieser Zwischenräume bezeichnet,

für  $n = 0,216$  (d. h. für den Zustand der dichtesten Lagerung der Theilchen)  $m = 0,4$ , und

für  $n = \text{Null}$ , d. h. für den Zustand des trockenen, gelagerten Staubes,  $m = 0,57$ ; schließlich wird angenommen, daß der Übergang von  $m = 0,57$  zu  $m = 0,4$  in demselben Verhältnisse statfinde, in welchem  $n$  von Null bis 0,216 wächst, daß man also zwischen diesen Grenzen setzen könne  $m = 0,57 - 0,79n$ , so hat man

$$G = \frac{2,43 (1-m)}{1-n} = \frac{1,045 + 1,92 n}{1-n} \dots\dots\dots (I)$$

und

$$G = \frac{2,43}{1 + 1,43 n} \dots\dots\dots (II)$$

Die Formel (I) gibt das spezifische Gewicht von Mischungen, welche wenig Wasser enthalten, bis einschließlich trocknen Schlickstaub;  $n = 0,216$  bis  $n = \text{Null}$ .

Die Formel (II) gibt das spezifische Gewicht für Mischungen, die mehr Wasser enthalten bis einschließlich reines Wasser;  $n = 0,216$  bis  $n = 1$ . Sie ist für die Praxis am wichtigsten.

Für die festeste Kleierde, in der das Wasser gerade die auf den kleinsten Raum gebrachten Zwischenräume ausfüllt, passen beide Formeln, indem sie für  $n = 0,216$  beide denselben Werth  $G = 1,86$  geben.

Außer den im Vorhergehenden sub No. I bis VI aufgeführten Hauptexperimenten, welche mit größter Sorgfalt ausgeführt sind und auf denen die Formeln beruhen, haben mir bei der Untersuchung dieses Gegenstandes zahlreiche Nebenexperimente Gelegenheit gegeben, die verschiedensten Mischungsverhältnisse von Schlick und Wasser wiederholt und anhaltend vor Augen und unter Händen zu haben, so daß sich leicht die in der Baupraxis gebräuchlichen Benennungen: flüssig, halbflüssig, Schlamm, Teig, Kleierde, weich, zähe, hart, brüchig, u. s. w. mit bestimmten Mischungsverhältnissen, deren Eigenschaften ich jenen Benennungen entsprechend fand, in Verbindung bringen ließ. Die hierauf bezüglichen Bemerkungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, und zugleich, neben den aus Versuchen durch Wägung von 1 Cubikzoll hamb. gefundenen und mit  $G'$  bezeichneten Werthen des spezifischen Gewichtes, die nach obigen Formeln berechneten, mit  $G$  bezeichneten Werthe angegeben. Aus diesen letzteren sind die auf preußisches Maaß reducirten absoluten Gewichtsbestimmungen abgeleitet, welche der Tabelle in den letzten beiden Columnen beigefügt sind. Für den praktischen Gebrauch dürften die mit  $P$  bezeichneten Gewichte von 1 Cubikfuß preußisch in metrischen Pfunden am bequemsten sein.

Es ist sehr überraschend, wie ungemein eng die Grenzen sind, zwischen denen die Eigenschaft der Klebrigkeit sich bemerkbar macht; eine Mischung, die ungefähr zu  $\frac{2}{3}$  des Gewichts aus Schlick und zu  $\frac{1}{3}$  aus Wasser besteht, zeigt den höchsten Grad dieser Eigenschaft, ändert aber ihre Beschaffenheit sehr schnell, wenn ihr nur ein geringer Grad von Feuchtigkeit zugesetzt oder entzogen wird.

Zur Veranschaulichung können die Figuren 1 und 2 dienen, die einer weiteren Erläuterung nicht bedürfen.

Fig. 1. Spezifisches Gewicht der Mischungen von Schlack u. Wasser.

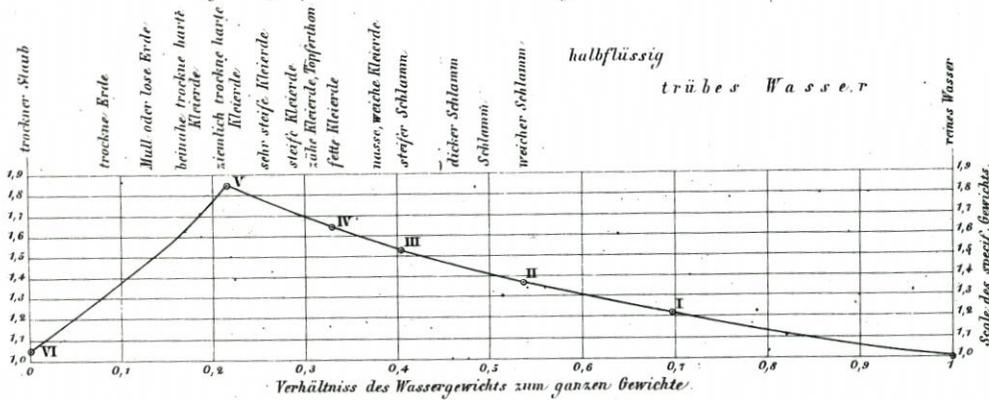
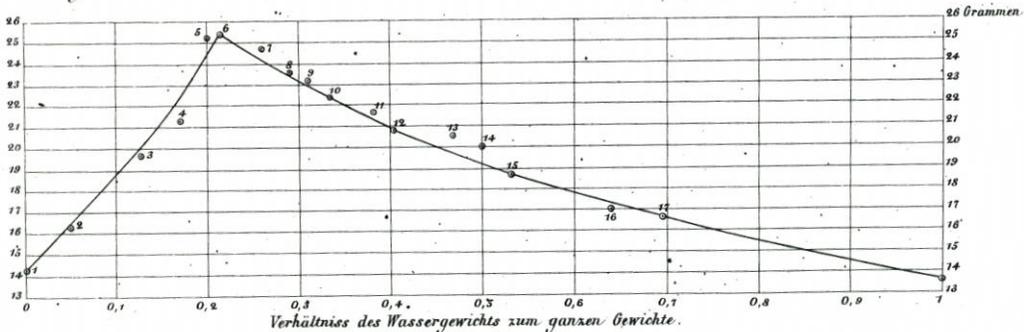


Fig. 2. Absolutes Gewicht von 1 Cubikzoll Hamb. = 0,761 Cubikzoll preufs. in Grammen.



Umstehende Tabelle giebt eine Uebersicht der Resultate aus Versuchen mit verschiedenen Mischungen von Wasser und Schlack.

In derselben ist:

$n$  = Verhältniss des Gewichts des in der Mischung enthaltenen Wassers zum Gewicht der Mischung,

$\frac{n}{1-n}$  = Verhältniss des Wassergewichts zum Schlackgewicht in der Mischung,

$P'$  = absolutes Gewicht von 1 Cubikzoll hamb. der Mischung in Grammen, gewogen,

$G' = \frac{P'}{13,57}$  = spezifisches Gewicht der Mischung, durch Wägung,

13,57 = Gewicht von 1 Cubikzoll hamb. Wasser, in Grammen,

$G$  = spezifisches Gewicht der Mischung nach den Formeln berechnet.

Aus den im Nachstehenden enthaltenen Daten lassen sich für die Praxis dienliche Regeln in verschiedenen Formen ableiten; für die hierher gehörige Hauptfrage aus dem Gebiete des Strom- und Hafenaues, nämlich: wie groß die Höhe einer abgelagerten Schlackschicht sei, welche durch Abklärung eines trüben Gewässers von gegebenem Schlackgehalte und bekannter Wassertiefe gebildet werde? gilt folgende Formel: (Sie folgt nach der Tabelle.)

| No.<br>Fig. 1.  | Fig. 2. | $n$   | $\frac{n}{1-n}$ | $P'$   | $G'$  | $G$   | Auf<br>preussisches<br>(rheinl.) Maafs<br>reducirt.<br>Absolutes Gewicht<br>von<br>1 Cubik-   1 Cubik-<br>zoll in   zoll in<br>Grammen.   Metr. Pfd. | $P$   | Bemerkungen.   |                |
|---|---------|-------|-----------------|--------|-------|-------|--|-------|--|----------------|
| 1. Trockne und nahezu trockne Mischungen; $G = \frac{1,045 + 1,92n}{1-n}$ |         |       |                 |        |       |       |  |       |  |                |
| VI.   | 1.      | 0     | 0               | 14,2   | 1,046 | 1,045 | 18,63  | 64,4  | Trockner Staub; liegt seitwärts unter dem Stampfer heraus, läßt sich nur mittelst Erschütterung des Gefäßes dicht lagern.  |                |
|   | 2.      | 0,05  | 0,053           | 16,2   | 1,194 | 1,201 | 21,41  | 74,0  | Trockne Erde; läßt sich nur mit Vorsicht stampfen ohne aufzufliegen.   |                |
|   | 3.      | 0,13  | 0,149           | 19,7   | 1,452 | 1,489 | 26,54  | 91,7  | Mull oder lose Erde; in leicht zerreibliche Klümpchen zusammenballend.   |                |
|   | 4.      | 0,17  | 0,205           | 21,21  | 1,563 | 1,652 | 29,45  | 101,8 | Harte, fast trockne Kleierde; ist brüchig, läßt sich noch nicht formen, aber schon mit dem Messer blank reiben.  |                |
|   | 5.      | 0,20  | 0,25            | 25,2   | 1,857 | 1,786 | 31,84  | 110,0 |  |                |
| V.  | 6.      | 0,216 | 0,276           | 25,35  | 1,868 | 1,862 | 33,20  | 114,7 | Ziemlich trockne, harte Kleierde; läßt sich nach langer Bearbeitung zur Noth formen.   |                |
| 2. Feuchte und nasse Mischungen; $G = \frac{2,43}{1 + 1,43n}$             |         |       |                 |        |       |       |  |       |  |                |
| V.  | 6.      | 0,216 | 0,276           | 25,35  | 1,868 | 1,862 | 33,20  | 114,7 | Wie oben bemerkt.  |                |
|   | 7.      | 0,26  | 0,351           | 24,8   | 1,816 | 1,771 | 31,57  | 109,1 | Sehr steife Kleierde; klebt nicht am Geräth, läßt sich schon formen und schneiden, ist aber noch brüchig und schwer zu bearbeiten  |                |
|   | —       | —     | —               | 24,5   |       |       |  |       |  |                |
|   | 8.      | 0,29  | 0,408           | 23,5   | 1,75  | 1,717 | 30,61  | 105,8 | Steife Kleierde; wenig klebend, schwer zu bearbeiten.  |                |
|   | 9.      | 0,31  | 0,449           | 23,2   | 1,71  | 1,684 | 30,02  | 103,7 | Zähe Kleierde, wie zubereiteter Töpferthon; etwas klebend, consistenter, gut zu bearbeitender Teig.  |                |
| IV.   | 10.     | 0,337 | 0,508           | 22,251 | 1,64  | 1,64  | 29,23  | 101,0 | Fette Kleierde; weicher Teig, ist kaum zu bearbeiten, weil er wie Pech klebt.  |                |
|   | 11.     | 0,38  | 0,613           | 21,75  | 1,603 | 1,575 | 28,08  | 97,0  | Nasse Kleierde; weicher, klebender Teig, der sich noch formen läßt.  |                |
| III.  | 12.     | 0,405 | 0,681           | 20,9   | 1,54  | 1,539 | 27,44  | 94,8  | Steifer Schlamm; weicher Teig, der sich kaum noch formen läßt.   |                |
|   | 13.     | 0,47  | 0,887           | 20,5   | 1,511 | 1,453 | 25,90  | 89,5  | Dicker Schlamm; läßt sich noch etwas ziehen, aber nicht mehr beliebig formen.  |                |
|   | 14.     | 0,5   | 1,000           | 20,0   | 1,47  | 1,417 | 25,26  | 87,3  | Schlamm; wie frische Schlickablagerung bei der Ebbe.   |                |
| II.   | 15.     | 0,537 | 1,160           | 18,64  | 1,374 | 1,374 | 24,50  | 84,7  | Weicher Schlamm; läßt sich noch etwas häufen, ohne sofort wieder zu zerfließen.  |                |
|   | 16.     | 0,641 | 1,785           | 17,0   | 1,253 | 1,268 | 22,60  | 78,1  | Halbflüssig, dickflüssig.  |                |
| I.  | 17.     | 0,697 | 2,300           | 16,5   | 1,216 | 1,217 | 21,69  | 75,0  | Alle diese Mischungen nehmen, wenn sie in Ruhe sind, von selbst eine horizontale Oberfläche an und lassen bald einen Theil des in ihnen enthaltenen Wassers fahren, welcher dann eine klare Wasserschicht über der Schlickablagerung bildet. Bei einer Mischung von 0,64 Wasser und 0,36 Schlick (nach Gewicht) hatte nach 24 Stunden 0,44 des Wassers sich abgesondert; nach 4 Tagen betrug das Gewicht des aus der Mischung abgesonderten Wassers die Hälfte des ursprünglich beigemischt gewesenen. |                |
|   |         | 0,8   | 4,000           | —      | —     | 1,133 | —  | —     |  | Flüssig        |
|   |         | 0,9   | 9,000           | —      | —     | 1,063 | —  | —     |  |                |
|   |         | 1     | ∞               | 13,57  | —     | 1,000 | —  | —     |  | Reines Wasser. |

Sei  $H$  die Höhe der Ablagerung von einer 100 Fuß hohen Wassersäule, und in 100 000 Gewichttheilen Wasser sei 1 Gewichttheil Schlick suspendirt gewesen; sei ferner wie vorhin  $\frac{n}{1-n}$  das Verhältniß des in der Ablagerung enthaltenen Wassergewichts zu dem darin enthaltenen Schlickgewichte, und bezeichne  $G$  das specifische Gewicht der Ablagerung aus vorstehender Tabelle, so ist

$$H = \frac{1}{1000(1-n)} G.$$

Die Anwendung dieser Formel auf jeden gegebenen Fall ist höchst einfach. Es enthalte z. B. ein Gewässer in 100 000 Gewichttheilen Wasser 5 Gewichttheile suspendirter Stoffe, und es werde in einem damit verbundenen Hafenbassin mit jeder der 707 im Laufe des Jahres eintretenden Fluthen eine Wassersäule von 7 Fuß Höhe erneuert und im Innern des Bassins vollständig abgeklärt, so erhält man die Höhe der jährlichen Ablagerung in den Formen der dichtesten Kleierde, des Töpferthons, des steifen Schlammes und des frischen, weichen Schlammes, wenn man die diesen Formen entsprechenden Werthe von  $n$  und  $G$  aus vorstehender Tabelle in die obige Formel setzt, und die gefundenen Werthe von  $H$  mit dem Factor  $\frac{5 \times 707 \times 7}{100} = 247,45$ , wofür zu setzen 247, multiplicirt. Auf diese Weise ergibt sich unter den

hier angenommenen Bedingungen

|                                      |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| für die Form der dichtesten Kleierde | $247 H = 0,170$ Fuß, |
| für die Form des Töpferthons         | $= 0,212$ Fuß,       |
| für die Form des steifen Schlammes   | $= 0,269$ Fuß,       |
| für die Form des frischen Schlammes  | $= 0,348$ Fuß,       |

als die Höhe der jährlichen Ablagerung der suspendirten Stoffe.

Es bedarf keiner weitern Erläuterung, daß andere verwandte Aufgaben der Praxis sich auf Grundlage der obigen Daten in ähnlicher Weise behandeln lassen, und dieselben werden in allen Fällen, wo es nur auf die Größe der Ablagerung der *s u s p e n d i r t e n* Schlicktheilchen abgesehen ist, dadurch vollständig gelöst.

Zur Bestimmung der Größe des Schlickgehaltes in einem den wechselnden Naturzuständen unterworfenen Gewässer, also in einem Flusse, Strome oder Meerbusen, genügt es nicht, daß man einzelne Proben des Wassers auf seinen Schlickgehalt untersuche, sondern es sind größere Beobachtungsreihen erforderlich, um durch Ausgleichung zufälliger oder periodischer Schwankungen Mittelzahlen als brauchbare Daten zu erhalten. Die nachfolgende Untersuchung, welche den Schlickgehalt der Elbe betrifft, dürfte theils als Beispiel, wie die Sache zweckmäßig zu behandeln ist, theils insofern durch dieselbe neue, zuverlässige Daten über die natürliche Beschaffenheit eines der größten deutschen Ströme festgestellt sind, von Interesse sein. Bevor ich indeß zur Darlegung der, einen Zeitraum von 18 Monaten umfassenden Beobachtungen schreite, mögen einige ältere Angaben über den Schlickgehalt der Elbe nebst darauf bezüglichen Bemerkungen hier aufgenommen werden.

Die ältesten bekannten Untersuchungen dieses Gegenstandes finden sich in TETENS, Reisen in die Marschländer der Nordsee (7ter Brief), der nach einem, allerdings recht mangelhaften Verfahren den Schlickgehalt an der holsteinischen Küste der Unter-Elbe (bei Brunsbüttel) folgendermaßen angiebt:

Mittel aus 3 Beobachtungen, bei stillem Wetter  $\frac{1}{787}$

Mittel aus 3 Beobachtungen, bei starkem Winde  $\frac{1}{210}$

Eine Beobachtung bei aufstehendem Sturme  $\frac{1}{168}$ .

Diese Verhältnisse sollen nach dem Rauminhalt dergestalt verstanden werden, daß respective auf 787, 210 und 168 Raumtheile Wasser 1 Raumtheil Schlick zu rechnen sei. Ich will nicht bestreiten, daß die untersuchten Proben wirklich diese Resultate gegeben haben, aber dann müssen sie dicht an dem dortigen Kleiufer und im Bereiche der Abspülung desselben, um die Zeit des Eintrittes der Fluth geschöpft sein, und selbst unter dieser Voraussetzung repräsentiren die TETENS'schen Zahlen noch einen enorm großen Schlickgehalt. Im Strome selbst kommt niemals ein ähnliches Verhältnis vor, nicht einmal annähernd ist eine solche Schlickmasse dem Elbwasser beigemischt. TETENS giebt a. a. O. an, daß WOLTMAN für Cuxhaven den Mittelwerth  $\frac{1}{532}$  gefunden habe; das ist ebenfalls für den Strom viel zu groß, und ist es zu bemerken, daß in WOLTMAN's Schriften, obgleich er (Beitr. II, §. 56) ausführlich von diesem Gegenstande redet, sich keine Bestätigung für TETENS' Angaben findet.

Nach Untersuchungen des Wasserbau-Directors CHRISTENSEN in Glückstadt ward der Schlickgehalt der Elbe folgendermaßen gefunden:

|                 | Maximum             | Minimum                              | Mittel               |
|-----------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------|
| bei Altona      | $\frac{1}{11\ 700}$ | $\frac{1}{147\ 000}$ ; aus 13 Proben | $\frac{1}{65\ 800}$  |
| bei Glückstadt  | $\frac{1}{2600}$    | $\frac{1}{81\ 700}$ ; aus 20 Proben  | $\frac{1}{28\ 100}$  |
| bei Brunsbüttel | $\frac{1}{3100}$    | $\frac{1}{43\ 300}$ ; aus 24 Proben  | $\frac{1}{17\ 000}$  |
| bei Cuxhaven    | $\frac{1}{10\ 400}$ | $\frac{1}{735\ 300}$ ; aus 8 Proben  | $\frac{1}{122\ 400}$ |

Diese Zahlen beziehen sich, ebenso wie die von TETENS, auf das Raumverhältnis, sie sind aber nicht durch Messung des Niederschlags ermittelt, sondern durch Wägung und Rechnung nach Filtration des Wassers, wobei das specifische Gewicht des Schlicks = 1,541 angenommen ist. Obwohl die Resultate dieser Untersuchungen ohne Zweifel der Wahrheit näher kommen als die von TETENS, so haben doch auch sie nur die Bedeutung einzelner Fälle, die übrigens schon darthun, wie ungemein schwankend der Schlickgehalt in dem unteren, von der Meeresfluth beherrschten Theile des Stromgebietes ist.

Eine Untersuchung des Elbwassers aus neuerer Zeit findet sich in BISCHOF's Handbuch der Geologie (II, 6, S. 1587). Die Probe ward am 1. Juni 1852 bei Hamburg geschöpft; sie enthielt in 100 000 Gewichttheilen Wasser 0,891 Theile schwebende Stoffe und 12,69 Theile aufgelöste Stoffe. Das Verhältnis des Schlicks zum Wasser war also nach Gewicht =  $\frac{1}{112233}$ , ein Werth, der noch bedeutend kleiner ist als das Minimum, welches CHRISTENSEN (nach Raumverhältnis) für das Hamburg benachbarte Altona angibt. Abermals eine Bestätigung für die Unzulänglichkeit allgemeiner Folgerungen aus vereinzelt Untersuchungen.

Endlich ist noch die Angabe des hannov. Bauraths BLOHM (die Fahrbahn der Elbe und ihre Verbesserung, Hamburg 1841) zu erwähnen, welcher seine an der Elbe gemachten Beobachtungsergebnisse mit denen anderer Flüsse, namentlich den italiänischen vergleicht, und darüber bemerkt, daß durch eine große Anzahl sorgfältig geführter Untersuchungen sich herausgestellt habe, daß die Elbe auch zur Zeit ihrer höchsten Anschwellungen ungleich weniger mit trüben Stoffen geschwängert sei als der Po. Das Elbwasser pflegte in der Stromgegend unterhalb der Mündung der Ilmenau (Lüneburg) bei starken Anschwellungen nicht mehr als  $\frac{1}{6000}$  seines Volumens an schwimmenden Schlamm- und Erdtheilchen zu

enthalten. Dieses Resultat ist aber durch Abdampfung des Wassers gefunden, es sind mithin nicht bloß die suspendirt gewesenen, sondern auch die chemisch aufgelöst im Wasser enthaltenen Stoffe in das gefundene Verhältnis eingeschlossen, so daß eine Anwendung in Bezug auf Ablagerung nicht davon zu machen ist<sup>1)</sup>.

Meine Untersuchungen umfassen die Zeit vom 21. Februar 1854 bis zum 31. Juli 1855; über die Art, wie sie ausgeführt, und über die Resultate, welche dadurch gewonnen wurden, erlaube ich mir Folgendes hier aufzunehmen und daran zugleich die entsprechenden Erörterungen aus einem allgemeinen Gesichtspunkt zu knüpfen.

Von Wichtigkeit ist es bei allen derartigen Untersuchungen, daß der Ort, an welchem die Wasserproben geschöpft werden, in geeigneter Weise gewählt sei. Kommt es darauf an – wie ich es mir in diesem Falle vorgesetzt hatte – einen Beitrag zur Charakteristik des ganzen Stromes zu liefern, so müssen die Proben in der Stromgegend geschöpft werden, wo bei mittlerem Wasserstande des oberen Stromes die letzten Spuren eines Aufstaus durch die Meeresfluth verschwinden. Man kann diesen Punkt als die eigentliche Mündung des Flusses in einen von der Meeresfluth beherrschten Meerbusen betrachten, wenn man vom gewöhnlichen Sprachgebrauche absieht. In dieser Gegend der Elbe (bei Geesthacht) ist während des erwähnten Zeitraumes täglich eine etwa 700 Grammen haltende Flasche Wasser im Stromstriche nahe der Oberfläche geschöpft, und wöchentlich eine solche Flasche aus größerer Tiefe, etwa 2 Fuß über dem Grunde. Die Füllung ward stets von demselben Manne ausgeführt, der die Flaschen sofort versiegelte, mit dem Datum versah und an das Bureau der Schifffahrt- und Hafen-Deputation in Hamburg abliefern. Da es sich bei der nachherigen Untersuchung bald herausstellte, daß unter gewöhnlichen Umständen die gefundenen Werthe des Schlickgehaltes eine genugsam regelmäßige Curve bilden, zu deren Festlegung man keiner täglichen Beobachtung bedarf, so konnte ein Theil der Flaschen zurückgestellt werden, um vorkommenden Falls zu nachträglichen Untersuchungen zu dienen, wenn solches zur Prüfung der gefundenen Resultate erfordert werden sollte. Es ist aber die Füllung der Flaschen niemals unterbrochen worden, so daß die Reihe der Proben ganz vollständig zur Disposition stand.

Bei der Untersuchung war das Augenmerk darauf gerichtet, Gleichförmigkeit des Verfahrens bei allen Versuchen mit thunlichster Vereinfachung der Arbeit bei jedem derselben zu vereinigen. Dies geschah auf folgende Weise: Jede der zu untersuchenden Flaschen erhielt auf der Außenseite ein Zeichen, welches genau die Füllungshöhe angab; dann ward mittelst eines Hebers das klare Wasser bis auf etwa 7 Zoll über dem Boden der Flasche abgezogen, der Rest ward filtrirt. Für jedes Experiment steckten 2 Filtra, die vorher bei 80° R. getrocknet, genau gleich von Gewicht gemacht und numerirt waren, in einander. Indem durch diese das Wasser durchfloß, wurden beide gleichmäßig vom Wasser und von den aufgelösten Stoffen afficirt, während die suspendirt gewesenen Stoffe in dem innern Filtrum zurückblieben und demnach das äußere Filtrum vollkommen schlickfrei war. Nach beendigter Filtration wurden beide Filtra getrocknet (80° R.) und dann so oft wiederholt gegen einander gewogen, bis die Gewichts-differenz nach jedesmaliger Hineinlegung in den Trockenapparat constant blieb. Die so gefundene Gewichts-differenz der beiden Filtra ist als das wirkliche Schlickgewicht angenommen. Die gebrauchte Waage gibt bei 15 Grammen Belastung auf jeder

<sup>1)</sup> Nach neueren, von Herrn ULEX in Hamburg mit großer Genauigkeit ausgeführten Untersuchungen, welche über einen 18 monatlichen Zeitraum vertheilt waren und mit hohen, mittleren und niedrigen Wasserständen zusammentrafen, hat sich die Quantität der im Elbwasser aufgelöst befindlichen Mineralien beinahe constant und im Mittel = 23,75 Gewichttheile auf 100000 Theile Wasser ergeben.

Schaale, mit 1 Milligr. Uebergewicht, noch einen Ausschlag und zieht bei dieser Belastung mit 2 Milligr. Uebergewicht noch sehr merklich, ihre Empfindlichkeit ist also ausgedrückt durch  $\frac{1}{30000}$ . Die Schlickgewichte sind auf diese Weise gewiß so genau gefunden worden, als es für den vorliegenden Zweck nur gewünscht werden kann. Vielleicht möchte Jemand Bedenken gegen das Abhebern des klaren Wassers haben und es vorziehen, stets den ganzen Inhalt der Flasche zu filtriren; ich habe mich durch eigends darauf gerichtete Experimente davon überzeugt, daß das Resultat hierdurch nicht verändert werden würde, während es natürlich die Arbeit ungemein vermehrt. Uebrigens ließ ich dennoch, um jedem Zweifel vorzubeugen, von Zeit zu Zeit die ganze Flasche durchfiltern und dies in der Tabelle der Versuche anmerken.

Das mit dem Schlickgewicht zu vergleichende Wassergewicht ward gefunden, indem jede Flasche bis an das oben erwähnte Zeichen ihrer Füllhöhe wieder mit Elbwasser gefüllt, und dann in eine scalarite Maaßflasche, an welcher das Gewicht in Grammen ohne Weiteres abgelesen werden konnte, umgegossen ward.

Es ist klar, daß hiermit das Verhältniß des Wassergewichts zum Schlickgewicht für den Tag, dessen Datum die untersuchte Flasche trug, gegeben war. Die Anzahl der Experimente ist 483, von denen 428 in der Nähe der Oberfläche, 55 in der Nähe des Grundes geschöpft sind; die gefundenen Werthe der ersteren bilden eine zusammenhängende Reihe, die einen 1½jährigen Zeitraum umfaßt und sich in Form einer Curve – die Schlickcurve könnte man sie nennen – darstellen läßt. Ich theile hier nur einige besonders bemerkenswerthe Partien derselben mit, da das Format die Aufnahme der ganzen Zeichnung nicht gestattet.

Die Discussion dieser Untersuchung führt zu folgenden Ergebnissen:

1. Der Durchschnittswerth des Schlickgehalts aus sämtlichen 428 an der Oberfläche genommenen Proben ist: 3,17 Gewichttheile Schlick auf 100 000 Gewichttheile Wasser.

2. Das Jahresmittel vom 1. März 1854 bis 28. Februar 1855 ist: 3,12 Gewichttheile Schlick auf 100 000 Gewichttheile Wasser; vom 1. Juli 1854 bis 30. Juni 1855: 2,80 Gewichttheile Schlick auf 100 000 Gewichttheile Wasser.

3. Die Monatsmittel des Schlickgehalts in Verbindung mit den entsprechenden Monatsmitteln des Wasserstandes sind folgende, wobei zu bemerken, daß der Wasserstand des Stromes an dem oberhalb der Beobachtungsstelle des Schlickgehalts belegenen öffentlichen Elbpegel zu Artlenburg, an welchem der mittlere Wasserstand nach 12jähriger Beobachtungen (1843 bis 1854) = 5 Fuß 4,24 Zoll hannov. M. über Null beträgt, notirt worden ist.

Die Formen der nach diesen Monatsmitteln gezogenen Curven in der Zeichnung Fig. 3 lassen noch keine deutliche Regel in Betreff der Beziehungen zwischen Wasserstand und Schlickgehalt durchblicken, jedoch sieht man schon so viel mit Bestimmtheit, daß keinesweges die höchsten Wasserstände mit dem größten Schlickgehalte zusammenfallen.

4. Werden die Experimente in der Weise gruppiert, daß man die bei steigendem, bei beharrendem und bei fallendem Wasserstande gemachten jede für sich gesondert zusammenfaßt, so ergibt sich Folgendes:

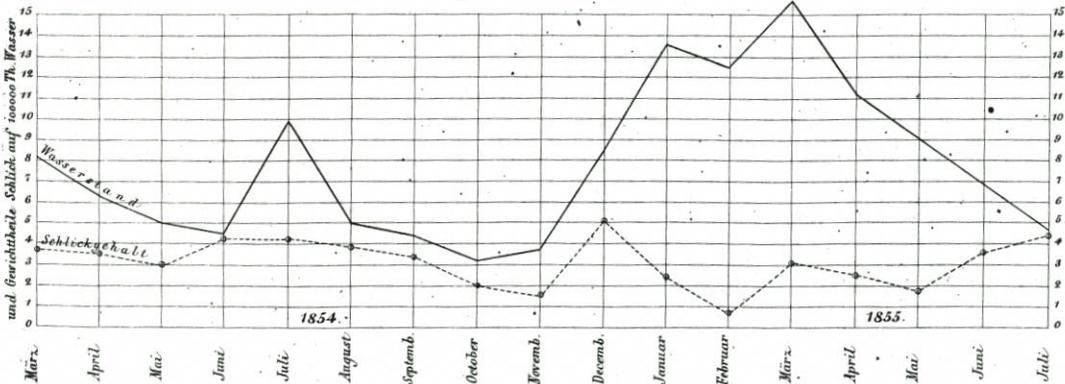
121 Experimente bei steigendem Wasser geben im Mittel 3,83 Gewichttheile Schlick,  
156 Experimente bei beharrendem Wasser geben im Mittel 2,77 Gewichttheile Schlick,  
151 Experimente bei fallendem Wasser geben im Mittel 3,02 Gewichttheile Schlick  
auf 100 000 Gewichttheile Wasser.

Es zeigt sich hieraus, daß der kleinste Durchschnittswerth bei den Beharrungsständen des Stromes stattfindet.

5. Das Maximum des Schlickgehalts fand sich bei dem Versuche am 19. December 1854,

|       |                 | Wasserstand.<br>Monatsmittel. |           | Anzahl<br>der<br>Expe-<br>rimente. | Schlick-<br>gehalt.<br>Monats-<br>mittel. |
|-------|-----------------|-------------------------------|-----------|------------------------------------|---|
| 1854. | Februar . .     | —                             |           | 7                                  | —   |
|       | März . . . .    | 8 Fufs                        | 2,92 Zoll | 28                                 | 3,76                                      |
|       | April . . . .   | 6 -                           | 3,93 -    | 26                                 | 3,52                                      |
|       | Mai . . . . .   | 4 -                           | 11,82 -   | 25                                 | 3,00                                      |
|       | Juni . . . . .  | 4 -                           | 6,70 -    | 27                                 | 4,23                                      |
|       | Juli . . . . .  | 10 -                          | 0,05 -    | 26                                 | 4,21                                      |
|       | August . . . .  | 5 -                           | 0,53 -    | 27                                 | 3,97                                      |
|       | September . .   | 4 -                           | 5,13 -    | 23                                 | 3,28                                      |
|       | October . . . . | 3 -                           | 1,77 -    | 24                                 | 2,02                                      |
|       | November . . .  | 3 -                           | 8,62 -    | 24                                 | 1,45                                      |
|       | December . . .  | 8 -                           | 2,60 -    | 28                                 | 5,18                                      |
| 1855. | Januar . . . .  | 13 -                          | 6,13 -    | 23                                 | 2,24                                      |
|       | Februar . . . . | 12 -                          | 4,55 -    | 21                                 | 0,55                                      |
|       | März . . . . .  | 15 -                          | 8,64 -    | 25                                 | 3,02                                      |
|       | April . . . . . | 11 -                          | 0,87 -    | 24                                 | 2,37                                      |
|       | Mai . . . . .   | 9 -                           | 2,10 -    | 23                                 | 1,73                                      |
|       | Juni . . . . .  | 6 -                           | 10,48 -   | 25                                 | 3,63                                      |
|       | Juli . . . . .  | 4 -                           | 9,32 -    | 22                                 | 4,42                                      |

Fig. 3. Monatsmittel.



nämlich 10,94 Gewichttheile Schlick auf 100 000 Gewichttheile Wasser. Die stärkste Trübung des Wassers hielt 6 Tage (18. bis 23. December) an, woraus das Mittel 10,12 Gewichttheile Schlick auf 100 000 Gewichttheile Wasser gab. Der Wasserstand in Artlenburg war  $7\frac{3}{4}$  Fuß über Null und steigend, der Strom war im Begriff, aus seinen Ufern zu treten und sich über die Vorländer auszubreiten. Es folgte hierauf die große Hochfluth der ersten Monate von 1855.

Nur noch einmal erreichte während der Dauer dieser Beobachtungen der Schlickgehalt eine ähnliche Höhe, jedoch nur für einen Tag (3. Juli 1854), wo auf 100 000 Theile Wasser 9,58 Theile Schlick kamen. Faßt man auch in diesem Falle 6 Tage zusammen, so erhält man deren Mittelwerth = 7,95 Theile Schlick auf 100 000 Theile Wasser. Der Wasserstand war  $7\frac{1}{2}$  Fuß über Null und steigend.

6. Das Minimum des Schlickgehalts fand am 8. Februar 1855 statt, wo auf 100 000 Theile Wasser nur 0,16 Theile Schlick kamen. Der Wasserstand hatte damals anhaltend die

bedeutende Höhe von 12 bis 13 Fuß über Null, der Strom war bei beständigem Frostwetter mit einer festen Eisdecke belegt; schon 2 Monate lang waren alle Vorländer überfluthet gewesen. Unter solchen Umständen muß eine fast vollständige Klärung des Wassers erfolgen.

7. Ordnet man die Experimente nach der Höhe des Wasserstandes in drei Gruppen, nämlich:

- a) diejenigen von dem niedrigsten bis zum mittleren Stande,
- b) diejenigen von dem mittleren Stande bis zum Eintritt der vollständigen Ueberfluthung der Vorländer,
- c) diejenigen bei noch höheren Wasserständen,

so werden die Ursachen, durch welche das Steigen und Fallen der Schlickcurve bedingt ist, deutlich erkennbar.

Die Höhe des mittleren Wasserstandes an dem genannten Pegel ist 5 Fuß  $\frac{3}{4}$  Zoll über Null; die Inundation der Vorländer kann bei einem etwa 4 Fuß höheren Stande, also bei circa 9 Fuß über Null, für vollständig angenommen werden. Daraus ergibt sich folgende Gruppierung:

- a) Schlickgehalt bei Wasserständen unter dem mittleren:

162 Versuche, im Mittel 2,92 Theile Schlick auf 100 000 Theile Wasser;

- b) Schlickgehalt bei Wasserständen von dem mittleren bis zur Ueberfluthung der Vorländer:

128 Versuche, im Mittel 4,17 Theile Schlick auf 100 000 Theile Wasser;

- c) Schlickgehalt bei höheren Wasserständen nach Ueberfluthung der Vorländer:

138 Versuche, im Mittel 2,52 Theile Schlick auf 100 000 Theile Wasser.

Man sieht hieraus, daß der Strom am trübsten ist, wenn er über seinem mittleren Stande steht, aber sich noch nicht oder nicht mehr bedeutend über das eigentliche Ufer erhebt; daß ferner die klarste Beschaffenheit mit den niedrigsten und höchsten Ständen verbunden ist.

Die allgemeine Regel, an welche die Natur bei dem Prozesse der Trübung und Abklärung der Ströme gebunden zu sein scheint, läßt sich durch speciellere Discussion der vorliegenden Versuche noch weiter enthüllen.

Es ist nämlich auffallend, daß gerade dann, wenn die Wasserstandcurve sich über den mittleren Stand erhebt, und der Strom aus seinen Ufern zu treten beginnt, die *Maxima der Schlickcurve* vorkommen; die Figuren 4, 5 und 6, welche einer weiteren Erläuterung nicht bedürfen, zeigen dies deutlich, am 17. März, 3. Juli und 19. December 1854 und den anliegenden Tagen.

Bei noch höherer Anschwellung des Stromes sinkt die Schlickcurve, wie dieselben Figuren zeigen; dann aber hebt sie sich wieder zu einem zwar minder stark ausgeprägten, aber doch erkennbaren Maximum, sobald bei fallendem Wasser der Strom in seine Ufer zurückkehrt; vergl. Fig. 5 den 29. bis 31. Juli.

Andeutungen desselben Gesetzes findet man auch in anderen Theilen der Curve, aber sie werden durch mitwirkende Nebenumstände, welche sich der Beobachtung entziehen, zuweilen verhüllt und modificirt, wenn nicht die Hauptursache, nämlich das Herrannahen oder Verlaufen einer Stromanschwellung besonders kräftig in die betreffenden Verhältnisse eingreift. Die Erklärung des hier obwaltenden Naturgesetzes hat keine Schwierigkeit. Wenn aus den oberen Stromgegenden die mit Schlick beladenen Gewässer einer herrannahenden Hochfluth sich im Strombette abwärts bewegen, so muß aller Orten der Schlickgehalt so lange zunehmen, als der Strom in seinen gewöhnlichen Ufern zusammengehalten bleibt, wo er keine Ruhe zum Fallenlassen der mitgeführten Sinkstoffe findet, und aus allen Nebenzuflüssen noch eine Vermehrung dieses Materials erhält. Wenn aber die Vorländer überfluthet sind, so findet auf ihnen die allbekannte Ablagerung des Schlicks, mithin die Klärung des Wassers statt, nach

Fig. 4.

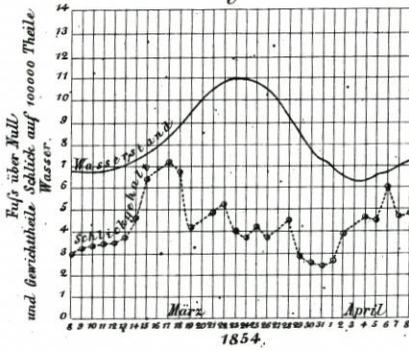


Fig. 5.

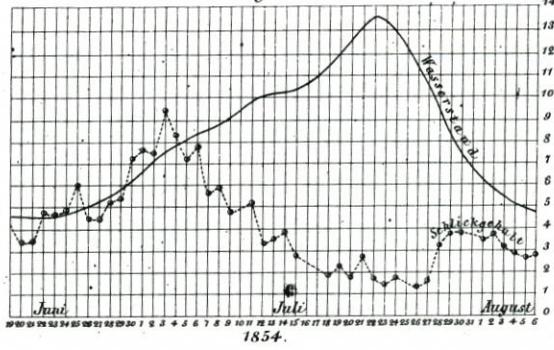
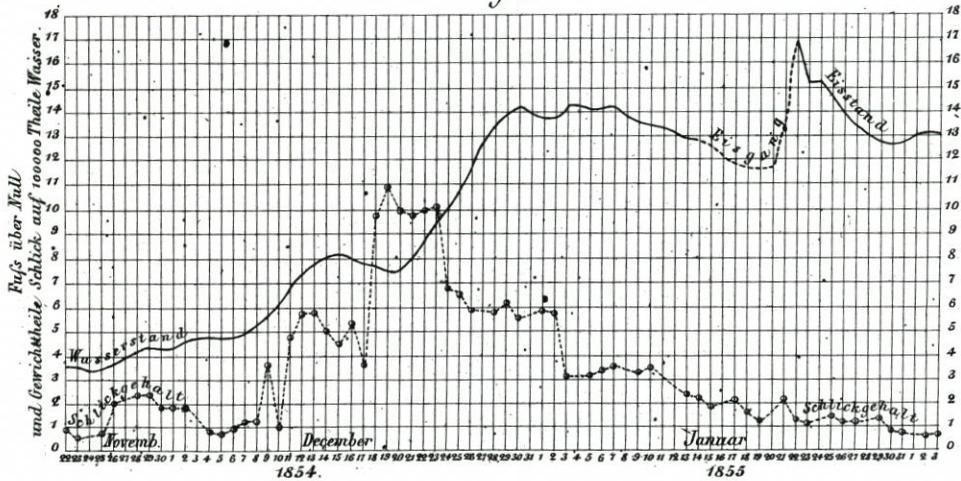


Fig. 6.



welcher bei anhaltenden, sehr hohen Anschwellungen dasselbe fast vollkommen klar durch den Hauptstrom abwärts geführt wird. Treten dann, nach vorübergegangener Hochfluth, die überschwemmt gewesenen Vorländer nach und nach zu Tage, so sind dieselben mit einer halbflüssigen Decke von frisch gefallenem Schlick überzogen, und das von ihnen oft mit starkem Gefälle abfließende, in einzelnen Rinnen, Prieln und alten Stromarmen sich zusammenziehende Wasser muß, indem es viele Schlicktheile wieder aufnimmt und mit sich fortreißt, den Hauptstrom merklich trüben.

Von großem Interesse ist es, dieses Gesetz durch Beobachtungen bestätigt zu sehen, welche HAGEN an der Jade angestellt und in den Monatsberichten der Königl. Preuß. Akademie der Wissenschaften (Juni 1856) veröffentlicht hat. Der Jade-Meerbusen ist ein Gewässer, welches aus dem Binnenlande nur unbedeutende, vollkommen klare Zuflüsse empfängt; die Veränderungen des Schlickgehalts seines Wassers sind allen denjenigen Ursachen zuzuschreiben, welche mit der täglich zweimal wiederkehrenden Fluthbewegung im Zusammenhange stehen. Hier sind demnach die Verhältnisse einfacher und regelmäßiger, die Perioden vom Maximum zum Minimum sind viel kürzer, die Wiederholung des Wechsels ist viel häufiger, als dies bei dem großen binnenländischen Strome, auf den die vorhergehende Untersuchung sich bezieht, der Fall ist. Im Uebrigen aber finden in Bezug auf die vorliegende Frage in beiden Fällen ähnliche Umstände und Bedingungen, und in Folge dessen auch

ähnliche Erscheinungen statt. Auch im Jade-Meerbusen sind, wie bei der Elbe, wenn der Spiegel niedrig ist, die Gewässer in engeren, tief ausgefurchten Rinnsalen vereinigt, und breiten sich, sobald sie ein gewisses Niveau überstiegen haben, über weite, ebene Flächenräume aus; auch hier lassen sie, nach Ueberfluthung dieser Flächen, die in Suspension gehaltenen Schlicktheilchen fallen, und führen einen Theil derselben wieder mit sich fort, wenn der Wasserspiegel wieder so weit gesunken ist, daß der Strom sich in den engeren Rinnsalen zusammenzieht, und auch hier ist das Wasser am stärksten mit Schlicktheilchen beladen, wenn die steigende Fluth sich über die bei der Ebbe wasserfrei gewordenen weiten Bodenflächen auszubreiten beginnt. Die Häufigkeit und große Regelmäßigkeit des Processes der abwechselnden Trübung und Klärung des Wassers in der Jade macht es dort möglich, durch Wiederholung der Beobachtung Mittelzahlen zu erhalten, in denen, durch Eliminirung alles Zufälligen, Störenden, die allgemeine Regel sich klar ausprägt.

Man erkennt darin auf den ersten Blick die Analogie mit der Form der Schlickcurve bei den Hochfluthen der Ober-Elbe (Fig. 4 bis 6), ungeachtet der bei letzterer unmöglich zu eliminirenden, störenden Nebeneinwirkungen. HAGEN hat in der erwähnten Abhandlung das gefundene Schlickverhältniß auf Raumtheile in der Form von Töpferthon reducirt; nach Gewicht ausgedrückt, läßt sich dasselbe bequemer mit den obigen, die Elbe betreffenden Resultaten vergleichen, weshalb ich, unter Annahme des der Form von Töpferthon entsprechenden specifischen Gewichts = 1,7, die Zahlen für Gewichtsverhältniß gebe.

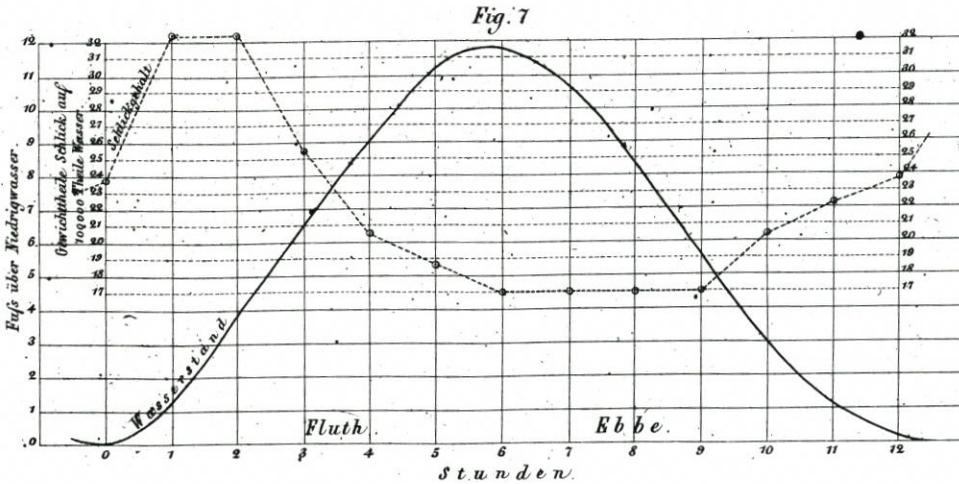
Der Schlickgehalt des Jade-Wassers war auf 100 000 Gewichttheile Wasser:

|                   |      |        |          |
|-------------------|------|--------|----------|
| bei Niedrigwasser | 23,8 | Theile | Schlick, |
| - 1 Stunde Fluth  | 32,3 | -      | -        |
| - 2 - -           | 32,3 | -      | -        |
| - 3 - -           | 25,5 | -      | -        |
| - 4 - -           | 20,4 | -      | -        |
| - 5 - -           | 18,7 | -      | -        |
| - Hochwasser      | 17,0 | -      | -        |
| - 1 Stunde Ebbe   | 17,0 | -      | -        |
| - 2 - -           | 17,0 | -      | -        |
| - 3 - -           | 17,0 | -      | -        |
| - 4 - -           | 20,4 | -      | -        |
| - 5 - -           | 22,1 | -      | -        |
| - Niedrigwasser   | 23,8 | -      | -        |

Die Figur 7 zeigt diese Schlickcurve nebst der zugehörigen Wasserstandscurve. Gewiß ist dies in Betreff des obwaltenden Gesetzes unverkennbar übereinstimmende Ergebnis zweier Untersuchungen, die völlig unabhängig von einander, in ganz verschiedenen Lokalitäten, zu verschiedenen Zwecken und auf verschiedene Weise ausgeführt sind, von um so größerem Interesse, je weniger man vermuthen konnte, daß in reinen Meeresfluthverhältnissen dasselbe Gesetz hervortreten würde, welches den Schlickgehalt des oberen Stromes regiert.

Auch nach Untersuchungen, welche im Januar 1859 im Hafen zu Cuxhaven an der Mündung der Elbe angestellt sind, zeigen sich analoge Erscheinungen; es ist indeß die Zahl der Experimente nicht ausreichend, um das dortige Gesetz durch eine Curve darzustellen. Das Maximum des daselbst beobachteten Schlickgehalts war auf 100 000 Gewichttheile Wasser 20,1 Theile Schlick bald nach Niedrigwasser; das Minimum, um die Zeit des Hochwassers, betrug auf 100 000 Gewichttheile Wasser nur 1,7 Gewichttheile Schlick.

Die Wahrnehmung, daß im Bereiche der Meeresfluth sich in Strommündungen oft ein weit größerer Schlickgehalt zeigt, als in dem oberen binnenländischen Strome, fand ich noch durch einen Versuch bestätigt, den ich im September 1854 ausführte. Ich ließ nämlich mitten



im Fahrwasser der Unter-Elbe, bei stürmischer Witterung und starkem Wellenschlage, eine große Korbflasche mit Wasser füllen. Die 9732 Gramm Wasser, welche dieselbe enthielt, gaben 1,683 Gramm trocknen Schlick, d.h. auf 100 000 Gewichttheile Wasser 17,29 Gewichttheile Schlick, beinahe doppelt so viel als das während eines anderthalbjährigen Zeitraumes an der Ober-Elbe beobachtete Maximum.

8. Die Beobachtungen des Schlickgehalts in der Nähe des Grundes geben, nach meinen Versuchen, kein constantes Verhältniß zu denen nahe an der Oberfläche. In meiner Versuchsreihe kommen 53 Doppelexperimente vor, die eine solche Vergleichung gestatten; von diesen geben 31 einen größeren Schlickgehalt in der Nähe des Grundes, 22 einen größeren in der Nähe der Oberfläche; der Durchschnitt aus allen würde in der Nähe des Grundes etwa 5pCt. des durchschnittlichen Schlickgehalts mehr geben als in der Nähe der Oberfläche.

HAGEN fand an der Jade den Schlickgehalt in der Nähe des Grundes um  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{5}$  größer als an der Oberfläche.

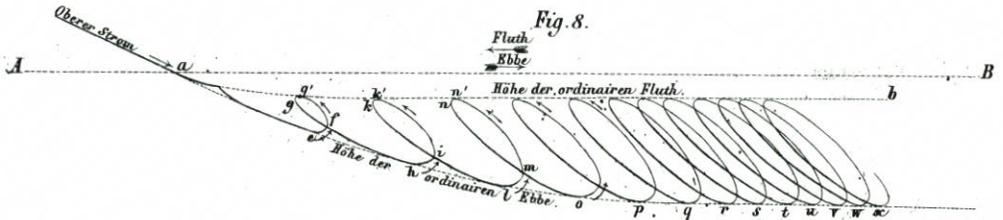
Es scheint mir, daß unweit des Grundes eine zu große Menge zufälliger Umstände auf die mehr oder minder vollkommene Vermischung des Schlicks mit dem Wasser einwirkt (ich erinnere nur an die inneren Bewegungen und Wirbel im Wasser), als daß eine gute Harmonie der Resultate erwartet werden dürfte, außer wenn eine sehr große Zahl von Beobachtungen mit Beachtung aller Nebenumstände speciell für diesen Zwecken arrangirt ist.

Die Bewegung der Schlicktheilchen kann, wie die aller übrigen Sinkstoffe, durch strömendes Wasser auf zweierlei Art bewirkt werden, nämlich entweder, indem sie mit dem Wasser vermenget und darin schwebend (in Suspension) sind, oder indem sie am Boden des Strombettes liegen und von dem darüber in Bewegung befindlichen Wasser fortgewälzt oder geschoben werden. Selten oder nie sehen wir Schlicktheilchen anders als schwebend fortbewegt, wenigstens ist es mir nicht gelungen, Experimente so anzuordnen, daß sie das Wälzen oder Schieben – welches beim Sande leicht darzustellen ist – auch beim Schlick zur Anschauung bringen. Dies rührt von der ungemein leichten Beweglichkeit der Schlicktheilchen her, vermöge welcher schon die kleinsten Wirbelbewegungen des Wassers Parteien davon aufnehmen und wolkenähnlich mit dem Strome fortführen, wodurch das Wasser stark getrübt und der Anblick des Bodens dem Beobachter entzogen wird. Mittelst des Mikroskops kann man sich leicht eine recht interessante Anschauung von dem verschiedenen Grade der Beweglichkeit der Theilchen verschaffen, wenn man etwas schlickhaltigen Sand unter eine

mäßige Vergrößerung bringt und denselben mit einem Tropfen Wasser benetzt; man sieht dann, wie die feinsten Schlicktheilchen mit der größten Geschwindigkeit an den kleinen Wellenbewegungen des Wassers, die sich leicht erzeugen lassen, Theil nehmen, diesen folgen die Bruchstücke von Thierschaalen und dergl.; langsamer, jedoch ebenfalls leicht im Wasser schwebend, bewegen sich Glimmerblättchen, Quarzkörner aber bleiben am Boden liegen und werden, wenn sie klein genug sind, langsam verschoben oder umgekantet; ich habe mir diesen interessanten Anblick wiederholt verschafft, und empfehle das Experiment Jedem, der auf unmittelbare Naturanschauung Werth legt.

Eine, in Verbindung mit andern auf die Bewegung des Sandes im Strombette bezüglichen Experimenten, im Jahre 1853 gemachten Beobachtung<sup>1)</sup> zeigte auf der Oberfläche einer bei der Elbe frei kommenden, frischen Schlickablagerung sehr feine Wellenformen. Es waren in jenem Falle auf einem abhängigen Schlickwatte 3 Rechtecke, *A*, *B*, *C* ausgegraben und dann mit hochrothem Sande, der sich auch in einzelnen Körnern unter der Schlickmasse erkennen ließ, zu gleicher Höhe mit der Umgebung wieder ausgefüllt. Nachdem zwei Fluthen darüber gegangen waren, wurden folgende Bemerkungen gemacht. In dem am niedrigsten belegenen Rechtecke *A* waren einige wenige Sandkörner sowohl in der Richtung der Ebbe als auch der Fluth bis zu 1 Fuß Entfernung fortbewegt, und die ganze Fläche war  $\frac{1}{4}$  Zoll hoch mit Schlick bedeckt, durch welchen man die rothe Farbe des Sandes nicht durchscheinen sehen konnte. In dem mittleren Rechtecke *B* war die Bewegung der Sandkörner geringer, auch die Schlickdecke dünner, und man konnte am oberen Ende der Fläche etwas von der röthlichen Färbung durchschimmern sehen. In dem am höchsten belegenen Rechteck *C* waren keine Sandkörner bewegt, und durch die sehr dünne Schlicklage, welche den Sand bedeckte, schien dieser deutlich durch; es war aber die in regelmäßigen Formen ungleiche Dicke der Schlicklage daran zu erkennen, daß die durchscheinende rothe Färbung sich in feinen geregelten Querstreifen schattirte. Hier waren also ohne Zweifel Schlickwellen vorhanden, die auf analoge Vorgänge schließen lassen, wie diejenigen, welche bei der wälzenden Sandbewegung vorkommen und von DUBUAT und HAGEN (Handb. II, 1. § 56) beschrieben sind.

Die Bewegung der in Suspension befindlichen Wassertheilchen ist, so lange dieselben vom Strome fortgetragen werden, nicht verschieden von der Bewegung der Wassertheilchen selbst; sie werden also, sobald sie in denjenigen Theil des Stromgebietes gelangt sind, auf welchen die Meeresfluth einwirkt, abwechselnd aufwärts und abwärts geführt, und erreichen erst nach langem Hin- und Herschwanken den Ausfluß in das Meer, falls sie überall dahin gelangen und nicht vorher vom Strome abgelagert werden. Es ist von Interesse, den Weg, welchen ein schwimmendes Schlicktheilchen im Bereiche der Meeresfluth zurückzulegen hat, genauer zu betrachten. Sei in Figur 8 die Linie *AB* eine Horizontale durch denjenigen Punkt des Stromspiegels, an welchem das Abwärtsfließen des Stromes zum erstenmale eine Verzögerung durch Rückstau von der Meeresfluth erleidet. Ferner sei *ba* diejenige Linie, welche der Gipfel der Fluthwelle vom Meere bis zum oberen Strom beschreibt, oder mit anderen



<sup>1)</sup> Ausgeführt von dem Wasser-Bauinspector DALMANN.

Worten die Höhe der ordinären Fluth, und  $ac$  sei diejenige Linie, welche der Fuß der Fluthwelle beschreibt, oder die Höhe der ordinären Ebbe längs des ganzen Fluthgebietes dieses Stroms. Das Schlicktheilchen, dessen Weg nun genau verfolgt werden soll, befinde sich zu Anfang der Betrachtung in dem Punkte  $a$ , wo es durch Rückstau einen kurzen Aufenthalt erfährt, dann aber alsbald seinen Weg seewärts wieder fortsetzt. So gelangt es nach ungefähr 6 Stunden an einen Punkt  $e$ , welcher in einer Gegend liegt, wo nicht blos Aufstau, sondern auch wirklicher Rückstrom durch die Fluth erzeugt wird; aber schon vor dem Eintritte des Rückstromes beginnt der Wasserspiegel sich zu heben, das Schlicktheilchen schreitet also noch eine zeitlang mit allmähig verzögerter Bewegung seewärts fort, während der Wasserspiegel und das Theilchen selbst schon im Steigen begriffen ist; dann wird es bei  $f$  durch den Fluthstrom umgelenkt und schwebt langsam eine Strecke rückwärts, etwa bis  $g$ . Der Culminationspunkt der Curve liegt aber zwischen  $f$  und  $g$ , etwa in  $g'$ , weil auch das Fallen des Wasserspiegels früher eintritt als der Stromwechsel<sup>1)</sup>. Es beginnt nun von  $g$  an wieder eine etwa 6stündige Passage seewärts, bis die nächste Fluth erst bei  $h$  die Hebung dann bei  $i$  die völlige Umlenkung des Schlicktheilchens bewirkt; dieses wird dann durch den Fluthstrom aufwärts bis  $k$  geführt, und dieselbe Reihenfolge der Erscheinungen wiederholt sich noch unzählige Male, bevor die offene See erreicht wird. Hierbei ist nun Folgendes zu bemerken: Bei jeder einzelnen Wiederholung gelangt das Schlicktheilchen etwas weiter seewärts, als es das vorhergehende Mal gekommen, aber die Größe dieses Fortschrittes, in der Figur durch die Entfernungen  $ch$ ,  $hl$ ,  $lo$ ,  $op$ ,  $pq$  dargestellt, ist abnehmend, und müßte zuletzt verschwindend klein werden, wenn die Fluthwellen alle gleich groß wären und alle ungestört verliefen. Dies ist jedoch bekanntlich nicht der Fall, so daß von einer Berechnung der einzelnen Fälle nicht die Rede sein kann, und in diesen bald die ausgehende, bald die eingehende Strömung das Uebergewicht hat; selbstverständlich aber muß die algebraische Summe vieler Passagen einen Ueberschuß der Bewegung seewärts geben. Die Größe dieses Ueberschusses läßt sich für jeden einzelnen Ort berechnen, wenn man die Größe des Stromprofils an diesem Orte genau und die jährliche Wassermenge des oberen Stromes annähernd kennt. Die auf diese Berechnung sich gründenden wichtigen Folgerungen, in Betreff der wälzenden oder schiebenden Bewegung der Sinkstoffe, können nur im Zusammenhange mit Beobachtungen der Bewegung des *Sand's* vorgetragen werden, die zu umfangreich sind, um sie hier einzuschalten. Die im Strome suspendirten Sinkstoffe gebrauchen, wenn sie nicht vorher abgelagert werden, einen etwa zweimonatlichen Zeitraum, um den circa 18 Meilen langen Weg vom oberen Ende des Fluthgebietes der Elbe bis in die See zurückzulegen.

Aber nicht die ganze Schlickmenge, welche der Strom herabführt, gelangt bis in das Meer, bei weitem der größere Theil derselben wird durch periodische Anschwellungen des Stromes in die Einbuchten, Häfen und anderen Einschnitte der Ufer geführt, oder auf überflutheten Niederungen abgelagert. Die dadurch bewirkte Bodenerhöhung, *Aufschlickung* genannt, wird bekanntlich von dem Landmanne, dem sie willkommenen Gewinn bringt, so viel als möglich durch geeignete Beihülfe gefördert, dagegen aber aus dem Gesichtspunkte der Interessen des Schiffsverkehrs, also namentlich in den Häfen, als eine schädliche Naturwirkung betrachtet, die man auf jede thunliche Weise aufzuheben sucht, wenn man ihr nicht ganz vorbeugen kann. Die Aufschlickung hat indeß auch auf diesem

<sup>1)</sup> Die Ursache dieser bekannten Erscheinungen ist das Beharrungsvermögen der Wassermasse, deren Bewegung nicht sofort die entgegengesetzte Richtung annimmt, wenn die Neigung des Spiegels verändert wird, wozu noch der Umstand hinzukommt, daß beim Uebergange vom Steigen zum Fallen, und umgekehrt, auch das Gefälle nicht sofort in das entgegengesetzte verwandelt wird, sondern dazu einige Zeit gehört.

Gebiete, nämlich im Interesse der Schiffbarkeit großer Ströme bei ihrem Uebergange in das Meer, eine wohlthuende, unermesslich wichtige Bedeutung, indem durch die ununterbrochen stattfindende Aufschlickung zur Seite des Hauptstromes eine regelmäßig fortschreitende Einengung der Strombahn bewirkt wird, welcher wir die Erhaltung der Fahrtiefe in solchen Strömen größtentheils zu verdanken haben. Ein Strom, dessen Gewässer nur Sand mit sich führten, würde im Bereiche der Meeresfluth in nicht langer Zeit völlig unschiffbar werden.

Die Art und Weise, in welcher die Aufschlickung vor sich geht, und das Maaß ihres Fortschreitens, kann bei gleichem Schlickgehalte des in Rede stehenden Gewässers sehr verschieden sein, je nach Beschaffenheit der betreffenden Lokalität. Am einfachsten ist die Beurtheilung der Sache in solchen Fällen, wo nur die Ablagerung der in Suspension befindlichen Schlicktheilchen zur Erhöhung des Bodens beiträgt; die Aufschlickung wird alsdann auch Schlickfall genannt, und läßt sich nach der vorhin speciell erörterten Methode berechnen. Vorzugsweise ist dieser Gesichtspunkt anwendbar auf Colmationsanlagen und auf geschlossene Häfen, wenn diese zeitweilig durch ihre engen, im Vergleich zum Flußbette hochliegenden Schleusen trübes Wasser empfangen.

Anders verhält sich die Sache in offenen Häfen, deren Inneres durch die weite Hafenmündung im Zusammenhange mit dem Stromspiegel außerhalb des Hafens steht, und an den Schwankungen des letzteren freien Antheil nimmt. Hier ist es nicht allein der Schlickfall, sondern auch die am Boden des Strombettes stattfindende Schlickbewegung durch Wälzen oder Schieben, wodurch die Aufschlickung bewirkt wird, sobald nämlich das Strombette und der Wattgrund in der Gegend des Hafengrundes schlickhaltig und die Hafentiefe nicht sehr viel geringer ist als die Stromtiefe. Noch anders muß die Aufschlickung im Innern von Spühlbassins beurtheilt werden, die bei weitem langsamer als offene Häfen und Colmationsanlagen aufschlickten, wengleich sie an einem Gewässer von gleichem Schlickgehalte belegen sein mögen. In ganz eigenthümlicher, von den vorhergehenden Fällen völlig verschiedener Weise gestaltet sich endlich die Aufschlickung im freien Strome, wo dieselbe auch Marschbildung oder Landbildung genannt wird.

In Betreff der verschiedenen Eigenthümlichkeiten der drei zuletzt erwähnten Fälle, nämlich der offenen Häfen, der Spühlbassins und der freien Ströme, erlaube ich mir noch Folgendes zu bemerken. Soll ein offener Hafen von der oben beschriebenen Beschaffenheit in Betreff seiner Aufschlickung beurtheilt werden, so kommt es allerdings zunächst auf die Bestimmung der Größe des daselbst anzunehmenden Schlickfalls an, d. h. auf die Menge der im strömenden Wasser enthaltenen suspendirten, im Innern des Hafens abzulagernden Schlicktheilchen. Diese nach dem vorhin Mitgetheilten leicht zu ermittelnde Raumgröße ist gleichsam als das erste Glied einer algebraischen Summe zu betrachten, durch welche letztere die ganze Wirkung der Aufschlickung ausgedrückt gedacht wird. Als das zweite Glied derselben hat man sich den zusammengesetzten Effect der durch die Hafenmündung aus- und eingehenden Strömungen zu denken, dergestalt, daß dieses positiv ist, wenn der eingehende, und negativ, wenn der ausgehende Strom eine stärkere Wirkung auf das Grundbette ausübt. Die Geschwindigkeiten dieser Strombewegungen sind allerdings in den meisten Fällen sehr klein, es ist aber auch nur eine sehr geringe Bewegung des Wassers erforderlich, um Schlicktheilchen in wälzende Bewegung zu versetzen. Die Art, wie in jedem einzelnen Falle die Stromgeschwindigkeit in der Hafenmündung gefunden wird, darf ich als bekannt voraussetzen; durch genaue Discussion des gegebenen Falles, namentlich der Form der Fluthcurve, der veränderlichen Größe des Stromprofils und der ebenfalls veränderlichen Größe der inneren Wasserfläche, soweit dieselbe an den Schwankungen des Hauptstromes Theil nimmt, muß man das Maximum der Stromgeschwindigkeit für die Periode des Steigens (der Fluth), sowie auch für die Periode des Fallens (der Ebbe) ermitteln, und dann diese beiden

Maxima mit einander vergleichen. Ist das Maximum bei der Fluth größer, so überwiegt die Wirkung des eingehenden Stromes, das zweite Glied wird positiv, die Aufschlickung wird größer als der Schlickfall; wenn aber das Maximum der Stromgeschwindigkeit bei der Ebbe größer ist, so überwiegt die Wirkung des ausgehenden Stromes, das zweite Glied wird negativ und die Aufschlickung ist geringer als der Schlickfall. Dies letztere Verhältniß herbeizuführen, wo die Natur dasselbe versagt, ist der Hauptzweck künstlicher Spühlanstalten.

Um von dem Verhalten der Aufschlickung im Innern eines Spühlbassins eine deutliche Vorstellung zu erhalten, ist zu beachten, daß solche Bassins durch enge Einlaßöffnungen während der Fluth langsam gefüllt werden, daß alsdann, sobald nach Hochwasser die Schleusenthore geschlossen sind, ein Zeitraum eintritt, während dessen das Wasser im Innern derselben stille steht, sofern es nicht vom Winde in Wellenbewegung gehalten wird, und daß endlich, sobald gegen die Zeit des Niedrigwassers die Spühschleusen geöffnet werden, in dem bis dahin horizontal aufgestaut gewesenen Gewässer des Bassins sich starke Gefälle und große Stromgeschwindigkeiten ausbilden.

Die Folge dieser Eigenthümlichkeiten ist, daß nur suspendirte Schlicktheilchen mit dem Füllungswasser in das Bassin gelangen können, daß dieselben zwar während des Stillstandes fast vollständig im Bassin abgelagert, daß sie aber alsdann während der Zeit der Spülung von den Strömungen, die sich im Innern des Bassins bilden, größtentheils wieder in Bewegung gesetzt und fortgeführt werden. Den Beweis hierfür liefern Beobachtungen des Schlickgehalts, welche in derselben Weise, wie die vorhin beschriebenen von der Ober-Elbe, im Jahre 1859 zu Cuxhaven ausgeführt sind; nach denselben enthielt das zur Füllung des Spühlbassins durch den Hafen einströmende Wasser auf 100 000 Gewichttheile Wasser 4 bis 7 Theile Schlick; dasselbe klärte sich nach geschlossenem Spühlbassin im Innern des letzteren so weit ab, daß es auf 100 000 Theile Wasser nur noch 1 Theil Schlick enthielt, und nahm dann nach Oeffnung der Schleuse eine so starke Trübung im Innern des Bassins an, daß auf 100 000 Theile Wasser 13 Theile Schlick gefunden wurden, ein Verhältniß, welches möglicherweise noch gesteigert worden wäre, wenn man nicht die Beobachtungen vor völliger Beendigung der Spülung abgebrochen hätte. Man kann sich ein Spühlbassin so gestaltet denken, daß sämtliche Querprofile in jedem einzelnen Stromlauf, Canal oder Graben des ganzen Bassins diejenige Form und Größe haben, bei welcher die Stromgeschwindigkeit während des Abflusses gerade genügt, um die Erdtheilchen vollständig wieder aufzunehmen, die in der eben vorhergegangenen Tiede abgelagert wurden. Könnte ein solcher Zustand für alle Theile eines Spühlbassins gleichzeitig herbeigeführt werden, so befände dasselbe sich im Beharrungszustande, wäre gar keiner Aufschlickung unterworfen, und in dieser Hinsicht vollkommen. Allein dies ist, obwohl danach gestrebt werden muß, dennoch in Wirklichkeit nicht erreichbar, sondern es bleibt in einer oder der andern von der Schleuse entfernten Gegend des Bassins ein kleiner Theil des abgelagerten Schlicks liegen, und dies wirkt auf die näher bei der Schleuse liegenden Bassintheile in der Art ein, daß dort die durchströmende Wassermenge, mithin das ausscheuernde Vermögen nach und nach abnimmt. So wird der etwa künstlich hervorgebrachte Zustand des Gleichgewichts zwischen Aufschlickung und Aufscheuerung bald wieder gestört, und weil die Wirkung der störenden Ursachen sich unaufhörlich wiederholt, so schlickten die Spühlbassins allmählig auf. Es ist aber dabei der Umstand von Wichtigkeit, daß dies viel langsamer von statten geht, als der nach dem Schlickgehalte des Wassers berechnete Schlickfall, daß mithin Verlandungen, wie sie bei offenen Wattflächen schon nach wenigen Jahrzehnten bemerkbar werden, bei Spühlbassins, unter zweckmäßig geleiteten Verhältnissen, erst nach Jahrhunderten zu erwarten sind. Die Rücksicht sowohl auf die Erhaltung des Spühlbassins als auch auf die Hafentiefe erheischt, daß die Füllung des Bassins, wenn irgend thunlich, nicht durch die Spühschleuse, sondern durch eine außerhalb des Hafens belegene

Einlaßschleuse stattfindet; die Gründe dieser Regel sind nach dem Vorhergehenden leicht zu erkennen.

Bei Beobachtung von partiellen Ausgrabungen und deren Wiederaufschlickungen im Innern von Spühlbassins kann man leicht in den Irrthum verfallen, als ob die Aufschlickung des Bassins im Allgemeinen viel rascher vor sich gehe, als dies in Wirklichkeit der Fall ist. Es werden nämlich in solche ausgegrabene Tiefen allemal beträchtliche Schlickmengen aus dem benachbarten höheren Theil des Bassins hinabgespült, und die Folge davon ist, daß die vertieften Stellen gleichsam mit Riesenschritten wieder aufschlickten. Diese Erscheinung, die in Wahrheit nichts weiter ist, als eine Planirung des Bassins durch die im Innern desselben bei jeder Spülung entstehenden Strömungen, hat mit dem von außen in dasselbe hineindringenden Schlick nichts gemein, und darf nicht als ein Erfahrungsmaßstab für die Aufschlickung des Bassins im Ganzen angesehen werden.

In Betreff der Aufschlickung in den Stromschläuchen und Rinnen des freien Stromes selbst sind folgende Eigenthümlichkeiten zu bemerken. Im tiefsten Rinnsal oder dem Thalwege eines Stromes lagert sich in der Regel kein Schlick ab; wenn aber irgendwo im Strombette, etwa durch Sandbewegung, angeschwemmte Moorstücke oder dergl., eine Erhöhung des Strombodens entstanden ist, welche die Höhe der halben Fluth erreicht oder übersteigt, so pflegt solches durch die den Strom und die Wellen mäßigende Wirkung dem Schlick eine Lagerstätte darzubieten. Es geht indeß Anfangs damit sehr langsam, unter häufigen Störungen und Unterbrechungen, bis durch ein meist zufälliges Zusammentreffen begünstigender Umstände, oder durch künstliche Nachhülfe die Schlickablagerung eine solche Höhe erreicht, daß die Vegetation sich dieser Grundlage bemächtigen kann. Von diesem Zeitpunkte an geht es sehr rasch bis zur Höhe der ordinären Fluth, auch wohl noch etwas darüber hinaus; dann erfolgt die weitere Erhöhung wieder langsamer, ganz nach Art der Colmationen, zu denen sie nun gerechnet werden muß. Diese Erscheinungen lassen sich an jedem trüben Strome leicht beobachten; es ist auch die ganze Praxis bei Beförderung von Anwachs und Erhöhung der Außendeiche durch Begrüppung, Buschpflanzung u. s. w. darauf gerichtet, so schnell als möglich einige Vegetation hervorzurufen, um dadurch Strömung und Wellenbewegung über dem zu erhöhenden Boden zu mäßigen, und somit eine möglichst vollständige Abklärung des Wassers zu bewirken. Wo dieser Zweck erreicht wird, da fördern Alluvion und Vegetation sich gegenseitig in kräftiger Wechselwirkung.

Es knüpft sich an diese Betrachtung eine hier noch kurz zu berührende Frage von geologischem Interesse, welche die ausgedehnten, im Fluthgebiete unserer Ströme befindlichen, offenbar durch Alluvion gebildeten Marschlande betrifft. Sollen wir der Vorstellung Raum geben, daß diese alten Marschen (deren Flächengröße an der Elbe mehr als 30 Quadratmeilen, über die Hälfte des ehemaligen Meerbusens beträgt) in ganz ähnlicher Weise wie die jetzt vor unseren Augen aufwachsenden Inseln und Außendeiche nur nach der Wirkung zufällig zusammentreffender Umstände sich stückweise über das Wasser erhoben, und dann nach und nach mittelst Ausfüllung der Zwischenräume an einander angeschlossen haben, oder ist hier ein einmaliger, gleichsam das Ganze beherrschender, rascherer Bildungsprozeß der Natur anzunehmen? Die Antwort ist unter Berücksichtigung der großen Waldmoorschichten, auf denen unsere alten Flußmarschen ruhen, nicht schwierig. Es leidet nämlich zwar keinen Zweifel, daß diese Ueberreste zerstörter Waldungen schwimmend gewesen seien, so lange noch keine sie beschwerende Schlickmassen darauf abgelagert waren, aber nur kurze Zeit wird erfordert, um eine derartige Schicht von Vegetabilien zum Sinken zu bringen, wenn schlickhaltiges Wasser sie zu wiederholten Malen durchdringt und nach Zurücklassung des Schlicks wieder daraus zurückzieht. Dies beweist in den schlickreichsten Gegenden unserer Ströme ein Verfahren der Bühnenmeister, welche die aus Faschinen

gebildeten Sinkstücke einige Tage lang dem Durchzuge des schlickhaltigen Wassers auszusetzen pflegen und sie dadurch so mit Schlick anfüllen, daß sie beim Senken nur noch wenig Beschwerungsmaterial hinzuzufügen brauchen. Ein solches Sinkstück hat, abgesehen von den Dimensionen, die größte Aehnlichkeit mit den Waldmooren, die unter unsern Flußmarschen liegen. In dieser theils schwimmenden, theils den Grund berührenden Masse, welche den Ebbespiegel größtentheils überragte und von der täglichen Fluth mehr oder minder bedeckt ward, war sofort in weiter Ausdehnung eine Grundlage für neue Vegetation gegeben, als die Schlickablagerung sie zu überziehen begonnen hatte. Ein anderer die Schlickablagerung fördernder Umstand kam hinzu, nämlich das Zusammendrücken der Moorschicht bei zunehmender Belastung. In Folge dieses Umstandes haben lange Zeit hindurch jene großen sumpfigen Flächen nur an Festigkeit, nicht an Höhe zugenommen, so daß es wohl anzunehmen ist, daß die Fluthen Jahrtausende hindurch immer neue Schlickmassen darauf niederlegten, ohne in ihrer oberflächlichen Ausbreitung erheblich dadurch eingeschränkt zu werden. Unter solchen Bedingungen mußte im Anfange der Marschbildung eine fast vollständige Abklärung des trüben Flußwassers im Innern der alten Meerbusen stattfinden, und nur ein sehr geringes Schlickquantum mag damals bis in die See gelangt sein.

Der Uebergang von den so eben geschilderten frühesten Verhältnissen der Landbildung zu denjenigen, welche wir gegenwärtig vor uns sehen, ist wie alle Bildungen, die sich naturgemäß im Fluthgebiete gestalten, ein allmäliger, stetiger, und es waltet dabei das Gesetz ob, daß die im Fluthgebiete zurückbleibende Schlickmasse jährlich abnimmt, dagegen aber die in See hinausgelangende in stetiger Zunahme begriffen ist. Ablagerungen der feinsten geschlammten Schlickmassen erstrecken sich, zu unserer Zeit, vor den Mündungen der großen Ströme meilenweit in die See hinaus, und sind den Seefahrern unter dem Namen „Stickgrund“ bekannt.

Werden die beiden Thatsachen gleichzeitig ins Auge gefaßt, daß der größte Theil der vom oberen Strome herabgeführten Schlickmasse im Laufe des Jahres mit zwei oder drei Hochfluthen gleichsam stoßweise im Fluthgebiete anlangt, daß aber die Ablagerung des Schlicks sowie dessen Hinausführung in das Meer sich in einem ziemlich gleichmäßigen Verhältnisse über das ganze Jahr vertheilt, so folgt daraus, daß es im Fluthgebiete eine gewisse Gegend geben müsse, die gleichsam ein Schlickreservoir bildet, in welchem die großen Schlickmassen bei ihrer Ankunft von oben einstweilen aufgenommen werden und schwebend auf- und abfluthen, bis sie allmähig abgelagert oder dem Meere zugeführt werden können. Eine solche Stromgegend muß sich der Natur der Sache nach dadurch bemerkbar machen, daß daselbst das Wasser in der Regel schlickhaltiger ist als oberhalb und unterhalb derselben. In der That zeigen unsere Ströme dem Auge des Beobachters diese Schlickregion sehr deutlich. Wer z. B. die Elbe von Hamburg abwärts befährt, wird einige Meilen unterhalb dieser Stadt eine zunehmende Trübung des Wassers bemerken, sodann in der Gegend zwischen Stade und Glückstadt den stärksten Schlickgehalt in sehr auffallender Weise wahrnehmen, von da an weiter seewärts aber nach und nach immer klares Wasser antreffen, bis dasselbe vor der Mündung in vollkommen klares Seewasser übergeht. Aehnliche Wahrnehmungen habe ich an der Weser, der Themse, dem Humber und andern trüben Strömen gemacht. Diese Gegend des größten Schlickgehalts ist naturgemäß die Gegend des größten Schlickfalles; die Wattgründe sind hier bei der Ebbe mit weichen Schichten frisch abgelagerten Schlicks bedeckt, der bei steigender Fluth durch Strömung und Wellenbewegung zum Theil wieder aufgenommen und mit dem Wasser vermenget wird. Der Schlickgehalt ist deshalb hier viel veränderlicher als im oberen Strome, die größere oder geringere Wellenbewegung, die Nähe oder Entfernung des Ufers, die Zeit vor oder nach Hochwasser, und manche andere Umstände üben den größten Einfluß darauf aus. Nur daraus lassen sich die aus einzelnen Beobachtungen abgeleiteten älteren

Annahmen eines sehr großen Schlickgehaltes (s. oben TETENS), sowie die sehr verbreitete Ansicht, daß der Schlickgehalt des oberen Stromes im Durchschnitt eine Größe habe, welche in der That von dem wahren Durchschnittswerthe sehr stark abweicht, erklären.

Weiter eingehende, auf Grundlage von Beobachtungen über die Bewegung des Sandes im Strombette geführte Untersuchungen zeigen, daß die Schlickregion eines Stromes nicht unveränderlich an eine bestimmte Gegend gefesselt ist, sondern daß sie allmählig seewärts vorrückt. Hier kann diese Thatsache nur erwähnt werden, da wie gesagt, die Sandbewegung zuvor discutirt sein müßte, um sie specieller nachweisen zu können. Die bisher gewonnenen Resultate geben uns übrigens schon ein ziemlich vollständiges Bild von dem Prozesse, der in den alten Meerbusen, welche große Ströme des Binnenlandes aufnehmen, seit Jahrtausenden stattgefunden hat und noch jetzt seinen gesetzmäßigen, unaufhaltsamen Verlauf nimmt; wir können denselben als die fortschreitende Umwandlung weit ausgedehnter, die Ränder der hohen Geest bespühlender flachen Gewässer in tiefe, von Marschländern eingeengte, mit festen Uferlinien versehene Strombahnen bezeichnen. Dieser Proceß ist von unermeßlicher Wichtigkeit, sowohl für die Uferstaaten und ihre Bewohner wegen der neu entstehenden, werthvollen Marschen, als auch für das allgemeine Schiffahrt-Interesse, wegen der nur durch ihn erhaltenen und nur unter seiner Mitwirkung durch Stromcorrectionen zu verbessernden normalen Fahrtiefe in den unteren Stromgegenden.

*Ergänzende Anmerkungen zu HÜBBES Aufsatz „Ueber die Eigenschaften und das Verhalten des Schlicks“*

(von Dr.-Ing. HERMANN CHRISTIANSEN, Hamburg)

Einen Aufsatz über ein Thema zu lesen, das bereits vor weit über 100 Jahren aktuell war und uns heute immer noch beschäftigt, ist außerordentlich reizvoll. Worin besteht dieser Reiz eigentlich? Gewiß nicht darin, vielleicht erkennen zu müssen, daß wir heute immer noch nicht viel weiter sind. Auch mag es nur von schwachem Reiz sein, festzustellen, daß sich gar so vieles in den letzten 130 Jahren auch nicht geändert hat. Wahrscheinlich ist es einfach die Faszination darüber, wie wir mit Hochachtung feststellen dürfen, daß es von den alten Fachkollegen doch noch eine ganze Menge zu lernen gibt. „HÜBBE besaß“, wie ein Zeitgenosse es formulierte, „für die Aufstellungen von Beobachtungen auf den Gebieten der Physik, Meteorologie und Technik eine große Gabe. Sein Ziel war es dabei immer, Erkenntnisse in praktisch brauchbare Formen umzusetzen.“

HÜBBE hat in seiner Arbeit ganz grundlegende Erkenntnisse über Schlick und Schwebstoffe niedergeschrieben. Natürlich sind dabei einige Lücken geblieben, die es wert sind, von unserer Generation gefüllt zu werden. Mit Interesse sollten wir dabei einmal nachlesen, wie gradlinig und klar Hübbe bei seinen Problemlösungen vorgegangen ist.

Die Sachlichkeit der Darstellung zeigt, mit welcher Selbstdisziplin sich HÜBBE der Beschreibung seiner noch im aktiven Dienst gewonnenen Untersuchungen gewidmet haben muß. Erfrischend wirkt in diesem Zusammenhang, mit welcher Geradlinigkeit und Präzision er harte Kritik an der „Unzulänglichkeit allgemeiner Folgerungen aus vereinzelt Untersuchungen“ bei einigen Fachkollegen übt.

HÜBBE stand diese Kritik zu, denn seine Arbeiten zeichnet ein hohes Maß an Gründlichkeit aus, verbunden mit dem Bemühen, die Untersuchungen an der Elbe im Vergleich z. B. mit Jade, Weser, Humber oder Themse zu betrachten.

Was HÜBBE seinerzeit nicht ahnen konnte, ist, daß es später einmal Fachkollegen geben wird, die sehr wenig Zeit haben und sich deshalb gern erst einmal durch Überfliegen einer

Gliederung von der Notwendigkeit überzeugen wollen, ob denn ein Aufsatz insgesamt für sie lesenswert sei. Hätte er es geahnt, so hätte er wahrscheinlich die einzelnen Kapitel in folgender Weise überschrieben:

- Was ist Schlick, woher kommt er?
- Beziehung zwischen Gewichts- und Raumverhältnis von Schlick
- Konsistenzformen des Schlicks
- Sedimentationsraten suspendierter Stoffe
- Bisher bekannte Schwebstoffgehalte in Gewässern (Darstellung, Kritik)
- Schwebstoffmessungen bei Geesthacht vom Februar 1854 bis Juli 1855
- Beschreibung der Ergebnisse
  - Mittelwerte
  - Ganglinien
  - Beziehung zu Wasserständen aus Monatsmitteln
  - Beziehung zu täglichen Wasserständen beim Durchlauf von Hochwasserwellen, z. T. in Verbindung mit Eisgang
- Vergleich mit Ergebnissen von einem Tidezyklus an der Jade
- Experimente an der Elbemündung
- Das Phänomen von „Schlickwellen“
- Weg-Zeitdiagramm von Schwebstoffteilchen unter Tideeinfluß
- Schlickfall in offenen Tidehäfen und Möglichkeit der Freihaltung durch Spülbassins
- Schlickfall im Seitenbereich des Hauptstromes und deren Vorteil bei der Stabilisierung der Fahrrinne

Insgesamt vermittelt die Arbeit von HÜBBE ein Grundlagenwissen, das für jeden, der sich mit Schwebstoff und Schlick beschäftigt, zur Pflichtlektüre gehören sollte.

## Von der Beschaffenheit und dem Verhalten des Sandes<sup>1)</sup>

VON HEINRICH HÜBBE

Unter der Benennung Sand verstehen wir ein Gemenge verschiedener Mineralien in theils eckigen, theils abgerundeten Körnern, worunter gemeinlich der Quarz vorherrscht. Als charakteristisches Merkmal des sogenannten reinen Sandes gilt die Eigenschaft, daß die Körner im trocknen Zustande nicht durch Cohäsion oder Klebrigkeit zusammengehalten, wohl aber in gewissem Grade durch Reibung am Herabgleiten gehindert werden. Zum Zwecke theoretischer Behandlung eines mit dem Namen Statik des Sandes belegten Zweiges der Wissenschaft ist die Definition aufgestellt worden „Eine lose Masse, zwischen deren Elemente keine andre Kraft wirkt als die Reibung, nennen wir Sand.“ (ORTMANN, Statik des Sandes.) Die Gesetze des Gleichgewichts solcher „gleichartiger, unpreßbarer“ Sandmassen bilden den Gegenstand jener theoretischen Erörterungen, von denen die hier vorliegenden Untersuchungen jedoch wesentlich verschieden sind und deshalb auch nicht von einer gleich beschränkten Definition des Gegenstandes ausgehen können; sie verhalten sich zu jener Theorie etwa wie die Betrachtung eines wirklichen, aus Holzfasern bestehenden Balkens zu der statischen Lehre vom Hebel, welche letztere eine feste, unbiegsame Linie voraussetzt; oder wie die Anschauung eines lebendigen Stromes mit seinen Wellen und inneren Bewegungen zu den abstracten Betrachtungen der Hydraulik, bei denen eine in parallelen Stromfäden und mit ebener Oberfläche im Strombette sich fortschiebende Flüssigkeit gedacht wird.

Selten findet man in natürlichen, trüben Strömen den Sand ohne Beimischung desjenigen feineren Materials, welches wir Schlick nennen, und dessen Eigenschaften und Verhalten ich in einer besonderen Abhandlung erörtert habe.<sup>2)</sup>

Es ist aber das Verhältniß des Schlicks zum Sande in den oberen Stromgegenden, wenigstens im Bereiche der Strömung, ein so geringes, daß dort der im Strombette befindliche Sand als reiner Sand bezeichnet zu werden pflegt; weiter abwärts, im Gebiete der Meeresfluth, ist die Beimengung von Schlick zum Sande bedeutender, bis sie in der Nähe des Meeres wo die Wirkung der Wellen vorherrscht, wieder geringer wird, so daß zuletzt am Meeresstrande der reinste Sand angetroffen wird. Eine Mischung von Schlick und Sand kann man im trocknen Zustande nicht rein von einander trennen, wenn man auch die feinsten Siebe mit der ausdauerndsten Beharrlichkeit anwendet; nur durch sogenanntes Schlämmen, d. h. durch die Wirkung bewegten Wassers, welches die Schlicktheilchen schwebend fortführt, die Sandkörner aber zurückläßt, ist die Darstellung von reinem oder schlickfreiem Sande möglich. Im gewöhnlichen Sprachgebrauche der Baupraxis nennt man den Sand schlickfrei, wenn derselbe, in reines Wasser geschüttet, rasch zu Boden sinkt, ohne eine merkliche Trübung zu verursachen; den Schlick aber nennt man mehr oder weniger sandig, je häufiger beim Reiben zwischen den Fingern einzelne, stets leicht zu unterscheidende Sandkörner fühlbar sind. Für die Praxis und für Untersuchungen, die, wie die gegenwärtigen, der Praxis dienen sollen, reichen diese allgemein anerkannten Merkmale aus, um Schlick von Sand zu unterscheiden, und in Fällen, wo es darauf ankommt, das eine oder das andere Material

---

<sup>1)</sup> Aus: Zeitschr. f. Bauwesen, Jg. 11, 1861

<sup>2)</sup> Zeitschr. f. Bauwesen, Jg. 10, 1860, S. 491

unvermischt darzustellen, zu erkennen, ob das Verfahren des Schlämmens angewendet werden muß oder nicht.

Nach der andern Seite hin, nämlich nach der des gröbereren Materials, welches *Kies*, Geschiebe, Gerölle (vulgo Steine) genannt wird, ist der Begriff des Sandes nicht scharf abzugrenzen, ja man kann die ebengenannten Materialien als grobkörnigen Sand ansehen, und diejenigen Sätze, welche in Bezug auf reinen Sand ganz allgemein zu erweisen sind, auch auf Gemenge der letzteren Art anwenden. Eine conventionelle Unterscheidung zwischen Sand und Kies kann indeß aus dem gewöhnlichen Sprachgebrauche abgeleitet werden, indem ein Material, dessen Körner in einem Siebe mit Oeffnungen von 2 Millimeter Durchmesser gar nicht oder nur in geringer Zahl zurückbleiben, von dem Einen als grober Sand, von dem Andern als feiner Kies bezeichnet werden wird, mithin in dieser Gegend die Grenze anzunehmen ist. Von meinen Experimenten habe ich alle Körner, die in einem Siebe zurückblieben, dessen Oeffnungen 2,2 Millimeter Durchmesser hatten, ausgeschlossen.

Der Sand bedeckt den Boden unserer Strombetten fast durchgängig, er bildet die Unterlage aller Moore und Marschen in den Stromthälern, ist in den, zuweilen vom Strom bespülten Hochufern der Geest in mächtigen Lagen enthalten, und die Strandgegenden am Meere bestehen fast allenthalben aus diesem Material. Somit umfaßt die Betrachtung des Sandes und seines Verhaltens unter der Einwirkung von Strom und Wellen ein Feld von unermesslicher Ausdehnung und eine unendliche Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, wo nur mittelst eines systematischen Verfahrens, welches auch diejenigen Umstände berücksichtigt, die auf den ersten Anblick minutiös oder unwesentlich erscheinen mögen, ein sicherer Ueberblick erlangt wird. Aus der Natur der Sache ergibt sich bei der Behandlung dieses Stoffes eine Trennung der Untersuchungen in zwei Hauptabschnitte, von denen der erste die natürliche Beschaffenheit und Vertheilung des Sandes im Strombette zum Gegenstande hat, der zweite aber sich mit der Bewegung des Sandes in Strom und Wellen beschäftigt. Die Folgerungen aus beiden und deren Zurückführung auf ein allgemeines Princip werden in einem dritten Abschnitte den Schluß des Ganzen bilden.

### I. Die natürliche Beschaffenheit und Vertheilung des Sandes im Strombette

Wenn man Proben von Sand aus verschiedenen Gegenden vergleicht, so wird man oft einen großen Unterschied bemerken. Sind zwei Sandproben aus verschiedenen Strömen, so ist dies zuweilen an der mineralogischen Beschaffenheit der Sandkörner erkennbar, an einem und demselben Strome ist es weniger der Fall. Der auffallendste und zugleich für Experimente zur Beobachtung der Sandbewegung ungemein nützliche Unterschied unter mehreren Sandproben besteht in der verschiedenen Färbung. Reinen Quarzsand hat man zuweilen ganz weiß, die einzelnen Körner sind dann unter dem Mikroskop vollkommen durchsichtig, und ein solcher Hügelabhang oder Seestrand kann in einiger Entfernung so blendend wie frisch gefallener Schnee erscheinen. Bunte Färbungen rühren theils von beigemengten Metalloxyden, namentlich Eisenoxyd her, theils, aber seltner, werden sie durch Bruchstücke farbiger Gesteine verursacht, wenn diese ein merkliches Verhältniß zur ganzen Masse ausmachen. Bekannt sind die, in wunderbar schöner Abwechslung farbiger Streifen zu Tage tretenden, aufgerichteten Sandschichten an der Küste von Alum Bay auf der Insel Wight, aber auch unsre Alluvialgegenden enthalten sehr intensiv gefärbte, gelbrothe und rothbraune Schichten.

Wichtig ist auch der Unterschied in der Form der Sandkörner, da einerseits die Form unstreitig Einfluß auf die Beweglichkeit derselben hat, und andererseits die Bewegungen,

denen die Körner durch Strom und Wellen unterworfen werden, zweifelsohne auf die Form der Körner eine Einwirkung ausüben.

Die am allgemeinsten verbreitete Ansicht hierüber ist wohl die, daß die durch den Strom abwärts geführten Geschiebe, Kiesstücke und Sandkörner allmählig durch Reiben, Stoßen und Schleifen an und gegen einander immer mehr verkleinert würden, so daß nach und nach aus dem größeren Material das feinere entstehe, welches letztere demnach abgerundeter sei als das erstere. Eine gerade entgegengesetzte Ansicht, nach welcher im Allgemeinen die Sandkörner, so wie sie im Strome gefunden werden, durch Abspülung der Ufer und der Erdoberfläche hineingelangt sein, und durch den Strom nur nach Maaßgabe ihrer Größe gleichsam *s o r t i r t* werden sollen, schließt sich, wie dies in dem Folgenden näher nachgewiesen werden wird, genauer an die Natur an, denn das Hauptgeschäft des Stromes in dieser Beziehung besteht allerdings darin, daß derselbe das feinere Korn von dem größeren sondert und jenes schneller fortführt als dieses. Nichts destoweniger ist hierbei die Entstehung kleiner Sandkörner aus größeren eine unverkennbare Thatsache, so wie auch das häufige Vorkommen abgeschliffener oder abgerundeter Sandkörner nicht unbemerkt bleiben kann.

Nach häufiger Betrachtung einer großen Menge von Sandproben aus verschiedenen Gegenden, wobei ich mich mäßiger Vergrößerungen durch das Mikroskop bediente (starke Vergrößerungen sind hierbei nicht zu empfehlen, da sie keine Uebersicht gewähren), habe ich gefunden, daß unter den Sandkörnern *aller* Größen gewisse Hauptarten in Betreff der Form zu unterscheiden sind, nämlich:

- a) Unversehrte, ursprüngliche Gebilde; Krystalle, kugelige, perlformige, nierenförmige;
- b) dergleichen Gebilde mit deutlicher Abschleifung hervortretender Theile, zuweilen ganz abgerundet;
- c) Bruchstücke solcher Gebilde; eckig, muschelrig, gespalten oder blätterig;
- d) Bruchstücke von Conglomeraten und Massengesteinen, meistens mit abgeschliffenen Ecken, zuweilen auch ganz abgerundet.

Selten dürfte im Bereiche eines großen Stromes ein Sand gefunden werden, worin nicht *j e d e* dieser Arten von Körnern vertreten wäre, aber es zeigen sich dabei folgende Verschiedenheiten.

Im Allgemeinen kommt die eckige Form (c) unter den kleineren Sandkörnern häufiger vor als unter den größeren; die rundlich abgeschliffenen Formen (b und d) zeigen sich häufiger unter den größeren Körnern; unversehrte Gebilde (a) werden unter allen Größen von Körnern gefunden. In der Nähe der See, wo die Wellen und der Wind lebhaftere Wirkungen auf die Bewegung des Sandes ausüben, herrschen die rundlichen Formen auch bei den kleineren Körnern vor, und man kann zuweilen an nahe bei einander liegenden Küstenpunkten, wenn der eine gegen Wind und Wellen geschützt, der andere denselben ausgesetzt ist, diese Verschiedenheit der Lage in den Formen der Sandkörner ausgesprochen finden. Ein solcher Fall kommt an der Mündung der Elbe vor, wo in dem feinen Quarzsande des Cuxhavener Hafens die eckige Form auffallend contrastirt mit den rundlichen Formen des Sandes von dem nur etwa eine Meile weiter seewärts belegenen Steinmarter Seestrande. Hieraus ist zu schließen, daß viele der kleineren Sandkörner ihre Abrundung nicht sowohl auf dem langen Wege erhalten, den sie im Strome zurücklegen, sondern daß sie zum Theil in ziemlich eckiger Form bis in die Nähe des Meeres geführt, dann aber am Strande durch Wind und Wellen abgeschliffen werden.

Da ich mich in Betreff dieser interessanten Thatsachen nicht auf meine alleinige Beobachtung verlassen wollte, habe ich Proben von ausgesiebten *kleinen* Sandkörnern aus verschiedenen Gegenden des Elbestroms an Herrn Doctor Herrmann SCHACHT, der in Fragen dieser Art als Autorität genannt werden darf, gesandt. Dieser hat die hier in Betracht kommenden Körner folgendermaßen charakterisirt:

- 1) Gegend von Lauenburg. Ziemlich reine Quarzkörner, meist scharfkantig.
- 2) Gegend von Altona. Fast durchaus reine Quarzkörner mit nicht abgeschliffener Oberfläche.
- 3) Aus dem Cuxhavener Quarantäne-Hafen. Die Körner sind scharfkantig, nur vereinzelt hie und da ein abgeschliffenes Korn.
- 4) Vom Steinmanner Seestrand. Quarzkörner, rein; der Mehrzahl nach rundlich abgeschliffen und mit warzenförmiger Oberfläche, d. h. nicht vollkommen glatt oder polirt, wohl aber der scharfen Kanten beraubt.
- 5) Vom Strande der Insel Neuwerk. Sehr reine Quarzkörner, zum Theil etwas abgeschliffen, zum Theil scharfkantig.

Diese Proben waren, wie gesagt, sämmtlich von der feinsten ausgesiebten Körnergröße, deren Durchmesser kleiner als 0,15 Millimeter ist. Beachtet man nun, daß die großen Körner am Boden des Strombettes gerollt oder gewälzt, die kleinsten dagegen bei lebhafter Strömung schwebend fortgetragen werden, so erklärt es sich, daß diese die eckige Form länger conserviren; der gerollte Körper überliefert, indem er abgerundet wird, die kleinen abgestoßenen Stückchen dem Strome in eckiger Form, und die Form der letzteren bleibt eckig, so lange sie selber nicht gerollt werden. Im Bereiche der Strandwellen aber werden alle Körner gerollt, die großen wie die kleinen, und zwar mit einer viel größeren Geschwindigkeit als dies durch die Strömung geschieht; demnach muß am Meeresstrande die abgerundete Form allgemeiner vorherrschen und zuletzt, wenn die Körner als Flugsand, fast mit Windesgeschwindigkeit am Boden hingeführt werden, ihre Vollendung erhalten. Hieraus erklärt sich auch die größere Beweglichkeit des Flugsandes im Vergleich mit getrocknetem Baggersande, die nicht einer größeren Feinheit des Kornes zugeschrieben werden kann, da auch grober Flugsand sich durch größere Beweglichkeit vom gebaggerten Sande unterscheidet. In kleineren Küstenflüssen, welche schon nach einem kurzen Laufe aus dem Hochlande das Meer erreichen, müssen hiernach auch die großen Sandkörner scharfkantiger sein, eine Annahme, die ich bei Vergleichung von Sand aus dem River Tyne in Nord-England sehr in die Augen fallend bestätigt fand.<sup>1)</sup> Noch ist zu bemerken, daß der Sand im Fluthgebiete der Ströme häufig fremdartige Beimischungen enthält, die schon bei mäßigen Vergrößerungen als Bruchstücke von Thierschalen, Muscheln und dergleichen erkannt werden. Von zwei derartigen Sandproben hat Herr Doctor SCHACHT folgende Beschreibung gegeben:

1) Von der Gegend bei Bojen-Sand (Elbe). Vielfach mit Seesternfüßen (nach EHRENBURG'S Angabe) verunreinigt; ferner, jedoch in geringerer Menge, Infusorienpanzer (Sphaerodiscus) und Bündel langer Kieselnadeln (von einer Spongia?), auch sehr kleine Schneckenhäuschen, desgleichen Bruchstücke äußerst zarter Muschelschalen; außerdem Pflanzenüberreste, wahrscheinlich von Schilffarten, vielleicht auch braunkohlenartige Substanzen, über welche sich jedoch nichts Näheres ausmachen läßt.

2) Aus dem Quarantäne-Hafen zu Cuxhaven. Sehr unrein; ähnlich wie bei Bojen-Sand mit vielen Seesternfüßen, Schneckenhäusern und Bündeln zarter Kieselnadeln. Pflanzenüberreste scheinen jedoch zu fehlen, dagegen Bruchstücke von Insectenbeinen u. dergl.

Ich wende mich jetzt zu den Untersuchungen, welche die Eigenschaften des reinen, von Schlick und anderen Beimischungen befreiten Sandes betreffen.

In Betreff des specifischen Gewichts wird von hydrotechnischen Schriftstel-

<sup>1)</sup> Besonders geeignet zur Veranschaulichung der allmähigen Formveränderung durch Abschleifen, sind die im Sande befindlichen Feldspathkristalle, die an ihrer, ursprünglich rhomboëdrischen Form leicht erkannt werden, auch wenn die Kanten schon ziemlich weggeschliffen sind.

lern angenommen, daß dasselbe für feinen und groben Sand, für Kies und größere Geschiebe keine erhebliche Unterschiede zeige, ein Satz, den ich bei meinen Untersuchungen mit Sandsorten von der verschiedensten Körnergröße vollkommen bestätigt gefunden habe.

BRAHMS, dessen Angaben den noch jetzt geltenden praktischen Regeln in den wesentlichsten Punkten zum Grunde liegen, fand das spezifische Gewicht „eines Kieselsteins“ = 2,59, dasjenige von reinem weißen Sande = 2,64.

WOLTMAN setzt (Beitr. Bd. 2.) das specif. Gew. der „Feldsteine zu Uferbefestigungen,“ worunter an seinem damaligen Wohnorte und Wirkungskreise (Cuxhaven) granitische Findlingsblöcke verstanden werden, = 2,6, und theilt (Bd. 3, S. 197) folgende auf eigenen Versuchen beruhende Verhältnißzahlen mit:

|                        |                     |                              |
|------------------------|---------------------|------------------------------|
| Feldst.                | 2 bis 6 Pfd. schwer | 2,586; Zwischenräume = 0,376 |
| Kiesel                 | ½ Pfd. schwer       | 2,696; Zwischenräume = 0,417 |
| Kiesel                 | 3 Lth. schwer       | 2,629; Zwischenräume = 0,393 |
| Flugsand               |                     | 2,577; Zwischenräume = 0,412 |
| Geestsand (Grubensand) |                     | 2,626; Zwischenräume = 0,419 |

Diese Werthe für das spezifische Gewicht gelten für die Substanz der Körner ohne Zwischenräume gedacht; das Verhältniß der letzteren zum ganzen Raum ist durch die zweite der gegebenen Zahlen ausgedrückt.

Daß sich durch meine Versuche für das spezifische Gewicht keine neue abweichende Bestimmung ergeben werde, ließ sich schon nach einigen wenigen Experimenten erkennen, und es würde keiner Fortsetzung derselben bedurft haben, wenn nicht in dem Verhältniß der Zwischenräume zum ganzen Raume starke Verschiedenheiten sich gezeigt hätten, welche das Interesse an der Auffindung eines darauf bezüglichen Gesetzes erregten. Es wurden deshalb mit verschiedenen Sandsorten 42 Experimente ausgeführt, wobei folgendermaßen verfahren ward:

Ein Gefäß von bekannter Inhaltsgröße ward mit trockenem Sande (80°R.) gefüllt, das Gewicht des eingeschütteten Sandes bestimmt, dann der Sand im Gefäß mit Wasser gesättigt und das Gewicht des hiezu erforderlichen Wassers notirt, und schließlich, weil trockner Sand durch Benetzung stets mehr oder weniger zusammensinkt, durch abwechselnde Hinzufügung von trockenem Sande und Wasser, bei jedesmaliger Notirung des Gewichtes des Hinzugefügten, die Sache dahin gebracht, daß das Gefäß mit völlig von Wasser gesättigtem Sande, ohne eingeschlossene Luftblasen und ohne überflüssiges Wasser, genau gefüllt war.

Nennt man dann:

- P* das Gewicht des zur Auffüllung des ganzen Gefäßes erforderlichen Wassers,
- g'* das Gewicht des Sandes, welcher in dem Gefäße Platz gefunden hat,
- g''* das Gewicht des Wassers, welches in den Zwischenräumen der Sandkörner im Gefäße Aufnahme fand,
- G* das spezifische Gewicht der Sandkörner und
- J* das Verhältniß der Zwischenräume zum ganzen Raum, so hat man

$$G = \frac{g'}{P - g''} \text{ und } J = \frac{g''}{P}.$$

Als Beispiel möge folgender Versuch dienen:

Für das benutzte Gefäß war *P* = 78,165 Grammen;

|           |            | Sand   | Wasser |
|-----------|------------|--------|--------|
| 1. Wägung | 121,20 Gr. | 121,20 | —      |
| 2. Wägung | 151,89     | —      | 30,69  |
| 3. Wägung | 154,76     | 2,87   | —      |
| 4. Wägung | 155,05     | —      | 0,29   |

Das mit gesättigtem Sande gefüllte Gefäß enthielt also 124,07 Gr. Sand u. 30,98 Gr. Wasser; hieraus folgt:

$$\text{das spezifische Gewicht } G = \frac{124,07}{78,165 - 30,98} = 2,63,$$

$$\text{das Verhältniß der Zwischenräume } J = \frac{30,98}{78,165} = 0,396.$$

Bei einem Gefäße von der angegebenen Größe kommt man gewöhnlich mit 4 Wägungen zum Ziel, bei größeren Gefäßen sind mehrere erforderlich.

Für das specif. Gewicht war das Mittel aus allen 42 Versuchen = 2,579; der kleinste gefundene Werth war = 2,51, der größte = 2,63. Weder die Ortslage noch die Größe der Körner hatte darauf einen Einfluß, denn es ergab sich, daß sowohl bei den Versuchen mit dem feinsten Sande, als auch bei denen mit den größten Sorten, und ebenfalls bei denjenigen, die mit natürlichen Sandgemengen von verschiedenen Fundorten gemacht waren, die Werthe von  $G$  vom Maximum bis zum Minimum schwankten. Da WOLTMAN für Sand  $G = 2,577$  bis  $2,626$ , also im Mittel  $2,601$ , und BRAHMS  $G = 2,64$  angiebt, und das obige Mittel =  $2,579$  ist, so wird das Mittel aus allen dreien, oder  $2,6$  als das spezifische Gewicht unseres gewöhnlichen Flußsandess, derselbe möge fein oder grob sein, vom oberen Strome oder von der Meeresküste herrühren, anzunehmen sein.

Das Verhältniß der Zwischenräume zum ganzen Raume, oder der Werth von  $J$  schwankt, scheinbar unregelmäßig, zwischen  $J = 0,396$  bis  $J = 0,279$ .  $J$  ist offenbar von mindestens zwei Umständen abhängig, nämlich von der mehr oder minder gleichen Größe der Körner und von ihrer mehr oder minder regelmäßigen Gestalt, und da jeder dieser Umstände stark variiren kann, so müssen natürlich sehr verschiedene Werthe von  $J$  zum Vorschein kommen, in denen eine Regel nur dann zu entdecken ist, wenn man den Einfluß eines jener beiden Umstände eliminiren kann. Letzteres ist in Betreff der Körnergröße möglich, wenn man Versuche mit Sandproben von nahezu gleicher Körnergröße aus verschiedenen Stromgegenden zusammenstellt. Hierzu eignet sich die bei meinen Versuchen mit No. VI bezeichnete Sorte am besten, da bei ihr die Grenzen der Körnergröße am nächsten aneinander liegen (die Körner dieser Sorte haben nicht unter  $0,15$  und nicht über  $0,22$  Millimeter Durchmesser). Fünf Versuche sind mit dieser Sorte gemacht, und zwar war der dazu benutzte Sand von 5 verschiedenen Orten entnommen, die auf der 21 Meilen langen Stromstrecke von Lauenburg bis zu der an der See belegenen Insel Neuwerk vertheilt liegen. Danach ist nach der Reihenfolge der Ortslage am Strome:

|                |          |               |
|----------------|----------|---------------|
| für Lauenburg  | Sorte VI | $J = 0,372$   |
| für Geesthacht | Sorte VI | $J = 0,342$   |
| für Köhlbrandt | Sorte VI | $J = 0,369$   |
| für Blankenese | Sorte VI | $J = 0,337$   |
| für Neuwerk    | Sorte VI | $J = 0,331$ . |

In diesen Zahlen scheint das Princip der Abnahme der Werthe von  $J$ , so wie man vom oberen Strome nach der See zu fortschreitet, ausgesprochen zu sein, woraus sich auf eine zunehmende Regelmäßigkeit der Gestalt der Körner in dieser Richtung schließen läßt, da a priori anzunehmen ist, daß unregelmäßige Körper sich nicht so dicht lagern als regelmäßige.

Denkt man sich einen Haufen von gleich großen Kugeln, deren Durchmesser als verschwindend klein gegen die Größe des Haufens angenommen wird, so daß es auf die Gestalt des letzteren nicht weiter ankommt, und setzt man voraus, daß diese Kugeln möglichst dicht gelagert sind, so findet man die Zwischenräume zwischen den Kugeln =  $0,2595$  des ganzen Raumes; soweit würde also der Werth von  $J$  herabsinken, wenn gleich

große Sandkörner bis zur vollkommenen Kugelgestalt abgeschliffen wären. Die obigen Zahlen nähern sich offenbar diesem Grenzwerte, jedoch ohne denselben zu erreichen, wie es auch in der Natur der Sache liegt, da selbst in dem abgerundetsten Flugsande noch eine große Mannigfaltigkeit der Gestalt der Körner gefunden wird.

Der kleinste Werth von  $J$ , den meine Versuche ergaben, nämlich  $J = 0,279$ , liegt, wie man sieht, diesem auf die Regelmäßigkeit der Gestalt bezüglichen Grenzwerte sehr nahe; dies hat aber einen andern Grund, indem der Versuch, zu dem jener kleinste Werth gehört, mit einem Sande von sehr v e r s c h i e d e n e r Körnergröße angestellt ward, ein Umstand, der bekanntlich viel dazu beiträgt, eine dichte Lagerung zu bewirken, weil die kleineren Körner in die Zwischenräume zwischen den größeren fallen.

Das Mittel aus allen 42 Versuchen ist . . . . .  $J = 0,344$ .

Das Mittel aus 11 Versuchen mit natürlichen Gemengen, so wie das Strombette sie an verschiedenen Orten darbietet, ist . . . . .  $J = 0,346$ , wobei der kleinste Werth =  $0,307$ , der größte =  $0,396$  war.

Es kann also nach meinen Versuchen nicht wohl ein größerer Mittelwerth als  $0,345$  für die Zwischenräume im Flußsande angenommen werden, ein Werth, der sich den in der Praxis gebräuchlichen Regeln für Mörtelbereitung anschließt, dagegen von der oben mitgetheilten Angabe WOLTMAN's, die  $0,41$  betrug, nicht unerheblich abweicht.

Von Interesse ist es, die hierauf bezüglichen Resultate für Sand und Schlick mit einander zu vergleichen. Nach meinen früheren Mittheilungen<sup>1)</sup> beträgt das specif. Gewicht der Schlicktheilchen  $2,43$ , das Verhältniß ihrer Zwischenräume zum ganzen Raume  $0,392$ , und es ist nach dem Obigen das specifische Gewicht der Sandkörner im Mittel =  $2,6$ , das Verhältniß ihrer Zwischenräume zum Raume der ganzen Masse =  $0,35$ . Wenn nun auch, wie wir gesehen haben, diese Zahlen zwischen gewissen Grenzen schwanken, so scheint es nach denselben doch nicht mehr zweifelhaft zu sein, daß in der That die Schlicktheilchen nicht bloß kleiner, sondern auch in Masse specifisch leichter und im Einzelnen unregelmäßiger (eckiger?) von Form sind als die Sandkörner. Ersteres erklärt sich daraus, daß im Schlick die Thonerde, im Sande die schwerere Kieselerde vorherrscht. Letzteres kann zur Bestätigung der eben ausgesprochenen Ansicht dienen, daß vom Strome die feineren Sinkstoffe weniger abgerundet werden als die gröbereren. Beide Eigenthümlichkeiten aber stehen ohne Zweifel mit dem bekannten Umstande im Zusammenhange, daß Sand, als Alluvialschicht, einen besseren Baugrund abgiebt als Klei- oder Thonschichten.

In Betreff der Größe der Sandkörner lehrt die Beobachtung aller Orten, daß jeder natürliche Sand ein Gemenge von gröbereren und feineren Körnern ist; sogar der allerfeinste, staubähnliche Sand zeigt unter dem Mikroskop eine unendliche Verschiedenheit der Körnergröße. Daher beruht die Bezeichnung einer Sandmasse als grob- oder feinkörnig im gewöhnlichen Sprachgebrauche nur auf einer höchst unsicheren Schätzung der Größe derjenigen Körner, die in der Masse vorherrschend zu sein scheinen, welches aber nicht genügt, wenn für wissenschaftliche Zwecke der Sand nach dem Grade seiner Feinheit unterschieden werden soll. Zur Erforschung der Wirkungen, die in der Natur strömendes Wasser auf ein sandiges Bette ausübt, trägt es wesentlich bei, wenn man eine präzise Charakteristik des in verschiedenen Gegenden eines großen Stromes befindlichen Sandes mit Bezug auf seine Körnergröße aufstellen kann, denn es ist vorauszusetzen, daß der Widerstand der Sandkörner gegen die Fortbewegung durch den Strom eine Function ihres Gewichtes, also bei gleichem specifischen Gewichte ihres cubischen Inhaltes ist. Wären nun in jeder bestimmten Stromgegend alle Sandkörner von gleicher Größe, so wäre es sehr einfach, das Widerstandsvermögen

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Bauwesen, Jg. 10, 1860, S. 492

des Grundbettes gegen den Strom in einen präzisen Ausdruck zu fassen; man brauchte nur an mehreren geeigneten Stellen die Größe einiger Sandkörner direct zu messen und die Ergebnisse mit den dabei beobachteten Stromgeschwindigkeiten zusammenzustellen. Es ist bekannt, daß es in der That derartige traditionelle Zusammenstellungen giebt, deren Unzulänglichkeit übrigens HAGEN (Handb. II. 1 p. 360) bemerklich gemacht und durch eigne Beobachtung dargethan hat.

Zur Charakteristik eines Gemenges von Körnern ungleicher Größe eignet sich am besten diejenige Lineargröße, welche man den mittleren Durchmesser nennen kann, nämlich der Durchmesser, den die Körner haben würden, wenn sie – bei unveränderter Anzahl – gleich groß wären. Das Verfahren, um zu einer, wie sich von selbst versteht approximativen Bestimmung eines diesen Durchmesser darstellenden Ausdrucks zu gelangen, ist nicht besonders schwierig, wenn man sich mit einem geeigneten Apparate, der mehrere Siebe von verschiedener Feinheit der Löcher enthalten muß, versieht. Der von mir angewendete Apparat besteht aus 7 blechernen Gefäßen, welche in bestimmter Reihenfolge, dicht schliessend, auf einander passen; das unterste Gefäß hat einen dichten Boden, die Böden der 6 anderen bestehen aus Sieben von verschiedener Feinheit, und zwar von oben nach unten feiner werdend; das oberste Gefäß wird mit einem dichten Deckel geschlossen. Es ist leicht einzusehen, wie bei angemessener Handhabung eines solchen Apparates die Körner eines in das oberste Gefäß geschütteten Sandgemenges sich nach Maßgabe ihrer Größe in den verschiedenen Räumen zwischen und unter den Sieben vertheilen werden, wodurch dann das Gemenge in eine Anzahl von Sorten zerlegt ist, deren jede aus Körnern von nahezu gleicher Größe besteht. Bestimmt man dann das Gewichtverhältnis der einzelnen Sorten zu dem Gewichte der ganzen eingeschütteten Masse, so hat man Zahlen, aus denen, in Verbindung mit der bekannten oder leicht zu ermittelnden Dimension der Löcher in den Sieben, man den gesuchten mittleren Durchmesser der Sandkörner ableiten kann.

Es sei

$P$  das Totalgewicht des eingeschütteten Gemenges,

$p', p'', p''' \dots$  seien die Gewichte der einzelnen Sorten,

$d', d'', d''' \dots$  die Durchmesser der Körner in denselben,

$n', n'', n''' \dots$  die Anzahl der Körner in den einzelnen Sorten, und

$D$  der gesuchte mittlere Durchmesser, welchen die Körner haben würden, wenn sie in der Anzahl  $N = n' + n'' + n''' \dots$  vorhanden und alle von gleicher Größe wären.

Da nun die Gleichungen statt finden:

$$P = p' + p'' + p''' + \dots$$

$$P = \alpha N D^3; p' = \alpha n' d'^3; p'' = \alpha n'' d''^3; \text{ etc.},$$

wo  $\alpha$  einen von der Gestalt und dem specifischen Gewicht der Körner abhängigen Coefficienten bezeichnet, der aber bei Entwicklung der Schlußgleichung herausfällt, so ist:

$$D^3 = \frac{P}{\frac{p'}{d'^3} + \frac{p''}{d''^3} + \frac{p'''}{d'''^3} + \dots}$$

und dies ist die Form, deren Daten unmittelbar aus dem oben beschriebenen Experimente hervorgehen, nämlich das Totalgewicht, die Gewichte der einzelnen Sorten und die, aus den Dimensionen der Löcher in den Sieben abzuleitenden Durchmesser der Körner in den einzelnen Sorten.

Da der Widerstand des Sandes gegen die Fortbewegung durch den Strom dem cubischen Inhalte der Körner (unter Voraussetzung gleicher Gestalt und gleichen specifischen Gewicht-

tes) proportional ist, so eignet sich die dritte Potenz von  $D$  vorzugsweise zur Charakterisierung des Sandes im Strombette.

Die Größe des Apparates für dergleichen Experimente, so wie die Feinheit der Siebe kann natürlich sehr verschieden angenommen werden; mein Apparat ist im Ganzen 18 Zoll hoch, cylindrisch und hat  $8\frac{1}{2}$  Zoll Durchmesser. Die oberen 4 Siebe sind von Zinkblech und haben kreisrunde Löcher von respective 1,8, 1,25, 0,5 und 0,36 Millimeter Durchmesser. Die beiden unteren Siebe sind von Seidengeweben, in denen die Größe der Oeffnungen respective zu 0,22 und 0,15 Millimeter gefunden ward. Die Fäden solcher, in den Sichtapparaten der Mehlmühlen gebrauchten Zeuge bilden ein sehr regelmäßiges Geflecht und können sich nicht an einander verschieben.

Die Durchmesser der einzelnen, aus meinem Apparat hervorgehenden Sorten ergeben sich hiernach annähernd wie folgt:

$$\text{Sorte I; } d^I = \frac{2,2 + 1,8}{2} = 2,0 \text{ Millimeter}$$

$$\text{Sorte II; } d^{II} = \frac{1,8 + 1,25}{2} = 1,52 \text{ Millimeter}$$

$$\text{Sorte III; } d^{III} = \frac{1,25 + 0,50}{2} = 0,87 \text{ Millimeter}$$

$$\text{Sorte IV; } d^{IV} = \frac{0,50 + 0,36}{2} = 0,43 \text{ Millimeter}$$

$$\text{Sorte V; } d^V = \frac{0,36 + 0,22}{2} = 0,29 \text{ Millimeter}$$

$$\text{Sorte VI; } d^{VI} = \frac{0,22 + 0,15}{2} = 0,18 \text{ Millimeter}$$

$$\text{Sorte VII; } d^{VII} = \frac{0,15 + 0,01}{2} = 0,08 \text{ Millimeter}$$

wobei zu bemerken ist, daß durch den Apparat selbst die Sorten I und VII nur nach einer Seite hin begrenzt werden; ich habe deshalb bei Sorte I durch Weglassung aller Steinchen, die über 2,2 Millimeter hielten, und bei Sorte VII durch Ausschlämmen der Schlicktheilchen, wo solches erforderlich war, hier Grenzen gebildet, denen die obigen Zahlen nahe genug entsprechen.

Nach dem im Vorstehenden beschriebenen Verfahren habe ich nun mit Sand, der aus dem Strombette der Elbe entnommen war, und zwar an einer Reihe von Punkten, die von Lauenburg bis zur Insel Neuwerk, also vom oberen Stromgebiete bis zur See vertheilt belegen sind, Versuche angestellt. Zur besseren Uebersicht trenne ich die Resultate in folgende Abtheilungen:

- I. Sand in der Nähe des Hauptstromes bei ordinär Niedrigwasser aufgenommen.
- II. Sand aus der Tiefe des Stromschlauchs heraufgeholt.
- III. Sand vom Strome entfernt, oder dagegen geschützt.
- IV. Sand vom Wellenaufwurf am Ufer unweit der Hochwasserlinie.

Die hier mitgetheilten Resultate sind meistens Durchschnittszahlen aus 4 Versuchen; ich habe eine Mittheilung aller einzelnen Versuche aus Rücksicht auf Raumersparung unterlassen, was zulässig erschien, da die Abweichungen derselben bei jeder Sandprobe nur gering waren.

## I. Sand in der Nähe des Hauptstromes, bei Niedrigwasser aufgenommen.

| Sorte.           | 1.  | 2.          | 3.          | 4.        | 5.         | 6.           | 7.     | 8.          | 9.           | 10.               | 11.              | 12.            | 13.         | 14.         | 15.                  |       |       |
|------------------|---|-------------|-------------|-----------|------------|--------------|--------|-------------|--------------|-------------------|------------------|----------------|-------------|-------------|----------------------|-------|-------|
|                  | Lauenburg.  | Geesthacht. | Riepenburg. | Warwisch. | Ortkathen. | Bullenhusen. | Peute. | Köhlbrandt. | Nienstedten. | Blankenese, Nord. | Blankenese, Süd. | Hanskalb Sand. | Bojen Sand. | Juels Sand. | Bank von Glückstadt. |       |       |
|                  | Gewichte der einzelnen Sorten in Procent des ganzen Gewichts. |             |             |           |            |              |        |             |              |                   |                  |                |             |             |                      |       |       |
| I. $p^I =$       | 1,93  | 1,40        | 2,77        | 2,67      | 1,47       | 0,00         | 0,00   | 0,00        | 0,00         | 0,09              | 0,00             | 0,02           | } 1,56      | } 0,23      | 0,00                 | 0,00  |       |
| II. $p^{II} =$   | 1,86  | 1,15        | 1,65        | 1,55      | 1,21       | 0,00         | 0,04   | 0,00        | 0,00         | 0,01              | 0,00             | 0,14           |             |             | 0,00                 | 0,00  | 0,00  |
| III. $p^{III} =$ | 36,39   | 17,56       | 25,28       | 31,36     | 21,44      | 0,45         | 6,31   | 0,47        | 0,18         | 0,35              | 0,75             | 1,79           |             |             | 0,23                 | 0,50  | 0,50  |
| IV. $p^{IV} =$   | 47,82   | 30,69       | 36,98       | 44,62     | 39,79      | 10,69        | 42,86  | 1,63        | 2,00         | 0,45              | 3,11             | 6,33           |             |             | 2,32                 | 3,96  | 2,32  |
| V. $p^V =$       | 9,89  | 17,70       | 17,31       | 13,47     | 23,59      | 32,67        | 32,92  | 9,56        | 16,48        | 0,65              | 13,87            | 16,85          |             |             | 0,19                 | 3,20  | 3,96  |
| VI. $p^{VI} =$   | 1,96  | 28,72       | 14,80       | 5,55      | 12,04      | 51,68        | 16,63  | 67,90       | 78,44        | 64,05             | 77,38            | 35,29          |             |             | 15,64                | 3,20  | 46,29 |
| VII. $p^{VII} =$ | 0,15  | 2,78        | 1,21        | 0,78      | 0,46       | 4,51         | 1,24   | 20,44       | 2,90         | 34,40             | 4,89             | 39,58          |             |             | 82,61                | 96,57 | 46,93 |

Betrachten wir zuvörderst, ehe wir in Berechnungen eingehen, die in vorstehenden Zahlen ausgesprochenen Thatsachen an und für sich, so zeigt sich darin die Art, wie das Mischungsverhältniß von Sandkörnern verschiedener Größen sich nach und nach verändert, wenn man dem Strome von der oberen Stromgegend seewärts folgt. Man bemerkt, daß in der oberen Stromgegend die feinste Sorte VII keineswegs fehlt, aber sie macht daselbst unter der überwiegenden Menge größerer Körner nur ein Geringes aus: bei Lauenburg 0,15, bei Geesthacht 1,78, bei Riepenburg 1,21, bei Warwisch 0,78; bei Ortkathen 0,46 und bei der Peute 1,24 Procent der Gesamtmasse. Dies ist freilich, absolut genommen, durchaus nicht als eine kleine Quantität anzusehen, relativ aber verschwindet dieselbe, und man kann danach muthmaßen, daß der Strom in diesen Gegenden Sandkörner von der Feinheit No. VII nicht ruhen läßt, sondern aufnimmt und schwebend fortführt, wenn sie nicht durch gröberes, schwerer zu bewegendes Material bedeckt und dadurch gegen den Angriff des Stromes geschützt sind.

Die nächstgrößere Sorte VI ist bei Lauenburg gleichfalls nur schwach vertreten, mit etwa 2 Procent; dagegen kommt sie bei Geesthacht (in einer unregulirten, zu Ablagerungen geneigten Stromstrecke, die in den Commissions-Protocollen der Elbeuferstaaten als Leichtstelle erwähnt ist) mit beinahe 30 Procent vor, nimmt dann in den folgenden Stromgegenden: Riepenburg, Warwisch und Ortkathen, respective auf 15,6 und 12 Procent ab; steigt in der verflachten Gegend bei Bullenhusen (nahe oberhalb der Stromtheilung) auf mehr als 50 Procent, und sinkt bei der Peute noch einmal auf 16 Procent, um von da an abwärts so lange vorherrschend zu bleiben, bis endlich bei Hanskalb-Sand die feinere Sorte VII das Uebergewicht erhält.

Die Sorte V findet sich bei Lauenburg mit ungefähr 10 Procent, steigt dann bis auf 33 bei der Peute und wird von da an abwärts durch die feineren Sorten überwogen.

Die Sorte IV ist bei Lauenburg vorherrschend, fast die Hälfte der ganzen Masse, und bildet auch in den folgenden Stromgegenden bis zur Peute den Hauptbestandtheil; weiter abwärts kommt sie nur in geringem Verhältniß vor.

Die Sorte III, welche bei Lauenburg und in den darauf folgenden Gegenden über 30 Procent beträgt, sinkt schon bei Ortkathen auf 21 und von da an auf ein ganz geringfügiges Maaß herab. Die größten Sorten II und I kommen von Lauenburg bis zum Ortkathen noch

in merklichem Verhältniß vor, weiter abwärts verschwinden sie fast gänzlich. Eine Spur derselben zeigt sich bei Blankenese in der nördlichen Stromrinne, und in den unter No. 12 bis 14 registrierten Gegenden. In Betreff der letzteren ist jedoch zu bemerken, daß hier Muschel-fragmente etc. mit vorkamen, die zwar aus den Versuchsergebnissen nicht entfernt werden durften, aber bei der Auffassung derselben nicht als Sandkörner anzusehen, und deshalb zusammengezogen sind.

Faßt man diese sämtlichen Thatsachen unter einen gemeinschaftlichen Gesichtspunkt zusammen, so sieht man, daß der Strom das feine Material massenweise aus der oberen Stromgegend fortführt und dasselbe weiter abwärts, wo die bewegende Kraft, sei es wegen örtlicher Unregelmäßigkeiten (Geesthacht) oder wegen allgemeiner Abnahme des Gefälles und Gegenwirkung der Meeresfluth, ermattet, nach und nach fallen läßt. Das gröbere Material der ersten vier Sorten ist offenbar schon bei Lauenburg lediglich auf die rollende oder wälzende Bewegung angewiesen und gelangt in die Stromgegend unterhalb der Peute nur dann ohne vorherige Verkleinerung durch Abschleifung und Bruch, wenn besondere Umstände seine Bewegung ausnahmsweise begünstigen.

## II. Sand aus der Tiefe des Stromschlauches.

| Sorte.           | 16.  | 17.   | Bemerkungen.            |                  |
|------------------|--|---|-------------------------|------------------|
|                  | Riepenburg.<br>Zu vergleichen mit<br>No. 3 der vorigen<br>Tabelle. | Peute.<br>Zu vergleichen mit<br>No. 7 der vorigen<br>Tabelle. | In voriger Tabelle war: |                  |
|                  | Gewichte der Sorten in Procent des Ganzen.                         |   | No. 3.<br>Riepenburg.   | No. 7.<br>Peute. |
| I. $p^I$ =       | 4,91   | 1,78  | 2,77                    | 0,00             |
| II. $p^{II}$ =   | 4,09   | 1,62  | 1,65                    | 0,04             |
| III. $p^{III}$ = | 44,70  | 32,70   | 25,28                   | 6,31             |
| IV. $p^{IV}$ =   | 38,27  | 44,92   | 36,98                   | 42,86            |
| V. $p^V$ =       | 2,17   | 14,83   | 17,31                   | 32,92            |
| VI. $p^{VI}$ =   | 5,49   | 3,92  | 14,80                   | 16,63            |
| VII. $p^{VII}$ = | 0,37   | 0,23  | 1,21                    | 1,24             |

In den Columnen No. 16 und 17 zeigt sich die Beschaffenheit der Körnergröße in der Tiefe des Stromschlauches an den genannten Stellen. Vergleicht man diese Zahlen mit den in den Columnen No. 3 und 7 der vorigen Tabelle enthaltenen, welche den Sand in der Niedrigwasserlinie in denselben Gegenden darstellen, so ergibt sich nicht nur im Allgemeinen, daß der Sand in der Tiefe des Stromes gröber ist als auf den flachen Seitenabhängen des Strombettes, sondern auch im Speciellen, daß diese Veränderung in beiden Fällen in ganz übereinstimmender Weise herbeigeführt ist. Es ist nämlich die mittlere Sorte IV nahezu in demselben Verhältnisse (Riepenburg 36,98 und 38,27; Peute 42,86 und 44,92); die gröberen Sorten I, II und III sind in der Tiefe stärker vertreten als am Strande, die feineren dagegen, V, VI und VII, schwächer. Man sieht hieraus ganz deutlich, daß in der Tiefe das feine Material durch den Strom schärfer aussortirt wird.

Vergleicht man die Zahlen der Columne No. 18 mit denen der Columne No. 2 der ersten Tabelle, so findet man eine Veränderung in gerade entgegengesetzter Richtung wie diejenige, welche der Sand aus der Tiefe des Stromschlauches darbot. In Columne No. 18 sind nämlich, wie man sieht, die gröberen Sorten schwächer, die feineren stärker vertreten als in Columne 2. Uebrigens ist ersichtlich die Sorte VII auch auf dem flachen Sandfelde an der Nebenrinne

## III. Sand vom Strome entfernt liegend oder dagegen geschützt.

| Sorte.                                     | 18.  | 19.  | 20.   | 21.  | 22.  |
|--|--|--|---|--|--|
|  | Geesthacht.<br>Sandfeld an<br>einer Neben-<br>rinne.<br><br>Zu vergleichen<br>mit No. 2 der<br>ersten Tabelle. | Cuxhaven.<br>Im Innern des<br>Quarantäne-<br>Hafens. | Steinmarn<br>Strand.<br>Seestrand<br>mit flachen<br>Watten davor. | Insel Neuwerk.<br>Seestrand mit<br>Brandung. | Vom Strande<br>der Helgolan-<br>der Sanddüne<br>ohne genauere<br>Ortsangabe. |
| Gewichte der Sorten in Procent des Ganzen. |  |  |   |  |  |
| I. $p^I$ =                                 | 0,00   | 0,00   | 0,00  | } Muschelfragmente                           | 0,24   |
| II. $p^{II}$ =                             | 0,01   | 0,00   | 0,00  |  | 0,11   |
| III. $p^{III}$ =                           | 0,28   | 0,00   | 0,00  |  | 0,61   |
| IV. $p^{IV}$ =                             | 11,35  | 0,00   | 0,01  |  | 2,90   |
| V. $p^V$ =                                 | 44,32  | 0,00   | 0,04  |  | 14,21  |
| VI. $p^{VI}$ =                             | 42,80  | 5,03   | 6,07  |  | 80,88  |
| VII. $p^{VII}$ =                           | 1,24   | 94,91  | 93,88   |  | 32,17  |

beinahe rein aussortirt, während die Sorte VI daselbst schon bedeutenderen Widerstand leistet.

Die Zahlen der Columnen No. 19, 20 und 21 sind untereinander zu vergleichen; sie zeigen, daß zwischen dem Sande im Quarantäne-Hafen zu Cuxhaven und demjenigen am Steinmarnen Strande kein nennenswerther Unterschied in der Feinheit gefunden wird, beide aber den größten Grad der Feinheit haben, der mit meinen Mitteln darzustellen ist. Am Strande der Insel Neuwerk, wo die Wellenbewegung auf den Abhang des Strandes wirkt, und der tiefe Stromschlauch bedeutend näher liegt als beim Steinmarnen Strande, findet sich ein weit größeres Korn; es ist klar, daß die Körner bis zur Sorte V für den Strom, der in das Innere des Quarantäne-Hafens eintritt, zu schwer sind, daß aber im tiefen Hauptstrom die Sorten III bis V noch vorkommen können, indem sie bei Neuwerk von den Brandungen an den dortigen Strand geführt werden. Ob die bei Helgoland gefundenen Verhältnisse hiermit Zusammenhang haben, lasse ich dahingestellt, halte es aber nicht für wahrscheinlich.

## IV. Sand vom Wellenaufwurf über der Hochwasserlinie und nahe an derselben.

| Sorte.  | 23.   | 24.   | Bemerkungen.               |        |
|---|---|---|----------------------------|--------|
|   | Blankenese.<br>Nördl. Ufer am Fuß<br>des Geestabhanges.<br><br>Zu vergleichen mit No. 10<br>der ersten Tabelle. | Juels Sand.<br><br>Zu vergleichen mit No. 14<br>der ersten Tabelle. | In der ersten Tabelle war: |        |
| Gewicht der einzelnen Sorten in Procent des Ganzen. |   |   |                            |        |
| I. $p^I$ =  | 13,66   | 0,00  | 0,69                       | 0,00   |
| II. $p^{II}$ =                                      | 7,66  | 0,00  | 0,01                       | } 0,23 |
| III. $p^{III}$ =                                    | 45,45   | 4,11  | 0,35                       |        |
| IV. $p^{IV}$ =                                      | 20,93   | 29,33   | 0,45                       |        |
| V. $p^V$ =  | 10,16   | 38,59   | 0,65                       |        |
| VI. $p^{VI}$ =                                      | 2,03  | 25,46   | 64,05                      | 3,20   |
| VII. $p^{VII}$ =                                    | 0,01  | 2,51  | 34,40                      | 96,57  |

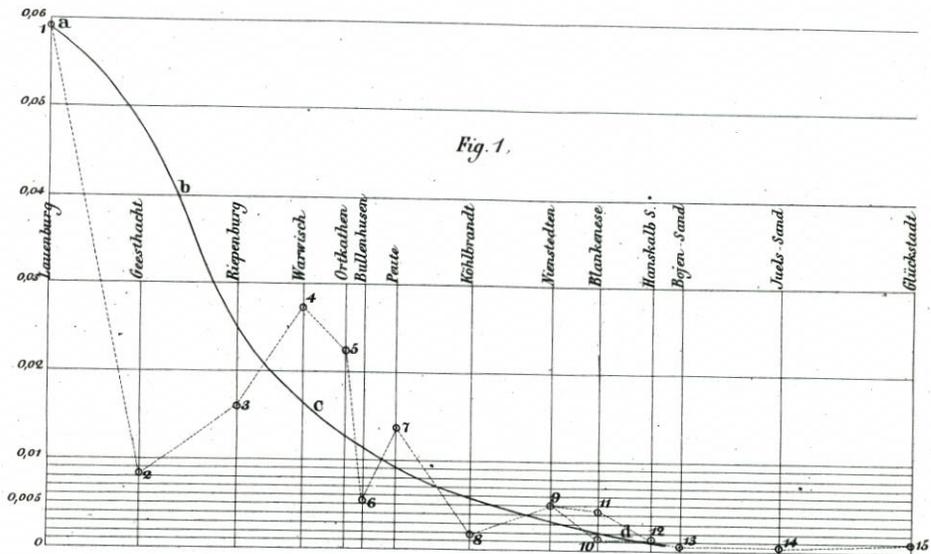
Die Vergleichung dieser Zahlen eröffnet einen vorläufigen Einblick in die Wirksamkeit, welche die Wellen auf einen sandigen Strand ausüben. Dieselbe besteht im Wesentlichen darin, daß sie die größeren Körner an dem obersten Saume, den sie erreichen, aufhäufen, die feineren Körner aber mit dem rücklaufenden Wasser in die Tiefe hinabführen. Es findet aber zwischen den beiden hier vorgelegten Fällen der bemerkenswerthe Unterschied statt. daß bei Blankenese ein hoher, jeweiligem Absturze ausgesetzter Geestabhang sich längst des Ufers erstreckt, der den, den Strand bespühlenden Wellen viel grobes Material liefert, daß dagegen bei Juels-Sand, welches eine im Strom entstandene Insel ist, die Wellen kein anderes Material vorfinden als dasjenige, was der Strom an diese Stelle geführt hat. Spezielle Folgerungen aus Vergleichung von No. 23 und No. 10 sind demnach von mehr lokaler, diejenigen aus Vergleichung von No. 24 und No. 14 aber von mehr allgemeiner Bedeutung. Beide Fälle zeigen übrigens die Sortirung der Körner in dem oben ausgesprochenen Sinne, daß nämlich die groben Sorten bei der Hochwasserlinie im Wellenaufwurfe, die feinen dagegen in der Strandfläche bei der Niedrigwasserlinie gefunden werden.

Werden aus den durch die Versuche gefundenen Daten nach der oben mitgetheilten Gleichung die Werthe von  $\sqrt{D}$ ,  $D$  und  $D^3$  berechnet, so erhält man folgende Uebersicht:

| Benennung<br>der<br>Stromgegend     | I.<br>In der<br>Niedrigwasserlinie. |       |        | II.<br>Im tiefen<br>Stromschlauch. |       |        | III.<br>Vom Strom entfernt<br>oder<br>dagegen geschützt. |       |        | IV.<br>Wellenaufwurf<br>in der<br>Hochwasserlinie. |       |        |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|--------|------------------------------------|-------|--------|--|-------|--------|--|-------|--------|
|                                     | $\sqrt{D}$                          | $D$   | $D^3$  | $\sqrt{D}$                         | $D$   | $D^3$  | $\sqrt{D}$   | $D$   | $D^3$  | $\sqrt{D}$   | $D$   | $D^3$  |
| 1. Lauenburg . . . . .              | 0,624                               | 0,389 | 0,0591 | .                                  | .     | .      | .  | .     | .      | .  | .     | .      |
| 2. Geesthacht (18.) . . . . .       | 0,454                               | 0,206 | 0,0087 | .                                  | .     | .      | 0,452  | 0,204 | 0,0085 | .  | .     | .      |
| 3. Riepenburg (16.) . . . . .       | 0,504                               | 0,254 | 0,0163 | 0,593                              | 0,352 | 0,0435 | .  | .     | .      | .  | .     | .      |
| 4. Warwisch . . . . .               | 0,549                               | 0,301 | 0,0275 | .                                  | .     | .      | .  | .     | .      | .  | .     | .      |
| 5. Ortkathen . . . . .              | 0,531                               | 0,282 | 0,0224 | .                                  | .     | .      | .  | .     | .      | .  | .     | .      |
| 6. Bullenhusen . . . . .            | 0,416                               | 0,173 | 0,0052 | .                                  | .     | .      | .  | .     | .      | .  | .     | .      |
| 7. Peute (17.) . . . . .            | 0,491                               | 0,241 | 0,0139 | 0,591                              | 0,349 | 0,0424 | .  | .     | .      | .  | .     | .      |
| 8. Köhlbrandt . . . . .             | 0,353                               | 0,124 | 0,0019 | .                                  | .     | .      | .  | .     | .      | .  | .     | .      |
| 9. Nienstedten . . . . .            | 0,414                               | 0,171 | 0,0050 | .                                  | .     | .      | .  | .     | .      | .  | .     | .      |
| 10. Blankenese Nord (23.) . . . . . | 0,329                               | 0,108 | 0,0013 | .                                  | .     | .      | .  | .     | .      | 0,669  | 0,447 | 0,0894 |
| 11. Blankenese Süd . . . . .        | 0,403                               | 0,162 | 0,0043 | .                                  | .     | .      | .  | .     | .      | .  | .     | .      |
| 12. Hanskalb Sand . . . . .         | 0,325                               | 0,106 | 0,0012 | .                                  | .     | .      | .  | .     | .      | .  | .     | .      |
| 13. Bojen Sand . . . . .            | 0,291                               | 0,085 | 0,0006 | .                                  | .     | .      | .  | .     | .      | .  | .     | .      |
| 14. Juels Sand (24.) . . . . .      | 0,284                               | 0,081 | 0,0005 | .                                  | .     | .      | .  | .     | .      | 0,455  | 0,207 | 0,0089 |
| 15. Bank von Glückstadt . . . . .   | 0,316                               | 0,100 | 0,0010 | .                                  | .     | .      | .  | .     | .      | .  | .     | .      |
| 19. Cuxhaven, im Hafen . . . . .    | .                                   | .     | .      | .                                  | .     | .      | 0,285  | 0,081 | 0,0005 | .  | .     | .      |
| 20. Steinmarnar Strand . . . . .    | .                                   | .     | .      | .                                  | .     | .      | 0,286  | 0,081 | 0,0005 | .  | .     | .      |
| 21. Neuwerker Strand . . . . .      | .                                   | .     | .      | .                                  | .     | .      | 0,334  | 0,111 | 0,0014 | .  | .     | .      |
| 22. Helgolander Düne*) . . . . .    | .                                   | .     | .      | .                                  | .     | .      | 0,427  | 0,182 | 0,0060 | .  | .     | .      |

\*) Die Lage des Punktes, an welchem der Sand von der Helgolander Düne aufgenommen, ist mir nicht bekannt, liegt also möglicherweise im Bereiche von Strom und Wellen.

Da die dritten Potenzen der Durchmesser der Sandkörner ein Maaßstab sind für die vom Strome an der betreffenden Stelle auf das Bette ausgeübte Spühlkraft (das ausscheuernde Vermögen des Stroms; engl. scowring power), so kann eine durch die Werthe von  $D^3$  als Ordinaten gezogene Curve – wenn die Abscissen den Entfernungen der respectiven Beobachtungs-Orte vom Anfangspunkte entsprechen – die Curve der effectiven Spühlkraft des Stromes genannt werden, und diese wird (in soweit als die untersuchten Sandpro-



ben in Beziehung zum Hauptstrom gleiche Lagen repräsentiren) einen wesentlichen Beitrag zur Charakteristik eines gegebenen Stromes ausmachen.

Die Fig. 1, welche die für die Niedrigwasserlinie gefundenen Werthe von  $D^3$  von Lauenburg bis Glückstadt als Ordinaten in gehörigen Abständen darstellt, charakterisirt in solcher Weise die betreffende Strecke der Elbe. Die bestehenden Unregelmäßigkeiten des Strombettes sind in der durch die Endpunkte der Ordinaten gezogenen punktirten Linie deutlich ausgesprochen, und müssen es sein, da sie, sei es als Ursache oder als Wirkung, mit der ungleichen Spühlkraft im engsten Zusammenhange stehen. Wäre das Strombette in seiner ganzen Länge vollkommen regelmäßig gestaltet und das Gefälle vollkommen regulirt, so würde, unter übrigens gleichen Umständen, die Curve ersichtlich ungefähr dem durch die Linie *a b c d* angedeuteten Zuge folgen. In dieser Form zeigt dieselbe sehr deutlich die rasche Abnahme der Spühlkraft beim Eintritte des Stroms in das Fluthgebiet, d. h. in derjenigen Stromgegend, wo die eigentliche Mündung des Stroms in den alten Meerbusen anzunehmen ist, und die man auf jeder guten Landkarte der Unter-Elbe etwa 3 Meilen oberhalb Hamburg leicht erkennt. Von hier an weiter seewärts wird die Abnahme der Spühlkraft allmäliger, und bleibt endlich im mittleren und unteren Theile des Meerbusens nahezu constant.

Man kann die Kraft, welche hier die Spühlkraft genannt ist, auch als den Stoß des Wassers auf die Partikeln, aus denen das Grundbette besteht, betrachten. Sei der Stoß =  $T$ , die Geschwindigkeit =  $v$ , die gestoßene Fläche =  $A$  und der Anstoßwinkel =  $\psi$ , so hat man,

nach bekannten hydraulischen Gesetzen, für den isolirten Strahl,  $T = \frac{\gamma}{g} (1 - \cos \psi)$

$A v^2$ . Wenn es nun auch bis jetzt nicht gelungen ist, das Gesetz für den Stoß unbegrenzter bewegter Wassermassen vollkommen zu entwickeln, so kann man doch nach Analogie des isolirten Strahls annehmen, daß dasselbe gleichfalls die Form habe

$$T = a A v^2.$$

Wenn nun nach dem Vorhergehenden die Spühlkraft proportional der 3ten Potenz des Durchmessers der Körner ist, und wenn ferner  $A$  oder der Inhalt der gestoßenen Fläche dem Quadrate dieses Durchmessers proportional gesetzt werden kann, der Stoß  $T$  aber als

identisch mit der Spühlkraft angesehen wird, so finden für verschiedene Werthe von  $D$  und von  $v$ , welche mit  $D'$ ,  $D''$ ,  $D'''$ ,  $v'$ ,  $v''$ ,  $v'''$  etc. bezeichnet werden mögen, die Verhältnisse statt:

$$D'^3: D''^3: D'''^3 \dots = \alpha D'^2 v'^2: \alpha D''^2 v''^2: \alpha D'''^2 v'''^2 \dots$$

oder

$$v': v'': v''': \dots = \sqrt{D'}: \sqrt{D'': \sqrt{D'''}} \dots$$

d. h. die auf das Strombette wirkenden Stromgeschwindigkeiten, sofern sie sich in der Größe der Sandkörner des Strombettes aussprechen, verhalten sich in verschiedenen Gegenden zu einander, wie die Quadratwurzeln aus den Durchmessern der Sandkörner.

Die Einführung des nach der oben gegebenen Formel berechneten mittleren Durchmessers für den wirklichen Durchmesser der Körner, ist ein Verfahren, dessen Berechtigung in aller Strenge nicht erwiesen ist, das aber angewendet werden muß, um den Gegenstand überhaupt für eine Betrachtung wie die vorliegende zugänglich zu machen.

Eine Eigenthümlichkeit in Betreff der Größe der Sandkörner bieten diejenigen alten Stromarme dar, welche an ihrem oberen Ende abgeschlossen oder verlandet sind, besonders in solchen Gegenden, wo noch ein merkliches Steigen und Fallen des Stromspiegels durch die Meeresfluth bewirkt wird. Man findet nämlich in dem unteren Theile dieser sogenannten „tauben“ Stromarme<sup>1)</sup> oft Sandablagerungen von viel größerem Korn, als die benachbarte Gegend des offenen Hauptstromes zeigt. Die Erklärung dieser Thatsache liegt nahe, wenn man berücksichtigt, daß solche Stromarme keine neue gemischte (d. h. aus großen und kleinen Körnern durcheinander bestehende) Sandmassen vom oberen Strome zugeführt erhalten, daß aber in ihrem unteren Theile der durch die Schwankungen des Wasserspiegels erzeugte aus- und eingehende Strom durch eine lange Reihe von Jahren unablässig darauf hingewirkt hat und noch fortwährend hinwirkt, alle feineren Sand- und Schlicktheilchen aus dem vorhandenen Material auszusortiren und abwärts oder aufwärts fortzuführen. Die Folge hiervon kann keine andere sein, als daß hier in der Oberfläche des Strombettes zuletzt nur solche Körner liegen, deren Durchmesser der größten Stromgeschwindigkeit entspricht, die an der betreffenden Stelle überhaupt vorkommen kann. Auf diesem Wege muß also zuletzt in dem daselbst lagernden Sande ein Zustand eintreten, den man, im Vergleich mit den bewegten Zuständen am Boden des Hauptstromes, Ruhe nennen kann, und wirklich zeigt sich bei genauer Betrachtung der Sandkörner aus solchen Lokalitäten eine Erscheinung, die dies auf eine höchst interessante Weise constatirt. Man sieht nämlich unter dem Mikroskop die Körner solcher Sandablagerungen fast ohne Ausnahme bunt gefleckt, welches von bräunlichen und grünlichen Niederschlägen oder Algenbildungen auf ihrer Oberfläche herrührt. Etwas Aehnliches ist mir bei Sandkörnern aus dem offenen, freien Strome niemals vorgekommen; Herr SCHACHT hat dieselbe Wahrnehmung auch bei dem schlickhaltigen Sande von Hanskalb-Sand (Versuche No. 12) gemacht, und folgendes als das Ergebniß seiner mikroskopischen Untersuchungen der ihm aus verschiedenen tauben Stromarmen übersandten Proben mir geschrieben:

„Die Quarzkörner sind zum größten Theil farblos, durchsichtig, selten gelblich oder bräunlich gefärbt; der Niederschlag auf diesen Körnern ist wahrscheinlich durch zerstörte Organismen entstanden; die grüne und braune Färbung verdankt derselbe niederen Algenformen; wirkliche Moose sind nicht vorhanden. Es wäre möglich, daß sich bei

<sup>1)</sup> Dove-Elben. Die Wichtigkeit derselben für die Fahrtiefe im Hauptstrom ist an einem Beispiele nachgewiesen in meinen Erfahrungen und Beobachtungen. Hamburg 1853, S. 79. (In dieser Zeitschrift nicht mit abgedruckt.)

frisch aufgenommenem, nicht abgetrocknetem Sande die Pflanzen selbst noch unterscheiden ließen.“

Eine ganz analoge Beobachtung im größeren Maaßstabe ist an der Kieselanhäufung gemacht worden, welche die Insel Portland mit der Südküste von England verbindet. Der Ingenieur COODE benutzte hier die ihm bei dem Hafenbaue zu Gebote stehenden Taucherapparate, um diese Kieselbank in größerer Tiefe zu untersuchen, und fand, daß die Kiesel unterhalb einer deutlich markirten nach Maaßgabe der Witterung veränderlichen Grenzlinie mit kleinen Algen und Muscheln auf ihrer Oberfläche besetzt waren. Er schloß hieraus, gewiß mit vollem Rechte, daß die rollende Bewegung der Kiesel durch Strom und Wellen sich so weit abwärts erstreckte als das Freisein derselben von dergleichen Incrustationen. (Minutes of Proceedings Civ. Engin. Bd. XII. S. 534.)

Da zum Zwecke der oben mitgetheilten Versuche der Sand von den beigemengten Schlicktheilchen vorher befreit werden mußte, so habe ich das ausgewaschene Schlickquantum, wenn es ein genügend erhebliches Verhältniß ausmachte, bestimmen können. Folgendes sind die Ergebnisse.

In den natürlichen Mischungen von Sand und Schlick, wie dieselben an den unten genannten Orten im Strombette aufgenommen waren, betrug das Gewicht des ausgeschlämmt und getrockneten Schlicks:

- bei No. 5. Ortkathen 0,0008 der ganzen Masse oder  $\frac{1}{1250}$
- bei No. 12. Hanskalb-Sand 0,1811 der ganzen Masse oder beinahe  $\frac{1}{5}$
- bei No. 14. Jules-Sand 0,0653 der ganzen Masse oder ungefähr  $\frac{1}{15}$
- bei No. 15. Bank von Glückstadt 0,0336 der ganzen Masse oder  $\frac{1}{30}$
- bei No. 19. Hafen von Cuxhaven 0,0758 der ganzen Masse oder ungefähr  $\frac{1}{13}$ .

Es ist anzunehmen, daß eine Beimischung von Schlicktheilchen in gewissem Grade hemmend auf die Beweglichkeit der Sandkörner einwirkt, indem die Sandkörner durch den in den Zwischenräumen befindlichen Schlick gleichsam festgekittet werden. Man kann die Art des Widerstandes, welchen ein inniges Gemenge von Sand und Schlick dem Stromangriffe entgegensetzt, mit dem Widerstande rundlicher, in Mörtel eingebetteter Kiesel vergleichen, die man durch Stoßen oder Schlagen von der umgebenden Masse zu trennen versucht. Die größere oder geringere Schwierigkeit dieser Operation ist allemal wesentlich bedingt durch das Mischungsverhältniß zwischen Kieseln und Mörtel, und zwar um so mehr, je geringer die Festigkeit des Mörtels im Vergleich mit der Festigkeit der Kiesel ist. Da nun der Schlick bei dieser Parallele als ein schlechter Mörtel betrachtet werden muß, so ist klar, daß eine aus Sand und Schlick gemischte Bodenschicht dem Strome alsdann den größten Widerstand leisten wird, wenn die Zwischenräume zwischen den Sandkörnern gerade durch den vorhandenen Schlick ausgefüllt sind, d. h. wenn etwa ein Drittheil des ganzen Raumes der Masse (etwa 0,31 des Gewichts) von den möglichst gleichmäßig vertheilten Schlicktheilchen eingenommen wird. Das bei Hanskalb-Sand gefundene Verhältniß kommt, wie man sieht, dieser Grenze ziemlich nahe. Mischungen, in welchen noch mehr als  $\frac{1}{3}$  des Raumes mit Schlicktheilchen ausgefüllt wäre, würden eine geringere Widerstandsfähigkeit besitzen und wohl nicht mehr als Sand anzusehen sein.

Zum Schlusse dieser Betrachtungen möge hier eine Beobachtung aufgenommen werden, welche zwar zunächst nur vom geologischen Standpunkte Interesse hat, indeß doch zur Vervollständigung des ganzen Bildes beiträgt.

Die vor dem Ausflusse der Elbe belegene Insel Neuwerk besteht aus einer nur wenige Fuße dicken, horizontalen Schicht sandiger Kleierde, die auf einem Untergrunde von schlickhaltigem Sande ruht und mit einem sandigen, von der Fluth überspülten Wattgrunde umgeben ist. Die Kleierde enthält 66,4 Procent Schlick, der Untergrund, auf dem die

Kleischicht ruht, 3,6 Procent Schlick, und der Sand des umgebenen Strandes ist schlickfrei. Vergleicht man nun den ausgewaschenen Sand aller drei Orte hinsichtlich der Körnergröße mit einander, so ergibt sich Folgendes:

|       |         | Sand aus der<br>Kleischicht<br>ausgewaschen. | Sand aus dem<br>Untergrunde<br>ausgewaschen. | Schlickfreier<br>Sand vom<br>umgebenden<br>Strande. |
|-------|---------|--|--|---|
| Sorte | I u. II | fehlen                                       | fehlen                                       | 0,42  |
| "     | III     | 0,8  | fehlt  | 0,77  |
| "     | IV      | 1,6  | 5,0  | 3,16  |
| "     | V       | 11,8   | 17,0   | 9,34  |
| "     | VI      | 71,4   | 60,0   | 54,14   |
| "     | VII     | 14,4   | 18,0   | 32,17   |

Hiernach ist der Sand des Seestrandes etwas feiner als derjenige, auf dem die Kleischicht der Insel ruht; dieser letztere aber scheint, wenn man von kleinen, vielleicht zufälligen Unterschieden absieht, demjenigen gleich zu sein, der mit dem Schlick der Kleischicht vermischt ist und aus dieser ausgewaschen werden kann. Die drei Gemenge unterscheiden sich also wesentlich nur durch ihren verschiedenen Schlickgehalt, und es würde die Annahme nicht mit den Thatsachen im Widerspruch stehen, daß einst ein ähnliches Gemenge von Sand und Schlick, wie dasjenige, welches wir noch jetzt unter der Insel finden,<sup>1)</sup> die Oberfläche in weiterer Ausdehnung bedeckt habe, und daß die den kleinen Fleck, welchen die Insel einnimmt, bildende Kleischicht das Product der Auswaschung der Schlicktheilchen aus der Umgebung sei, das an dieser, der Strömung und den Wellen vielleicht weniger zugänglichen, oder durch besondere Umstände zur Aufschlickung vorbereiteten Stelle abgelagert worden.

## II. Bewegung des Sandes in Strom und Wellen

DUBUAT nennt in den *Principes d'hydraulique* die Art, wie das strömende Wasser ein bewegliches Bette bearbeitet und wie es den Sand, den es mit sich führt, weiter schafft, „ein methodisches Verfahren, welches man als ein Meisterstück der Dynamik bewundern muß“, und knüpft an diese Bemerkung eine so naturgetreue Beschreibung des Vorganges, der sich am Boden eines vom Strome bewegten sandigen Flußbettes darstellt, daß ein besserer Ausgangspunkt für eine neue auf denselben Gegenstand gerichtete Betrachtung nicht gefunden werden kann. Wenn dann durch erweiterte Beobachtungen der innere Zusammenhang der Ursachen und Wirkungen in diesen merkwürdigen Erscheinungen sich aufklärt, und dadurch der Eindruck des Wunderbaren, den DUBUAT's Beschreibung hervorruft, vielleicht verschwindet, so wird dennoch das Gefühl der Bewunderung nur belebt und gesteigert, je mehr das geordnete, zweckvolle Ineinandergreifen mannigfaltiger Umstände und Wirkungen unter den Gesichtspunkt eines das Ganze beherrschenden Gesetzes fällt.

Die Beschreibung der Sandbewegung durch DUBUAT ist zu umfangreich, um hier aufgenommen zu werden, sie ist aber in HAGENS Handbuch der Wasserbaukunst II., 1, § 56 in deutscher Uebersetzung abgedruckt und von Mittheilungen über HAGEN's eigene Beobachtungen bei Wiederholung von DUBUAT's Experimenten begleitet, und da im Folgenden auf den Inhalt dieser Mittheilungen Bezug genommen wird, so ist die betreffende Stelle in der

<sup>1)</sup> Von ähnlicher Beschaffenheit ist die Bank von Glückstadt.

untenstehenden Note wörtlich aufgeführt<sup>1)</sup>). Die Experimente, auf welche dieselbe sich bezieht, wurden in kleinen, regelmäßig geformten Canälen angestellt und gewährten den Beobachtern den Vortheil, die kleinsten, fast unmerklichen Bewegungen genau betrachten zu können. Beobachtungen, die im größeren Maaßstabe im Strombette selbst angestellt werden, gestatten dies nicht, sie führen aber zu Ergebnissen, durch welche jene kleineren Experimente vollkommen bestätigt und zugleich noch weiter vervollständigt werden. Die Behauptung, daß man von dem Verhalten der kleinen DUBUAT'schen Sandrücken schließen könne auf die Art der Bewegung ganzer Sandbänke, die nach Hunderten oder Tausenden von Fuß gemessen werden, ja daß in beiden Fällen die nämlichen Ursachen wirksam sind, um die nämliche Operation zu vollziehen, mag vielleicht überraschen, aber sie ist begründet und wird im Folgenden aus unmittelbarer Naturanschauung und durch directe Messung festgestellt werden. Die Bezeichnungen groß und klein haben in diesem Falle Nichts mit dem Wesen

<sup>1)</sup> „Besteht die Sohle des Bettes aus einem etwas groben Sande, dessen Körnchen man deutlich verfolgen kann, und beträgt die Geschwindigkeit des Wassers am Grunde 10 bis 12 Zoll in der Secunde, so lagert sich der Sand in der Form jener Gewebe, die unter dem Namen der Ungarischen Spitzen bekannt sind: er stellt nämlich unregelmäßige Rücken dar, die sich quer durch den Strom ziehen. Jeder dieser Rücken wird durch zwei Böschungen gebildet, die nach entgegengesetzter Richtung ansteigen. Die stromaufwärtsgekehrte fällt sehr sanft ab, wogegen die andere sehr steil ist. Das Profil eines solchen Rückens ist ziemlich ähnlich demjenigen des Glacis und des verdeckten Ganges bei Festungswerken. In geringer Entfernung vom Fuße der steilen Böschung beginnt die sanfte Ansteigung des folgenden Hügels, und so setzt sich die Bildung stromabwärts fort. Das Sandkörnchen, welches vom Strome getroffen wird, steigt die sanfte Neigung der vordern Fläche heran, und sobald es auf den Scheitel gekommen ist, rollt es durch sein eigenes Gewicht an der andern Seite herab. Hier bleibt es ruhig liegen, weil es vor dem Stoße des Wassers gesichert ist. Andere Körnchen machen der Reihe nach denselben Weg und begraben das erste. Diese Bewegung hat viel Aehnlichkeit mit der des Transportes bei starken Aufträgen, wobei nämlich die Erdarbeiter die gefüllte Karre auf einem sanft geneigten Wege bis ans Ende des bereits geschütteten Dammes schieben und hier die Erde ausstürzen. Die Sandkörnchen, welche auf solche Weise verdeckt sind, bleiben so lange unter der Last der späteren Ankömmlinge ruhig liegen, bis endlich die ganze Masse des Sandrückens, welchen sie hinter sich gelassen hatten, in einzelne Körnchen zertheilt vorübergezogen ist. So schreitet der ganze Rücken in Folge der nach und nach eintretenden Bewegung seiner Theile weiter, und sobald er einen Raum zurückgelegt hat, der seiner Breite gleichkommt, so ist das erste Körnchen wieder frei geworden und befindet sich am Fuße der vorderen Böschung. Es ist alsdann aufs Neue dem Angriffe des Wassers ausgesetzt: es steigt das Glacis wieder herauf, und stürzt wieder wie das erste Mal herab. Diese sehr langsame Bewegung findet bei den sämtlichen hintereinander liegenden Sandrücken gleichzeitig statt, und bei mäßiger Geschwindigkeit des Wassers dauert es eine volle halbe Stunde, bis der kleine Hügel von 4 bis 5 Zoll Breite eine solche Station oder eine Strecke die seiner Breite gleichkommt, zurückgelegt hat. Nimmt die Geschwindigkeit des Wassers zu, so geht die Veränderung schneller vor sich, und im entgegengesetzten Falle langsamer. Durchschnittlich würde aber ein Sandkörnchen zwei Jahre gebrauchen, um ein Lieue (ungefähr  $\frac{2}{3}$  preuß. Meilen) zurückzulegen.“

HAGEN, der diesen Versuch wiederholte, fand die Wahrnehmungen DUBUAT's vollständig bestätigt und setzt der Beschreibung derselben noch Folgendes hinzu: „Man bemerkt, daß die einzelnen Körnchen nicht etwa sich in größern Zwischenräumen auf einander folgen, sondern die ganze Oberfläche des Sandrückens ist gleichzeitig in Bewegung und rückt ziemlich regelmäßig die flach geneigte Böschung herauf: hier stürzen die Körnchen augenblicklich herab und überdecken sich eines das andere, so daß sie sogleich einen neuen Scheitel des Rückens bilden. Bei diesem Fortrücken des ganzen Sandhügels nimmt derselbe indessen an Höhe nicht zu, und dieser Umstand zeigt, daß nicht nur die Körnchen am Fuße der flachen Böschung in Bewegung gesetzt werden, sondern daß das Wasser die ganze vordere geneigte Fläche angreift, wie dieses auch wohl nicht anders sein kann. Man bemerkt in der That, daß an ihrem Fuße die Anzahl der in Bewegung gesetzten Körnchen viel geringer ist, als weiter nach dem Scheitel hin, wo ein Körnchen das andere zu berühren oder die ganze Oberfläche in Bewegung zu sein scheint.“

der Sache gemein, und es tritt hier der auch sonst vorkommende Fall ein, daß dem Beobachter bei einer und derselben Sache, je nachdem sie in kleinerem oder größerem Maaßstabe vorliegt, so verschiedene Eigenschaften entgegentreten, daß die wesentliche Gleichheit des Vorganges für eine bloß oberflächliche Anschauung völlig verschwindet. Es sei mir erlaubt, hier an das auffallendste Beispiel eines solchen Falles zu erinnern, nämlich an die gewöhnliche Wasserwelle und die Fluthwelle. Bei der ersteren ist die Form so allgemein als das charakteristische Merkmal anerkannt, daß jeder Gebildete eine – wenn auch mehr oder minder genaue – doch deutliche Vorstellung von der Wellenlinie hat; dagegen wird bei der Fluthwelle die Form von den Meisten kaum geahnt, während man bei ihr allgemein eine andere Eigenschaft, nämlich die entgegengesetzten Stromrichtungen auf den beiderseitigen Abhängen des Wellenberges kennt. Die Strömungen sieht bei den gewöhnlichen Wellen Niemand, sie sind dort nicht wahrnehmbar, aber sie sind eben so gewiß vorhanden, als es bei der Fluthwelle die nicht wahrnehmbare Wellenform ist, und als überhaupt in beiden Fällen eine wirkliche Welle den Gegenstand der Betrachtung ausmacht. So wie man nun in diesen an Größe so verschiedenen Erscheinungen das wesentlich Gleichartige erkennt, wenn man sich näher damit vertraut macht, so fällt es auch nicht schwer, die Form und die Bewegung der kleinen DUBUAT'schen Sandrücken unter einen gemeinschaftlichen Gesichtspunkt mit den Formen und Veränderungen großer Sandbänke und ganzer Stromstrecken zusammenzufassen. Die Schwierigkeiten, welche dabei zu überwinden sind, liegen nicht in der Verstandes-Operation, sondern nur in der sinnlichen Wahrnehmung der Einzelheiten und in der Auffindung von Hilfsmitteln, um die in so verschiedenem Maaßstabe vorliegenden Erscheinungen zu messen und mit einander vergleichbar zu machen.

Die Beobachtung der Sandbewegung in großen Strömen wird besonders durch den Umstand erschwert, daß das den Sand bedeckende trübe Wasser denselben meistens unseren Blicken entzieht, und selbst in klaren Strömen wird die Transmission richtiger Bilder vom Boden des Strombettes durch die inneren Bewegungen des Wassers verhindert. Es ist deshalb selten möglich, den Sand in der Natur während seiner Bewegung zu beobachten, und man muß aus den von Zeit zu Zeit ermittelten Veränderungen seiner Lage auf die stattgehabten Bewegungen und ihre Ursachen schließen. Hierbei kommt der Wechsel des Wasserstandes in Folge der Fluth und Ebbe sehr zu Statten, denn zur Zeit des niedrigsten Wassers wird ein großer Theil des Strombettes vom Wasser frei, der sowohl bei der Fluth als bei der Ebbe den Einwirkungen des Stromes ausgesetzt war, so daß in nicht allzu langen regelmäßigen Zeiträumen die Oberfläche ausgedehnter, vom Strome bewegt gewesener Sandfelder für die unmittelbare Betrachtung und Messung der stattgehabten Veränderungen periodisch bloßgelegt wird.

Um sich nun sichere Rechenschaft über die Veränderungen geben zu können, welche von einer Periode zur andern vorsichgegangen sind, muß man die beiden Gesichtspunkte, welche DUBUAT zuerst von einander unterschieden hat, nämlich die Verschiebung der Formen des Ganzen und die Bewegung der einzelnen Sandkörner, auch bei den Beobachtungen im freien Strome, jeden für sich gesondert, im Auge behalten, und um dies möglich zu machen, müssen im Strombette feste Anhaltspunkte für die Messungen angebracht sein und außerdem geeignete Mittel angewendet werden, um in gewissem Grade die Identität der Sandkörner noch nach Verlauf mehrerer Fluthzeiten constatiren zu können.

Außer der Benutzung derjenigen Messungen der Beschaffenheit des Strombettes, welche über die in längeren Zeiträumen stattgefundenen Veränderungen im Großen und Ganzen Auskunft geben, und die in den Archiven aufzusuchen sind, habe ich mich folgender Mittel bedient, um die Thatsachen festzustellen, welche mit der Bewegung des Sandes im Strombette im Zusammenhange stehen.

1. Die zur Anstellung von Beobachtungen ausersehenen Flächen im Strombette wurden, wenn sie bei der Ebbe trocken gelaufen waren, an gewissen Punkten, so wie es eben die Art der beabsichtigten Beobachtung erheischte, mit dünnen eisernen Stäben oder Bolzen von etwa 2 Fuß Länge bezeichnet, indem diese ganz in den Boden eingeschlagen wurden, so daß die Oberfläche der Bolzenköpfe genau in der Oberfläche des Strombettes sich befand. Zugleich ward die betreffende Fläche nebst ihrer Umgebung, mehr oder weniger genau, im Grund- und Profilriß aufgenommen und dabei insbesondere die Stellung der Bolzen bemerkt. Auf einer so vorbereiteten Fläche können alle eingetretenen Veränderungen leicht bemerkt und (worauf es bei diesen Beobachtungen wesentlich ankommt) in kurzer Zeit notirt werden; wo die Fläche niedriger geworden ist, stehen die Bolzenköpfe vor, und wo dieselbe sich erhöht hat, sind letztere vom Sande bedeckt; den unveränderten Stand der Bolzen selbst prüft man leicht durch ein Controllmaß, falls es erforderlich scheint.

2. Bei Beobachtungen, die nicht bloß die Veränderung der Form, sondern auch die Ortsveränderung der Sandkörner zum Gegenstande hatten, ließ ich farbigen Sand in bestimmt abgegrenzter und genau notirter Ausdehnung an die Stelle des natürlichen Flußsandes, der vorher weggeräumt ward, einbringen. Ersterer ward unweit des Flusses auf der Geest in einer von Eisenoxyd stark rothgelb gefärbten Schicht gefunden, und hielt die Farbe so gut, daß eine Beobachtung 6 bis 7 Wochen lang fortgesetzt werden konnte. Zu solchen langdauernden Experimenten muß man indeß ziemlich große Massen anwenden<sup>1)</sup>; für kürzere Beobachtungen genügt es, daß die farbigen Flächen einige Fuß Ausdehnung haben und der Sand einige Zoll dick eingebracht ist.

Gefährliche Feinde solcher Beobachtungen sind Schiffer, die Sand zu Ballast einwerfen, weil gerade diejenigen Sandbänke, welche in der Nähe des Hauptstromes liegen und bei der Ebbe ziemlich hoch heraus kommen, auch für deren Zwecke am geeignetsten sind. Ist nun gar etwa aus der Ferne beachtet, daß etwas Ungewöhnliches auf der Sandbank eingegraben worden, so muß man darauf gefaßt sein, die Experimentalfläche durch eine in der nächsten Nacht vorgenommene Nachforschung zerstört und namentlich die eisernen Bolzen, so weit sie aufgefunden sind, verschwunden zu sehen.

3. Zur Aufnahme der Formen kleiner Sandwellen oder Furchen habe ich mich des Verfahrens der Eintauchung einer verticalen Ebene (gewöhnliche Kartenpappe) in den feuchten Sand des Strombettes bedient. Dies ist ein sehr leichter, vollkommen sicherer Weg, um getreue Zeichnungen natürlicher Sandwellen zu erhalten da die obersten Sandkörner in großer Menge an dem Blatte hängen bleiben, wenn dieses vorsichtig in den Sand eingedrückt und wieder herausgezogen wird. Die Richtung der Pappebene muß natürlich den Wellenrücken normal durchschneiden und die Ebene selbst vertical gehalten werden. Im trocknen Flugsande ist die Sache schwieriger, und es hat manchen vergeblichen Versuch erfordert, ehe es gelang, die Form einiger vom Winde erzeugten Sandwellen direct aus der Natur auf das Papier zu bringen.

Betrachtet man die Gestalt des Strombettes in einem der größeren Ströme, sowohl in den speciellsten Einzelheiten, als auch in den das Große und Ganze umfassenden Umrissen, so treten folgende Erscheinungen dem Blicke entgegen.

<sup>1)</sup> Die Experimentalfläche war in dem obenerwähnten Falle 40 Fuß lang, 6 Fuß breit und 9 Zoll dick mit farbigem Sande gefüllt. Die Ausgrabung und vollständige Beseitigung von 180 Cubikfuß des Flußsandes und die Einbringung einer gleichen Masse des farbigen Sandes während der kurzen Zeit des Freiwerdens der Sandbank vom Wasser, ist eine ziemlich bedeutende und um so schwierigere Arbeit, da der Zweck derselben es verbietet, daß auf dem farbigem Sande herumgetreten oder von demselben etwas außerhalb der Experimentalfläche verspilt werde. Die Ausführung dieser Beobachtung ward in ihrem ganzen Verlaufe von Herrn Wasser-Bauinspector DALMANN geleitet.

Die Oberfläche eines vom Wasser bedeckt gewesenen noch feuchten Sandes ist selten glatt, vielmehr in den allermeisten Fällen mit kleinen Rücken und Thälern, deren Aehnlichkeit mit den von DUBUAT und HAGEN geschilderten Erscheinungen unverkennbar ist, überzogen. Zuweilen ist darin eine regelmäßige Anordnung, ein in großer Ausdehnung durchgeführter Parallelismus der Streifen bemerkbar; in anderen Fällen stellt sich das Ganze als ein verworrenes, netzartiges Gewebe dar, in welchem kein System abzuwalzen scheint. Diese kleinen Vertiefungen und Erhöhungen werden meistens *Sandwellen* genannt, ein Ausdruck, der durch die in der oben beschriebenen Weise aufgenommenen Formen im Allgemeinen gerechtfertigt wird, wenngleich Abweichungen von der Wellenlinie dabei vorkommen.

Erweitert man den Umkreis der Betrachtung, indem man größere Strecken eines sandigen Strombettes auf einmal in's Auge faßt, so gewahrt man alsbald, daß darin kein Theil eben, oder auch nur gleichförmig gestaltet ist. Erhöhungen wechseln mit Vertiefungen ab, sowohl in der Längenrichtung des Stromes, als querüber von Ufer zu Ufer, und je größer die Strombreite im Verhältnis zur Tiefe ist, um so mannigfaltiger, scheinbar regelloser, sind diese Unebenheiten des Bodens. Im gewöhnlichen Sprachgebrauche werden die Erhöhungen *Sandbänke* (Platen), die Vertiefungen *Stromrinnen* (Stromschläuche, Thalwege, Priele), in der Nähe der See *Gaten* (Löcher, Piepen) genannt. Hierbei ist aber zu erinnern, daß es keine in der Natur begründete präzise Definition für die Grenzlinie zwischen einer Sandbank und der ihr benachbarten Stromrinne giebt, denn die Annahme der Niedrigwasserlinie ist eine durchaus willkürliche, für die man mit demselben Rechte die Linie des mittleren Wasserstandes oder auch die Linie der Fahrwassertiefe (den sogenannten „Tonnenstrich“ in betonnten Gewässern) einführen könnte. Schon aus diesem Grunde empfiehlt es sich, eine Benennung in die wissenschaftliche Terminologie aufzunehmen, die Beides – Erhöhung und Vertiefung – im Zusammenhange begreift. Hierzu kommt aber noch der Umstand, daß die Sandbänke häufig aus einer offenbar systematisch geordneten Reihe von Rücken und Thälern bestehen, die, abgesehen von den sehr viel größeren Dimensionen, eine unverkennbare Analogie mit den kleinen DUBUAT'schen Sandwellen zeigen, mit denen sie bedeckt sind. Es liegt deshalb nahe, jene kleinen DUBUAT'schen Formen als *Sandwellen erster Ordnung*, die größeren analogen Erscheinungen aber, mithin auch diejenigen Formen der Strombetten, die gewöhnlich Sandbänke und Stromrinnen heißen, als *Sandwellen höherer Ordnungen* zu betrachten.

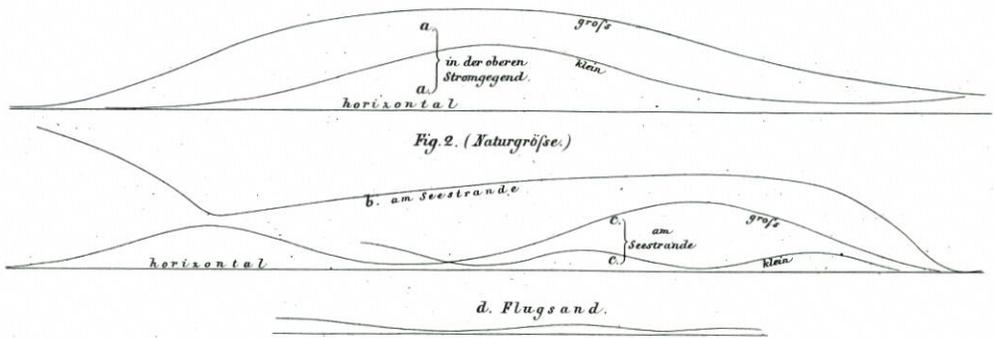
Die Praxis des Strombaues stellt uns zuweilen auf einen noch weiter umschauenden Standpunkt, wenn sie eine Charakteristik meilenlanger Stromstrecken verlangt.

Von diesem Gesichtspunkte macht sich wiederum eine Abwechslung von Höhen und Tiefen bemerkbar, dergestalt, daß einzelne Stromstrecken vergleichungsweise frei von Sandablagerung zu nennen sind, während zwischen denselben andere Strecken liegen, in denen angehäufte Sandmassen das Strombette verflachen. Fortgesetzte Beobachtung zeigt dann, daß weder die Tiefen (Pfuhe, Kolke, Ankerplätze), noch die Höhen (Barren, Leichtstellen, Flächen) unverändert an demselben Platze bleiben, und zwar findet man da, wo der Strom bereits zwischen ausgebildeten Ufern fließt, ein stetiges Fortrücken oder Wandern der Sände in der Richtung seewärts; in breiten Meerbusen und Strommündungen dagegen sind die Sände im Großen und Ganzen stationär, und man bemerkt nur ein scheinbar unregelmäßiges Schwanken, Verschwinden und Wiedererscheinen einzelner Partien derselben. Es wird gestattet sein, die Bezeichnung Sandwelle höherer Ordnung auch auf diese größten Abwechslungen von Höhen und Tiefen in Strombetten anzuwenden, wenngleich die etwigen Analogien der Wellenform oder Wellenbewegung an denselben nicht direct beobachtet werden können.

Nach der hier zum Grunde liegenden Auffassung ist also allgemein unter dem Ausdrucke

Sandwelle eine vom Strome in rollende oder wälzende<sup>1)</sup> Bewegung versetzte Masse von Sandkörnern zu verstehen, und zwar sind Sandwellen erster Ordnung die kleinen Unebenheiten, welche von DUBUAT und HAGEN beschrieben sind; Sandwellen höherer Ordnungen sind dagegen diejenigen Erhöhungen und Vertiefungen, die auf ihrer Oberfläche ein System oder mehrere Systeme von Sandwellen niederer Ordnung tragen. Bei den Betrachtungen der Natur, zu welchen mir in dieser Beziehung die Praxis Gelegenheit gegeben hat, konnte ich vier Ordnungen von Sandwellen unterscheiden. Zur deutlichen Uebersicht wird es dienen, jede dieser Ordnungen für sich näher in Betracht zu ziehen, und zwar zunächst die Form an und für sich, sodann die Verschiebung oder das Fortrücken der Form, und endlich drittens die rollende oder wälzende Bewegung der die Form bildenden Sandkörner, soweit als beobachtete Thatsachen zur Aufklärung dieser Verhältnisse dienen können.

Um von der Größe und Form der Sandwellen erster Ordnung und von manchen nicht uninteressanten, dabei vorkommenden Modificationen eine Anschauung zu geben, könnte ich eine große Menge unmittelbar aus der Natur aufgenommener Abbildungen beifügen; es würde indeß dadurch der Raum allzusehr in Anspruch genommen werden, und verkleinerte Copien entsprechen in diesem Falle dem Zwecke nicht. Ich beschränke mich deshalb, unter



Bezugnahme auf Fig. 2, die einige Sandwellen 1. Ordnung in natürlicher Größe darstellt, auf folgende Bemerkungen:

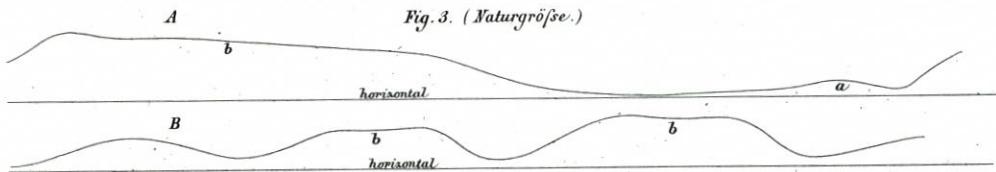
Die in allen beobachteten Fällen bestätigt gefundene Regel ist: je stärker der Strom, desto größer die Sandwelle 1. Ordnung; da nun in jeder Stromgegend sehr verschiedene Stromgeschwindigkeiten neben einander vorkommen, so findet man auch aller Orten verschiedene Größen von Sandwellen. Im Allgemeinen aber ist auf flachen Sandfeldern der Strom in der oberen Stromgegend stärker als in der Nähe des Meeres, daher ist der Regel nach die Größe der Sandwellen 1. Ordnung abnehmend, so wie man sich dem Meere nähert. Die Formen *a* und *c* in Fig. 2 illustriren diese Regel; die Form *b* zeigt eine durch starke Lokalströmungen verursachte Ausnahme. Nicht ohne Interesse ist es, die Größe und Form von Flugsandwellen, die vom Winde erzeugt sind (Fig. 2 sub *d*) mit den vom Wasser erzeugten Sandwellen zu vergleichen.

Zuweilen sind die Sandwellen vollkommen oder nahezu symmetrisch, in der Regel aber ist der voranschreitende Abhang steiler als der nachfolgende, wie dies schon von DUBUAT beobachtet und auch den Wasserwellen analog ist, die, wenn sie in untiefem Wasser fort-

<sup>1)</sup> Sandmassen, die schwebend vom Strome fortgeführt werden, könnte man, nach Analogie des vom Winde getriebenen Staubes, Sandwolken nennen.

schreiten, gleichfalls am vorderen Abhänge steiler sind als am hinteren. Das Verhältnis der Wellenhöhe zur Wellenlänge fand ich in den vom Wasser erzeugten Sandwellen wie 1: 8 bis 1: 11; in den vom Winde erzeugten ungefähr wie 1: 25.

Die Beobachtung zeigt, wie schon vorhin angedeutet ward, daß nicht selten, statt eines regelmäßigen Systems paralleler Streifen, ein verworrenes, netzartiges Gewebe von kleinen Erhöhungen und Vertiefungen, welche erheblich von der Form der Wellenlinie abweichen, die Oberfläche einer Sandbank bedeckt; auch findet man oft einzelne Partien der Oberfläche, namentlich die steileren Seitenabhänge von Sandbänken, ganz glatt, ohne alle wellenähnlichen Unebenheiten. Die Ursache dieser Erscheinungen läßt sich bei aufmerksamer Naturbetrachtung erkennen, sobald bei der Ebbe der Wasserspiegel sich weit genug gesenkt hat, daß man die Beschaffenheit des Grundes unter dem Wasser sehen kann; man hat alsdann Gelegenheit, die *U m f o r m u n g* eines vom Strome erzeugten Systems paralleler regelmäßiger Sandwellen mittelst der Wasserwellen unmittelbar zu beobachten. Auf der glatten Oberfläche der Sandbank nimmt, sobald die Rücken der Sandwellen nicht mehr beständig vom Wasser bedeckt sind, jede darüber hinfluthende Wasserwelle, indem sie eine kleine Brandung bildet, etwas Sand von dem Rücken der Sandwellen mit sich zurück und lagert denselben in dem benachbarten Wellenthal ab; diese oft und auf's Genaueste von verschiedenen Beobachtern erkannte Thatsache darf als völlig feststehend angesehen werden und erklärt es vollkommen, daß oft entstellte, theilweise zerstörte Sandwellensysteme das trockengelauene Strombett bedecken. Die völlige Planirung wird selten auf der platten Oberfläche, häufig aber auf den geneigten Abhängen der Sandbänke angetroffen, weil hier die planirende Wirkung der brandenden Wasserwellen kräftiger auftritt und länger anhält. Eigene Experimente zur Beobachtung der Wirkungen von Strandwellen und Brandungen auf die Bewegung des Sandes werden weiterhin mitgetheilt und discutirt werden. Die Figur 3 stellt einige deformirte



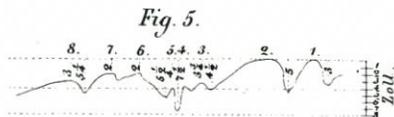
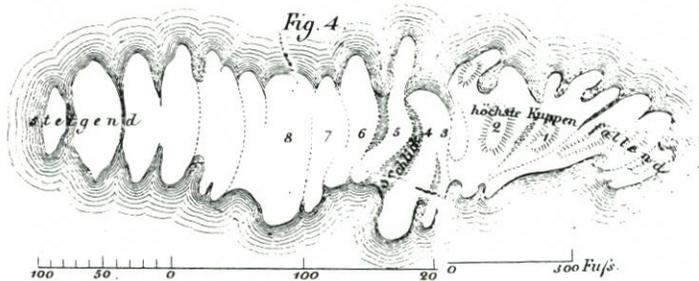
Sandwellen erster Ordnung oder *F u r c h e n* in natürlicher Größe und genau nach der Natur dar; es sind darin bei *a* kleine Ablagerungen in den Wellenthälern und bei *b* abgeplattete Scheitel bemerkbar. Einige Thatsachen, durch welche die obige Auffassung zur völligen Evidenz gebracht wird, sind folgende: Wenn man auf einer Sandfläche, die noch vom Wasser überströmt ist, die Sandwellen mittelst äußerer Einwirkung z. B. mit den Füßen oder einem geeigneten Geräthe zerstört, so wird man nach nicht langer Zeit das regelmäßige Wellensystem im Anschluss an die Umgebung durch den Strom wiederhergestellt sehen. Bedeckt man einen Theil des überströmten Flußbettes mit einer dünnen Schicht farbigen Sandes, so sieht man schon nach einigen Minuten Streifen sich bilden, die mit den Sandwellen in der Umgebung correspondiren und beurkunden, daß der Strom in durchaus regelmäßiger Weise das Bette bearbeitet. Selbst in der Tiefe des Stromschlauches ist auf diese Weise mittelst der Taucherglocke die Existenz von Sandwellen erster Ordnung beobachtet worden.

Nach allem Angeführten ist zu vermuthen, daß überall, wo strömendes Wasser über ein bewegliches Grundbett hinfließt, die Oberfläche des Bettes wellenförmig gestaltet, und daß unter dieser Form ein *a l l g e m e i n e s* *N a t u r g e s e t z* verhüllt sei, welches die Einwirkung strömender flüssiger Körper auf darunter liegende lose Anhäufungen fester Körpertheilchen regelt.

Das Fortrücken der Sandwellen erster Ordnung in der Richtung des Stromes findet bald schneller bald langsamer statt und ist ohne Zweifel eine Function der Geschwindigkeit des darüber hinfließenden Stromes. DUBUAT beobachtete bei 1 Fuß Stromgeschwindigkeit p. Secunde in kleinen künstlichen Canälen ein Fortschreiten von 3 bis 4 Pariser Zoll in einer halben Stunde. In großen Strömen sind Beobachtungen dieser Art nicht recht angebracht, doch liegen mir folgende darauf bezügliche Notizen des Wasser-Bauinspectors DALMANN vor:

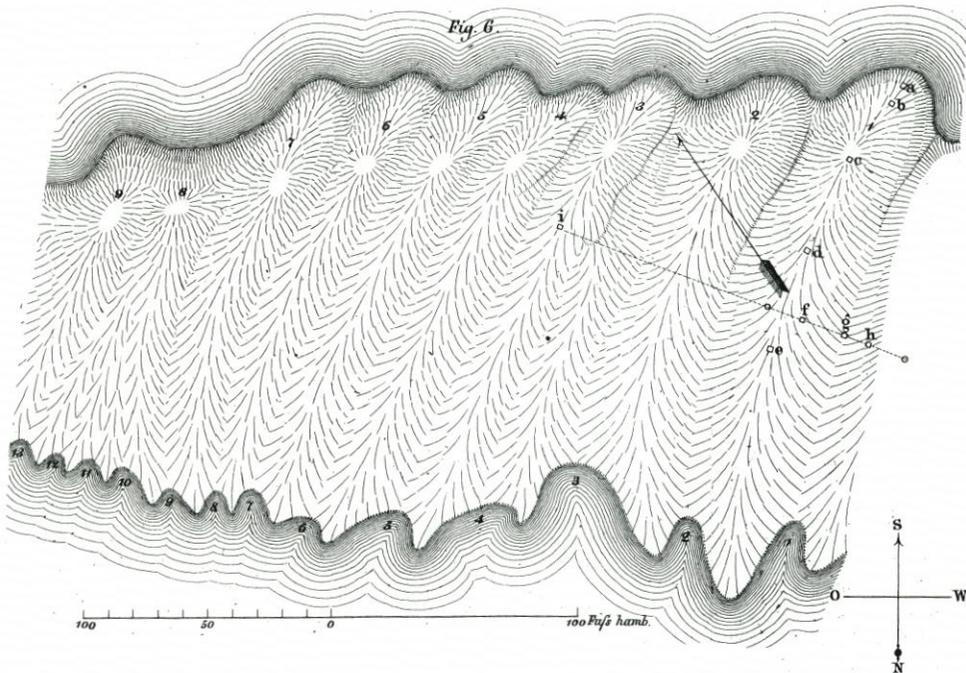
Auf der Ober-Elbe ward in geringer Wassertiefe ein Sack rothen Sandes ausgeschüttet und ausgebreitet; in 15 Minuten waren die kleinen Sandwellen vollständig gebildet, sie rückten aber in einer Stunde nicht über einen Zoll vorwärts. Bei Nienstedten (unterhalb Hamburg) ward in den Rücken einer etwa 4 Zoll unter dem Wasserspiegel befindlichen Sandwelle ein dünnes Metallstäbchen gesteckt; neben diesem bildete sich sogleich eine Vertiefung, die Verlängerung des Rückens zu beiden Seiten schritt in 12 Minuten etwa 1½ Zoll vorwärts und ward von den übrigen Sandwellen gefolgt. Eine andere Welle schritt in 8 Minuten 1½ Zoll vorwärts. An einem der folgenden Tage ward ebendasselbe ein Fortschreiten von 1 Zoll in 4 bis 5 Minuten beobachtet, es kam aber zu anderer Zeit auch vor, daß die Sandwellen in 13 Minuten nur ½ Zoll vorwärts rückten. Reducirt man alle diese Beobachtungen auf den Zeitraum von 60 Minuten, so ergibt sich, daß ein Fortrücken der Sandwellen erster Ordnung von 1, 2¼ 7½ 11¼ und 13½ Zoll pr. Stunde wirklich beobachtet ist, und daß die Beobachtung DUBUAT's von 7 Zoll pr. Stunde, zwischen den beiden Extremen ungefähr in der Mitte liegt. Die Bewegung der einzelnen Sandkörner, aus denen die Sandwelle 1. Ordnung gebildet ist, findet man ausführlich und naturgetreu a. a. Orte von HAGEN beschrieben, und habe ich dem nichts hinzuzufügen. Die Körner werden den flachen Abhang hinaufgerollt, stürzen vom Gipfel in das vordere Wellenthal hinab, werden dann von den nachfolgenden Körnern überdeckt und bleiben so lange in Ruhe, bis der ganze Wellenkörper um eine Wellenlänge vorwärts gerückt ist.

Zu den Sandwellen höherer Ordnung übergehend, fasse ich diejenigen der 2. und 3. Ordnung zusammen unter einen gemeinschaftlichen Gesichtspunkt. Ein von mir selber aufgenommenen Fall ist der in den Figuren 4 und 5 abgebildete. Figur 4 stellt die Umriss in der Wasserlinie einer Sandwelle 3. Ordnung, d. h. einer aus dem Wasser hervorragenden Sandbank der Ober-Elbe, so dar, wie sie in der gegebenen kurzen Zeit aufgemessen werden konnten; darauf sind die Formen und einige Kuppen der Sandwellen 2. Ordnung, aus denen die Sandbank gebildet war, mit punktirten Linien angedeutet, und in Fig. 5 ist ein Theil des Längenprofils durch die Mitte der Sandbank nach einem hinlänglich genauen Nivellement



aufgetragen. Man sieht daraus, daß diese Sandwelle 3. Ordnung etwa 450 Fuß lang und 100 Fuß breit über Wasser hervorragte, daß sie aus etwa 20 Sandwellen 2. Ordnung bestand, die in der Richtung der Ebbe allmähig bis zu der mit 1 bezeichneten höchsten Kuppe anstiegen, und daß sie von da an ziemlich rasch wieder bis zur Wasseroberfläche abfielen. Aus dem Profil Fig. 5 ergibt sich, daß die Sandwellen 2. Ordnung hier 1 bis 5 Zoll höher als die zwischen ihnen liegenden Thäler waren; zu bemerken ist noch, daß in mehreren dieser Thäler eine Schicht von frischem Schlick abgelagert war, die eine vorhergegangene Anschwellung des Flusses darin zurückgelassen hatte, und wodurch die ganze Erscheinung viel Aehnlichkeit mit einer im kleinen Maaßstabe dargestellten Reihe sandiger Geesthügel erhielt, deren Abhänge am Fuße theils von Marschländereien begrenzt sind, theils unmittelbar vom Strome bespült werden. Die Sandwellen 2. Ordnung waren auf der platten Fläche sämtlich mit Sandwellen 1. Ordnung bedeckt, die durch Wellenschlag etwas gestört erschienen und von denen in der obigen Figur 3, B eine naturgetreue Anschauung gegeben ist. Die steileren Abhänge waren glatt planirt.

Eine andere Erscheinung der nämlichen Art ist von mir in der weiter seewärts gelegenen Stromgegend bei Blankenese aufgenommen und zu specielleren Beobachtungen benutzt

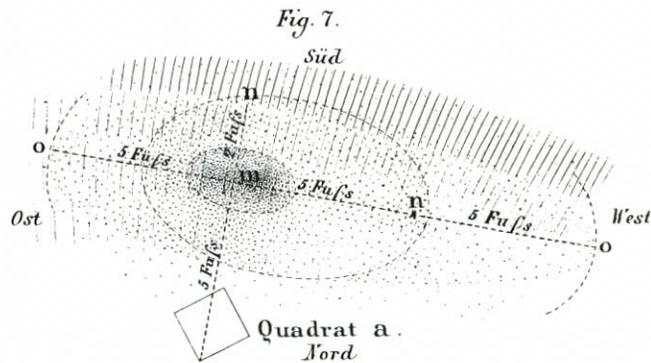


worden. Die Fig. 6 stellt die Oberfläche dieser Sandwelle so weit dar, als die Aufnahme derselben während einer Ebbe ausgeführt werden konnte. Man sieht, daß dieselbe zwischen zwei Stromrinnen belegen war und gegen die südliche einen ziemlich steilen, gegen die nördliche einen sehr flachen Seitenabhang hätte.<sup>1)</sup> Die Oberfläche ward durch ein System von einigermaßen parallelen, etwas gekrümmten Sandwellen 2. Ordnung gebildet, welche die

<sup>1)</sup> Um die LEHMANN'sche Bergzeichnung hier anwenden zu könne, mußten durch weg die Böschungswinkel steiler dargestellt werden als sie in Wirklichkeit waren, wie dies aus den oben angegebenen, gemessenen Höhenunterschieden sich ohne Weiteres ergibt.

Längsaxe der Hauptwelle schief durchschnitten. Das Ganze war, mit Ausnahme der höchsten Kuppen und des steilen südlichen Abhanges (welche planirt waren), mit Sandwellen erster Ordnung bedeckt, deren Form und Richtung nicht notirt worden ist. Die Höhe der mit 1 bis 9 bezeichneten Kuppen über den zwischenliegenden Thälern betrug etwa 6 Zoll, und das Längengefälle der Thäler bis zur Wasserlinie betrug gleichfalls 6 Zoll, so daß die höchsten Punkte der Sandbank etwa 1 Fuß über Niedrigwasser sich erhoben. Auf diesem zur genauen Beobachtung der Sandbewegung vorzüglich geeigneten Boden wurden vom 2. bis 6. Juni 1853 folgende Experimente angestellt: Auf dem höchsten Rücken einer Sandwelle 2. Ordnung wurden am 2. Juni Nachmittags 5 Quadrate, jedes von 18 Zoll Seite, 3 bis 3½ Zoll tief ausgehoben, mit farbigem Sande wieder ausgefüllt und mit beigesteckten eisernen Bolzen bezeichnet (vergl. Fig. 6 bei *a*, *b*, *c*, *d* und *e*); ferner wurde eine Linie in der Richtung *f h* nivellirt und mit Höhenpfählen bezeichnet; endlich wurden in dieser Richtung die drei Quadrate *f*, *g*, *h* von 18 Zoll Seite und 3½ bis 4 Zoll Tiefe von farbigem Sande angelegt. So vorbereitet ward das Experiment bei steigender Fluth den Wirkungen der Strömung überlassen. Am nächsten Morgen, nach Verlauf einer Tiede, wurden folgende Veränderungen vorgefunden, die ich wegen der Neuheit mancher der beobachteten Thatsachen ausführlich nach der Reihenfolge der Quadrate beschreibe.

Q u a d r a t *a*. Kein farbiges Sand war innerhalb des Quadrats befindlich, obwohl die an dem Bolzen gemessene Höhe der Oberfläche nur ½ Zoll erniedrigt war. Der farbige Sand war also in der ganzen Dicke von 3 Zoll deplacirt, und 2½ Zoll grauer Sand dafür an die Stelle



getreten. Fig. 7 zeigt die Vertheilung des farbigen Sandes auf dem südlichen Abhange, wo derselbe, mit dem Flußsande vermischt, eine in der Gegend von *m* etwa ½ Zoll dicke, weiter abwärts mehr und mehr verschwindende Schicht bildete. Die Intensität der Färbung ist durch Punktur in der Figur angedeutet.

Q u a d r a t *b*. Die Oberfläche war um 1 Zoll erniedrigt; die oberste ½ Zoll dicke Schicht bestand aus grauem Sande mit einiger gelber Beimischung, unter dieser befand sich farbiger Sand ½ Zoll dick in unveränderter Lage. Die Deplacirung des farbigen Sandes war hier also 2½ Zoll tief gegangen und an dessen Stelle eine ½ Zoll dicke Schicht grauen Sandes niedergelegt. Die Wanderung des ersteren hatte in der Richtung gegen Süden und Südosten stattgefunden und konnte bis in eine Entfernung von 8 Fuß vom Ausgangspunkt verfolgt werden.

Q u a d r a t *c*. Die Oberfläche war 2 Zoll erniedrigt, kein farbiger Sand innerhalb der Grenzen des Quadrats vorhanden, und derselbe bis zu 10 Fuß Entfernung in südlicher Richtung in Form einer langen Ellipse zerstreut. Der höchste Rücken der Welle, auf welchem dieses Quadrat angelegt ward, befand sich jetzt 3 Fuß östlich von dem Bolzen.

Quadrat *d*. Die Oberfläche war  $2\frac{1}{4}$  Zoll erniedrigt;  $\frac{1}{2}$  Zoll unter derselben befand sich eine  $\frac{3}{8}$  Zoll dicke Schicht farbigen Sandes in unveränderter Lage, es war also eine Schicht von  $2\frac{1}{8}$  Zoll Dicke deplacirt und eine andere von nur  $\frac{1}{2}$  Zoll Dicke an die Stelle getreten. Die Wanderung des farbigen Sandes war wie bei *c*.

Das Quadrat *e* und der dasselbe bezeichnende Bolzen waren nicht aufzufinden, der farbige Sand war in demselben Sinne wie bei den vorhergehenden Quadraten fortbewegt.

Die Quadrate *f*, *g*, *h* wurden noch nicht näher untersucht, da es sich zeigte, daß im Thale die Deplacirung jedenfalls viel geringer gewesen sei, mithin die Beobachtung länger fortgesetzt werden könne. Es ward in der Verlängerung der Nivellementsline noch ein Quadrat bei *i* angelegt, in welchem die farbige Sandschicht eine Dicke von 9 Zoll erhielt.

Am 6. Juni, 8 Tieden nach der ersten Anlage (7 Tieden nach der Anlage des Quadrats *i*) ward die Fläche wieder besichtigt. Die Quadrate *a* bis *e* waren nicht aufzufinden. Das Quadrat *i* zeigte folgende Thatsachen: Der Rücken, welcher sich bei dessen Anlage an derselben Stelle mit dem Quadrate befunden hatte, befand sich jetzt 14 Fuß ostwärts von dem Bolzen entfernt; die Oberfläche war an der Stelle des Quadrats  $2\frac{1}{8}$  Zoll niedriger als bei der Anlage, die oberste Schicht,  $1\frac{1}{4}$  Zoll dick, bestand aus grauem Sande mit etwas farbiger Beimischung, und darunter lag farbiger Sand  $5\frac{1}{8}$  Zoll dick, der seine Stelle nicht verändert hatte. Es war hier also eine  $3\frac{3}{8}$  Zoll dicke Sandschicht deplacirt und durch eine andere  $1\frac{1}{4}$  Zoll dicke ersetzt worden. In der Umgebung des Quadrats war die Vermengung der farbigen Körner mit dem grauen Flußsande schon zu weit gediehen, um bei der geringen Quantität derselben die Richtung der Wanderung noch erkennen zu können.

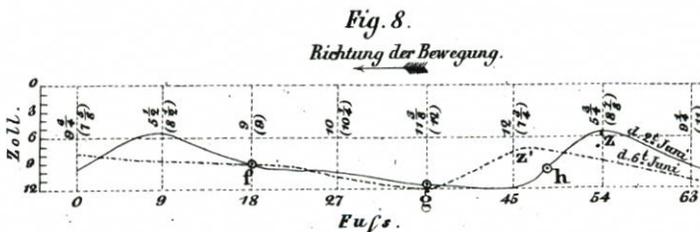
Im Quadrat *f* war die Höhe der Oberfläche unverändert; eine Schicht von  $2\frac{1}{8}$  Zoll Dicke, aus grauem Sande lag auf einer  $1\frac{1}{2}$  Zoll dicken Schicht farbigen Sandes, der seine Stelle nicht verändert hatte.

Im Quadrat *g* war die Oberfläche  $\frac{5}{8}$  Zoll niedriger geworden, grauer, mit etwas farbigem gemischter Sand bedeckte  $1\frac{1}{4}$  Zoll dick die untere, noch unbewegt vorhandene Lage farbigen Sandes von  $2\frac{1}{4}$  Zoll Dicke. Die Deplacirung hatte hier also eine Tiefe von  $1\frac{7}{8}$  Zoll erreicht, und eine Schicht andern Sandes von  $1\frac{1}{4}$  Zoll Dicke war an die Stelle getreten.

Das Quadrat *h* zeigte die merkwürdigste Beschaffenheit, indem der farbige Sand in  $3\frac{1}{2}$  Zoll dicker Lage unverändert, so wie er eingebracht war, sich noch vorfand und mit einer beinahe 4 Zoll dicken Lage grauen Sandes bedeckt war.

Zum Abschlusse der Beobachtungen ward nun noch das Nivellement vom 2. Juni in der Richtung *f*, *g*, *h* am 6. Juni wiederholt, welches zwei Wellenrücken und das dazwischenliegende Wellenthal umfaßte. Aus der Vergleichung dieser beiden, in Figur 8 dargestellten Nivellements zeigt sich eine Verschiebung des Rückens der Welle 2. Ordnung von *z* nach *z'*, oder in 8 Tieden 9 bis 10 Fuß, in der Richtung der Nivellementsline gemessen.

Es ergibt sich aber dabei zugleich eine Verminderung der Höhe in dieser Linie um  $1\frac{3}{8}$  Zoll, und dieser Umstand deutet darauf hin, daß die Richtung der allgemeinen Bewegung nicht in die Richtung der Nivellementsline falle, sondern mehr gegen Süden oder Südosten. Die oben erwähnten, bei einzelnen Quadraten notirten Wahrnehmungen über den Weg der



farbigen Sandkörner bestätigen dies. Wenn angenommen wird, daß die in der Figur 6 durch einen Pfeil bezeichnete Richtung diejenige der allgemeinen Bewegung ist, so entspricht der in der Nivellementslinie beobachteten Verschiebung des Rückens von  $z$  nach  $z'$ , (welche 9 bis 10 Fuß beträgt) eine wahre Bewegung von 12 bis 13 Fuß in 8 Tieden, oder pr. Tiede  $1\frac{1}{2}$  Fuß. Bei dem Quadrate  $i$  hatte dort der Rücken der Sandwelle in 7 Tieden 14 Fuß, oder pr. Tiede 2 Fuß zurückgelegt, und bei dem Quadrate  $c$  ergab die Beobachtung eine Verschiebung von 3 Fuß pr. Tiede. Vielleicht sind diese Verschiedenheiten zufällig, wie ja auch bei den Wasserwellen die Bewegung der einen schneller oder langsamer sein kann als die einer andern, bald darauf folgenden. Man kann aber auch eine lebhaftere Bewegung dieser Sandmasse an der Südseite und eine langsamere an der Nordseite annehmen, womit alle Beobachtungen harmoniren würden; am wahrscheinlichsten ist, daß hier Beides zusammentraf, nämlich eine schnellere Verschiebung einzelner Sandwellen 2. Ordnung im Vergleich mit den benachbarten, und zwar vorzugsweise an der Südseite. Hierauf weist der merkwürdige Umstand hin, daß die Anzahl der an der Südseite belegenen Kuppen (1-9) kleiner ist als die Anzahl der an der Nordseite belegenen Thaleingänge (1-13), wodurch die Verschmelzung mehrerer Kuppen in eine einzige indicirt zu sein scheint (z. B. No. 3). Wie dem aber auch sein möge, so ergeben die Beobachtungen doch zweifellos, daß die Formen der Sandwellen 2. Ordnung in diesem Falle nur  $1\frac{1}{2}$  bis 3 Fuß pr. Tiede fortgerückt sind, während in derselben Zeit die einzelnen Sandkörner, durch deren Wanderung und zeitweilige Anhäufung zunächst die veränderlichen Formen der Sandwellen 1. Ordnung gebildet werden, bis zu 10 Fuß und selbst noch weiter von ihrer ursprünglichen Stelle entfernt wurden (vergl. oben die Quadrate  $a, b, c, d$ ). Die Beobachtungen ergeben ferner, daß die Bewegung der Sandkörner sich bis zu einer gewissen, nicht allenthalben gleichen Tiefe unter die Oberfläche des Strombettes erstreckte und daß die Stelle der fortgeführten Sandkörner von einer bald dünneren, bald dickeren Schicht anderer Sandkörner eingenommen ward, wodurch die Oberfläche im ersteren Falle niedriger, im letzteren höher geworden war. Der ganze Vorgang läßt sich ziemlich anschaulich darstellen, wenn wir die vorliegenden Daten über das Displacement des Sandes mit dem Längenprofil der vorigen Figur vereinigen. Dies ist in Figur 9 geschehen, wo die scharf gezogene Linie  $m - m$



die Form der Oberfläche vor Beginn des Experimentes bezeichnet, die mit Strichpunkten gezogene Linie  $n - . - n$  die Form der Oberfläche nach Beendigung des Experimentes darstellt, und die rundpunktirte Linie  $o \dots o$ , welche an einem Ende in  $m m$ , am andern Ende in  $n n$  übergeht, die untere Grenze der während des Experimentes stattgefundenen Sandbewegung andeutet. Die Betrachtung ergibt, daß hier nicht nur die DUBUAT'sche Beschreibung von der Fortbewegung der Sandkörner überhaupt, sondern auch ganz speciell die von HAGEN zuerst bemerkte Thatsache bestätigt wird, „daß am Fuße der vorderen geneigten Fläche die Anzahl der in Bewegung gesetzten Körner viel geringer ist als nach dem Scheitel hin, wo ein Körnchen das andere zu berühren, oder die ganze Oberfläche in Bewegung zu sein scheint.“ Die hier mit HAGEN's Worten aufgenommene Beschreibung schildert genau diejenige Operation, welche stattfinden muß, wenn so wie es bei der vorliegenden Beobachtung der Fall war, die Dicke der in gleichen Zeiträumen bewegten

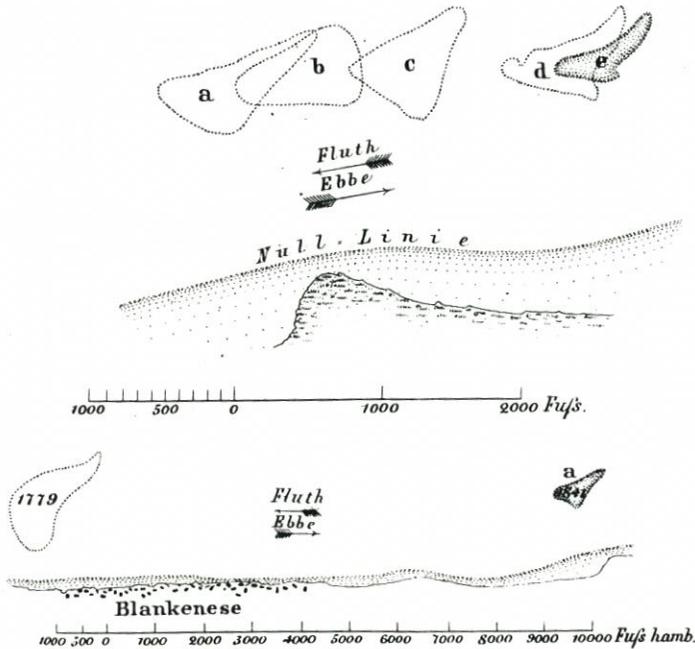
Schicht auf dem Scheitel der Welle bedeutend größer sein soll als im Wellenthale. Diese Uebereinstimmung erhält noch ein besonderes Interesse dadurch, daß die hier vorliegende Beobachtung an Sandwellen 2. Ordnung, also in einem viel größeren Maaßstabe gemacht ist, als die auf Sandwellen 1. Ordnung bezüglichen Beobachtungen DUBUAT's und HAGEN's, so daß mithin die Allgemeinheit des Gesetzes, nach welchem der Strom „das Grundbette bearbeitet,“ nicht zu bezweifeln ist. Eine Vergleichung zwischen dem Maaße der Bewegung bei Sandwellen 1. Ordnung und 2. Ordnung läßt sich nicht eher erschöpfend durchführen, als bis auch die Bewegung von Sandwellen höherer Ordnungen näher in Betracht gezogen ist. Dabei müssen aber noch längere Beobachtungsperioden zum Grunde gelegt werden, indem man sich bald überzeugt, daß das Fortrücken von Sandwellen um so langsamer vor sich geht, je höher die Ordnung ist, welcher sie angehören.

In derselben Stromgegend, in welcher die eben mitgetheilten Beobachtungen angestellt sind, ist das Fortrücken einer Sandwelle 3. Ordnung von 1841 bis 1855, also während eines Zeitraumes von 14 Jahren beobachtet und wiederholt durch Messung festgestellt worden; später konnten die gewonnenen Resultate noch durch eine im Archive aufgefundene Aufmessung desselben Sandfeldes vom Jahre 1779 erweitert werden, so daß die ganze Beobachtungsperiode einen Zeitraum von 76 Jahren umfaßt. Die Figur 10 enthält hierüber Folgendes:

- die Aufmessung *a.* mit dem Datum „im Sommer“ 1841
- „ „ *b.* „ „ „ April 1844,
- „ „ *c.* „ „ „ October 1847,
- „ „ *d.* „ „ „ Mai 1854,
- „ „ *e.* „ „ „ Juni 1855,

ferner in der unteren Abtheilung, nach kleinerem Maaßstabe, die Aufmessung von 1779 im Zusammenhange mit derjenigen von 1841.

Fig. 10.



Diese Zeichnungen stellen sämtlich die Contour der Sandwelle, so wie dieselbe bei ordinär Niedrigwasser vom Wasser frei ward, vor, und ist darüber noch zu bemerken, daß der vordere, steilere Abhang eine schärfere Bestimmung der Niedrigwasserlinie gestattete als der sehr flach verlaufende, hintere Abhang, und daß man deshalb die Entfernungen in den verschiedenen Jahren nach der Vorderseite abmessen muß. In Betreff der einzelnen Messungen ist zu erinnern, daß diejenigen von 1841 und 1844 weniger sicher sind als die späteren, da Anfangs die Aufmerksamkeit auf diesen speciellen Punkt noch nicht fixirt war. Die Messung von 1779 ist einer mit Sorgfalt im großen Maaßstabe bearbeiteten Stromkarte entnommen.

Wenn man nun die zurückgelegten Wege nach den Originalrissen mißt, so ergeben sich folgende Zahlen:

1779 bis 1855; in 76 Jahren 13 400 Fuß, pro anno 176 Fuß;

October 1847 bis Juni 1855; in 92 Monaten 1200 Fuß, pro anno 156 Fuß;

Mai 1854 bis Juni 1855; in 13 Monaten 700 Fuß, pro anno 162 Fuß;

Sommer 1841 bis Juni 1855; in 14 Jahren 2450 Fuß, pro anno 175 Fuß;

Sommer 1841 bis October 1847; in etwa 76 Monaten 1250 Fuß, pro anno 197 Fuß.

Auf die Abweichungen derjenigen Zahlen, die sich auf kürzere Zeiträume beziehen, ist hier kein besonderes Gewicht zu legen, da die bald mehr bald weniger starken Hochfluthen in verschiedenen Jahren verschiedene Werthe für die Größe der Sandbewegung zur Folge haben müssen. Dazu kommt noch der Umstand, daß die Bestimmung der Niedrigwasserlinie am Fuße einer so ungemein schwach geneigten Fläche, wie die Kuppe einer Sandbank, stets eine gewisse Unsicherheit in sich trägt, die erst in dem Durchschnittswerthe vieler Jahre verschwindet. Wir müssen deshalb den 76jährigen Durchschnitt, der mit dem 14jährigen nahe übereinstimmt, nämlich 176 Fuß pro anno, als die richtige Größe der Bewegung dieser Sandwelle 3. Ordnung annehmen.

Neben dieser Thatsache tritt bei Betrachtung der Figur noch eine zweite Erscheinung unverkennbar hervor, nämlich eine stetige Verkleinerung der über Niedrigwasser sichtbar werdenden Oberfläche, d. h. ein allmähiges Niedrigerwerden der Sandbank oder, was dasselbe sagt, eine Verminderung ihrer Masse. Auch in dieser Beziehung kann aus den schon erwähnten Gründen die Vergleichung von Messungen nahe auf einander folgender Jahre keinen sichern Anhalt gewähren, dagegen ist ein Zeitraum von  $\frac{3}{4}$  Jahrhundert sicher ausreichend, um mittelst eines Durchschnittswerthes alle erheblichen Zufälligkeiten auszuschließen und die unvermeidlichen Messungsfehler unschädlich zu machen. Figur 11 zeigt die betreffende Sandwelle nach den Aufnahmen von 1779 und 1854 im gleichen Maaßstabe über einander gezeichnet; danach ist:

der Flächeninhalt über Niedrigwasser

für 1779 = 1 651 000 □ Fuß, für 1854 = 223 200 □ Fuß;

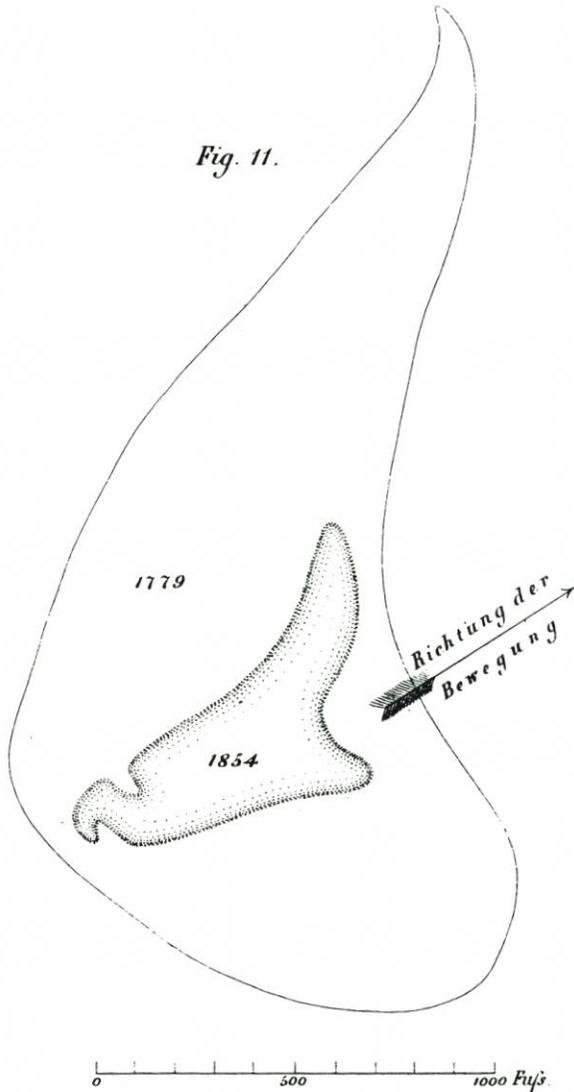
der Umfang in der Niedrigwasserlinie

für 1779 = 6150 Fuß, für 1854 = 2540 Fuß.

Stellt man sich nun die Sache so vor, als ob die Sandbank eine nach allen Seiten gleichmäßig abfallende gerade Böschung hätte, also ein flacher Kegel oder eine Pyramide wäre, und allmähig in gleichem Zeitmaße tiefer eingesenkt oder erniedrigt würde, und bezeichnet man den Umfang in der Niedrigwasserlinie für zwei verschiedene Jahre mit  $p'$  und  $p''$ , die Differenz der Flächeninhalte mit  $d$  und die Anzahl der Jahre mit  $n$ , so ist klar, daß in jedem Jahre das Wasser ringsherum einen Streifen am Fuße der Böschung in Besitz genommen haben

müsse, dessen Breite  $b = \frac{2d}{n(p' + p'')}$  ist. Die Unregelmäßigkeit der gegebenen Figuren und

die Form der Kuppe überhaupt ist nun freilich sehr verschieden von der hier zum Grunde gelegten Vorstellung eines regelmäßigen pyramidalischen Körpers, indeß kommt sie demsel-



ben doch nahe genug, um diese Behandlungsart auf den vorliegenden Fall anzuwenden. Wir haben dann, nach den Messungen von 1779 und 1854:

$$d = 1\,427\,800; p' = 6150; p'' = 2540; n = 75,$$

folglich  $b = 4,4$  Fuß.

Nach den Messungen von 1854 und 1855 ist:

$$d = 223\,200 - 129\,000 = 94\,200; p' = 2540; p'' = 1900; n = 1,$$

folglich  $b = 4,25$  Fuß.

Einer Böschungsbreite von  $4\frac{1}{4}$  bis  $4\frac{1}{2}$  Fuß entspricht auf der Kuppe großer Sandbänke die Höhe von ungefähr  $\frac{1}{2}$  Zoll, da das Neigungsverhältnis etwa  $= 1 : 100$  anzunehmen ist; man kann also die im vorliegenden Falle erkannten Thatsachen folgendermaßen zusammenfassen: Die Kuppe dieser Sandwelle wird jährlich um 176 Fuß in der Richtung des Ebbestromes

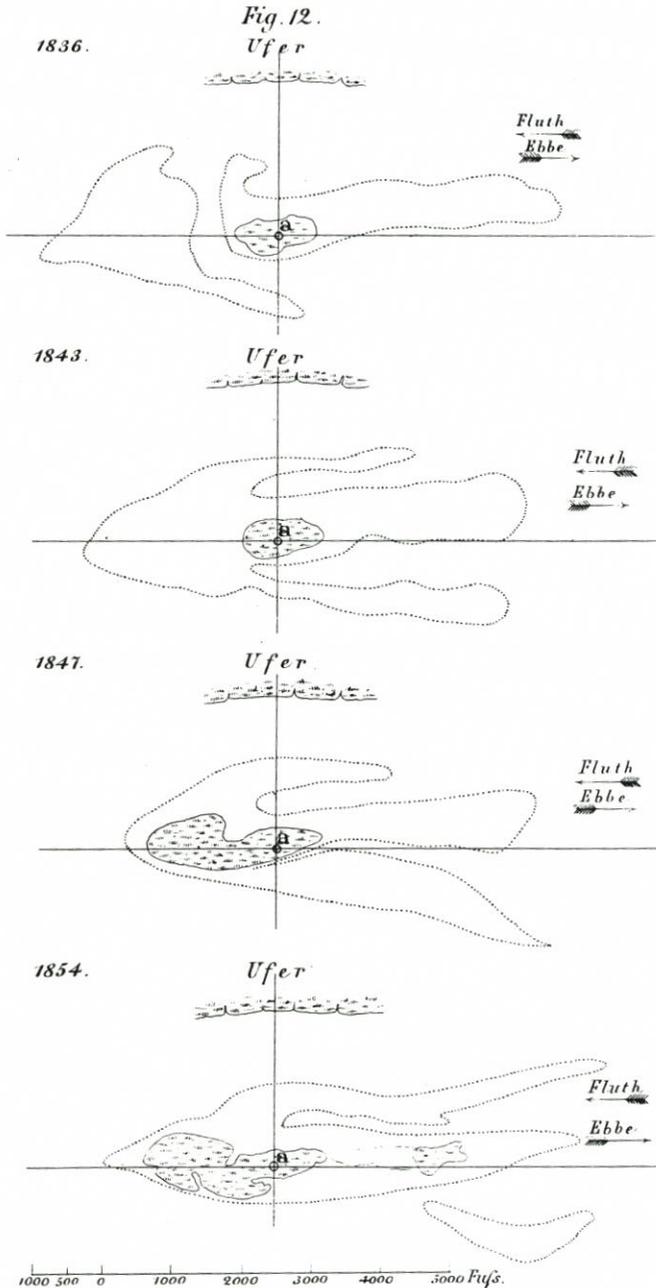
fortbewegt und um etwa  $\frac{1}{2}$  Zoll erniedrigt, wodurch die über Niedrigwasser zu Tage kommende Oberfläche in jedem Jahre um so viel verkleinert wird, als ein Streifen von  $4\frac{1}{2}$  Fuß Breite, ringsum die ganze Sandbank in der Niedrigwasserlinie liegend, beträgt.

Auch bei Sandwellen, die so niedrig sind, daß sie selbst bei den tiefsten Ebben niemals wasserfrei werden, ist das regelmäßige Fortschreiten derselben in der Richtung des Ebbestromes beobachtet worden. Als Beispiel solcher Beobachtungen hebe ich, unter mehreren mir bekannten, einen Fall hervor von einer, etwa eine Meile oberhalb der eben erwähnten Stromgegend in schräger Richtung quer durch das große Fahrwasser sich erstreckenden Untiefe, auf welcher die natürliche Wassertiefe bei ordinär Niedrigwasser 9 Fuß betrug, und deren Lage von 1847 bis 1852 in jedem Jahre genau aufgemessen ist. Hier ward während der Sommermonate die Tiefe in der Richtung des Fahrwassers durch Baggerung um 2 bis 3 Fuß vermehrt und nahm dann während des Winters wieder ab, und es ergab sich, daß das Fortschreiten der ganzen Sandwelle, von welcher die Baggerstelle nur einen verhältnismäßig sehr kleinen Theil ausmachte, in 64 Monaten um 1100 Fuß oder im Durchschnitt pro anno 206 Fuß in der Richtung der Ebbe fortrückte. Die Bewegung war hier also merklich schneller als die in dem vorhin mitgetheilten Falle beobachtete, wie es auch sein muß, da eine Sandmasse, die beständig unter Wasser bleibt, der Einwirkung des Stromes länger ausgesetzt ist, als eine solche, die während eines Theils der Ebbe wasserfrei wird. Diese Wahrnehmung lenkt übrigens die Aufmerksamkeit auf den beachtenswerthen Umstand, daß aus demselben Grunde auch bei hohen Sandbänken der tieferliegende Theil der Böschungen stärker angegriffen werde, als ihre über Niedrigwasser hervorragende Kuppe, und hierauf ist bei Erklärung des beobachteten allmäligen Zusammensinkens oder Kleinerwerdens solcher Sandanhäufungen Rücksicht zu nehmen, ohne daß jedoch die Mitwirkung anderer Ursachen dadurch ausgeschlossen wird. Unter letzteren ist ohne Zweifel diejenige am wirksamsten, welche ich in dem vorhergehenden Abschnitte dieser Abhandlung als *Sortirung der Sandkörner* durch den Strom bezeichnet und in den Mengungsverhältnissen der Körnergrößen verschiedener Stromgegenden nachgewiesen habe.

Die in den beiden so eben erörterten Fällen wahrgenommene Regelmäßigkeit des Fortschreitens während langer Zeiträume findet nun aber keinesweges bei allen Sandwellen 3. Ordnung statt, sondern es treten dabei mancherlei Hemmungen, Beschleunigungen und Ablenkungen von der allgemeinen Richtung des Ebbestromes ein. Schon der zuerst angeführte Fall zeigte eine solche Ablenkung, indem dort die Bewegung, der westlichen Richtung des allgemeinen Ebbestromes beinahe gerade entgegengesetzt, gegen Südosten ging. Die Ursachen solcher Störungen lassen sich – insofern sie nicht der Natur der Ströme fremd sind, wie z. B. Stromcorrectionswerke, Brückenbauten etc. – unter den allgemeinen Begriff der *Inselbildung* zusammenfassen.

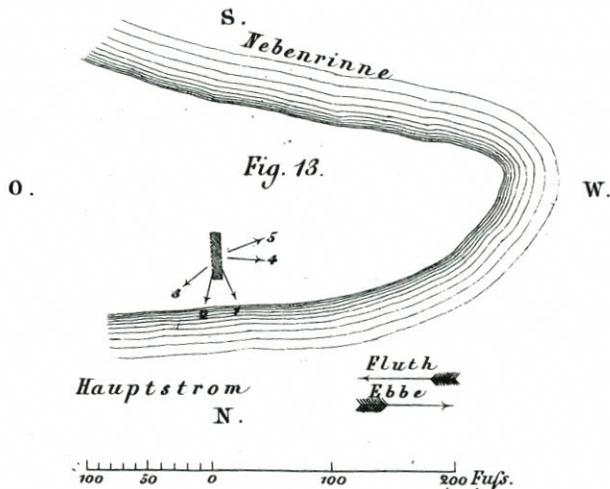
Sobald nämlich auf dem Gipfel einer Sandwelle einige Vegetation Platz greift, welches durch meist zufällige, unerkennbare Umstände veranlaßt wird, so hört nicht nur dieser begründende Theil der Oberfläche auf, an der allgemeinen Sandbewegung Theil zu nehmen, sondern derselbe verzögert und stört auch das Fortschreiten seiner Umgebung, und zwar besonders den stromaufwärts und stromabwärts belegenen Theil derselben, während zu beiden Seiten der werdenden Insel der vorbeistreichende Strom fortfährt, seine Wirkung auf die lose Sandmasse auszuüben. Nähert dann eine andere, noch in der Wanderung begriffene Sandwelle sich der oberen Spitze einer begrüneten Insel, so bleibt der, dieser in der Richtung des Stromes gegenüberliegende Theil der ersteren zurück, während die seitwärts liegenden Enden in ihrer Bewegung beharren, und dadurch nimmt die wandernde Sandwelle, schon ehe sie sich über der Wasserfläche mit der festliegenden Insel vereinigt hat, eine gekrümmte Form an; sie hängt sich gleichsam auf der oberen Inself Spitze auf. Neben der Insel bilden sich dann

zu beiden Seiten lange schmale Rücken, die durch einen Priel von derselben geschieden sind, sich mehr und mehr stromabwärts ziehen und zuletzt von dem mittleren, in die Masse der Insel übergehenden Theile trennen, um als kleinere unabhängige Sandwellen sich der allgemeinen Bewegung wieder anzuschließen. Auf der Insel selbst breitet die Vegetation sich mehr und mehr aus, wenn sie nicht, z. B. durch Eisgang, zerstört wird, und es ist bekannt, wie rasch die Vergrößerung solcher Alluvionen zunimmt, zumal wenn sie durch Schlickfall begünstigt ist



oder man ihr durch Anpflanzung von Weiden etc. zu Hülfe kommt. Alle diese Erscheinungen treten sehr deutlich in Figur 12 hervor, welche eine jetzt ziemlich ausgedehnte Insel, einige Meilen unterhalb Hamburg, nebst einer dagegen getriebenen Sandwelle nach Aufmessung von 1836, 1843, 1847 und 1854 darstellt.

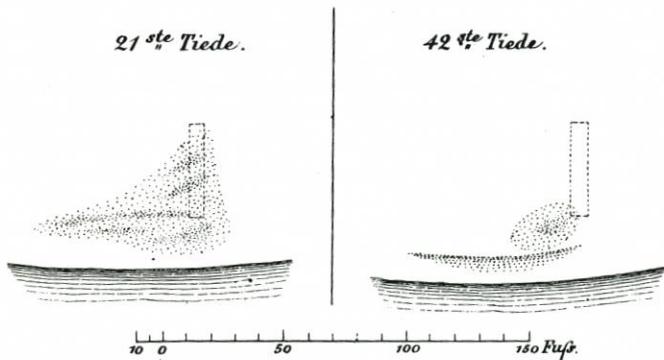
Am untern Ende festliegender Inseln sieht man oft in bedeutender Länge stromabwärts sich erstreckende Sandrücken, die, gegen directe Einwirkung des Hauptstromes durch ihre Lage geschützt, an der allgemeinen Sandbewegung in der Richtung des Ebbestromes keinen Theil nehmen; gleichwohl ist die Ruhe derselben nur scheinbar, indem sie beständigen Angriffen von Querströmungen ausgesetzt sind, durch welche sie von einer Seite zur andern übergewälzt werden. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, daß zwei nebeneinander befindliche Stromrinnen niemals in ganz gleichem Grade von den Schwankungen der Fluthwelle afficirt werden, so daß zwischen ihnen ein Bestreben zur Ausgleichung des Niveau-Unterschiedes stattfindet, welches, sobald der Wasserspiegel den trennenden Sandrücken übersteigt, sich durch die erwähnten Querströmungen bemerkbar macht. Bei den in Folge dessen eintretenden Verschiebungen des Sandrückens von einer Seite zur anderen findet dieselbe Operation statt, welche DUBUAT beschrieben hat und die hier schon in einem der mitgetheilten Fälle durch Beobachtung im größeren Maaßstabe bestätigt worden ist. Einen ganz speciellen Nachweis dieser Operation lieferte folgende, auf einer Sandwelle von der eben beschriebenen Art angestellte Beobachtung, mit Hülfe einer von farbigem Sande angefertigten Fläche, die 40 Fuß lang, 6 Fuß breit und 9 Zoll tief angelegt war. Die Dauer des Experiments war etwa 3 Wochen (vom 28. Juli bis 19. August 1853).



Die beobachtete Veränderung der Stromrichtung während des Verlaufs einer Tiede ist in Figur 13 durch numerirte Pfeile veranschaulicht, das mit farbigem Sande ausgefüllte Rechteck ist schraffirt gezeichnet. Als bei steigender Fluth der Sandrücken unter Wasser kam, fiel der Strom nach der Richtung No. 1 querüber aus der südlichen Stromrinne in die nördliche, und drehte sich allmähig weiter aufwärts durch No. 2 bis zu No. 3, welche mit Hochwasser zusammentraf; dann wechselte der Strom nach der Richtung No. 4, welche der allgemeinen Ebbeströmung des Hauptstromes parallel ist, und drehte allmähig bis No. 5, welche von der nördlichen Rinne nach der südlichen hinweist. Man sieht hieraus, daß in diesem Falle die südliche Rinne sowohl von der Fluth als von der Ebbe rascher afficirt ward als die nördliche,

indem bei steigendem Wasser jene in diese, bei fallendem Wasser aber diese in jene sich entlastete. Die Bewegung der farbigen Sandkörner fand vorherrschend in der Richtung No. 1 bis No. 4 statt, worin das überwiegende Moment des querüberfallenden Fluthstromes über den Ebbestrom an dieser Stelle sich zu erkennen gab. Schon nach Verlauf der 2. Tiede konnte man in der Oberfläche den farbigen Sand vermisch mit dem Flußsande bis in eine Entfernung von 40 Fuß von der ursprünglichen Stelle bemerken; nach Verlauf der 21. Tiede und der 42. Tiede gewährte die Oberfläche etwa den in der Figur 14 dargestellten Anblick, wenn man statt der Punktirung den farbigen Sand sich denkt, durch den die Oberfläche an den Stellen

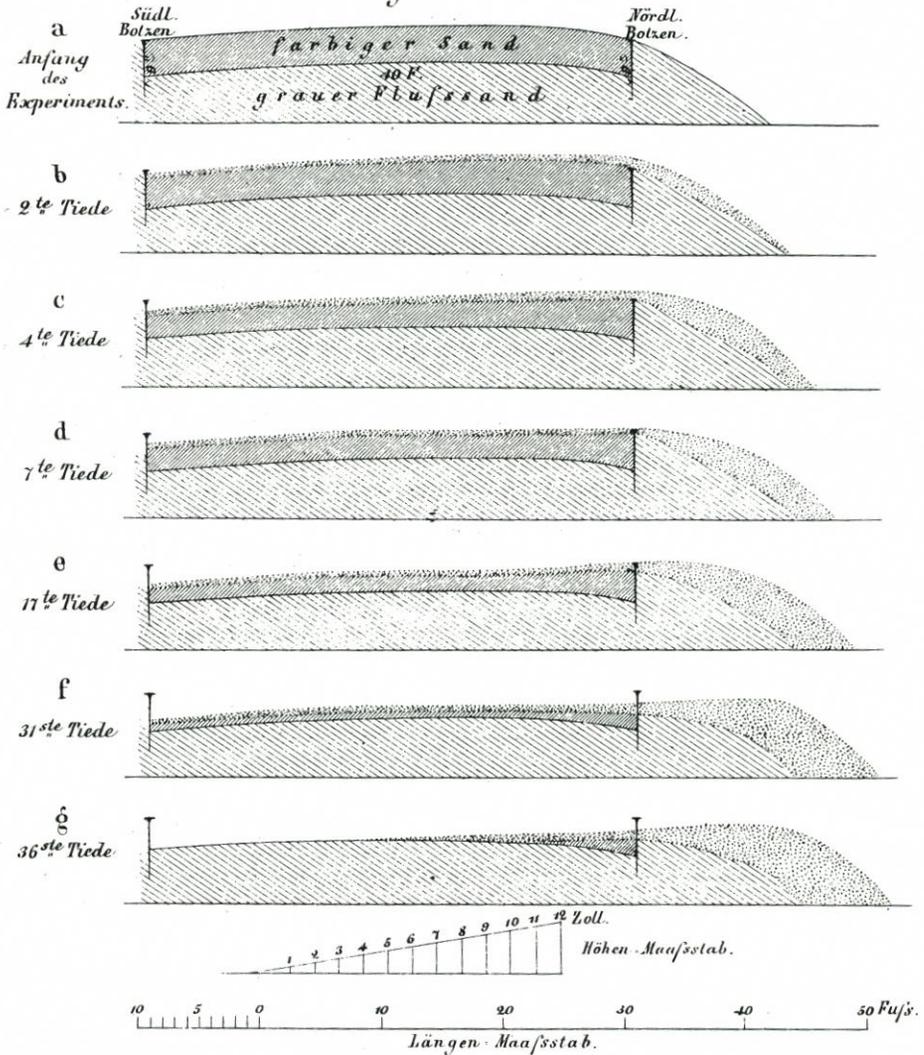
Fig. 14.



intensiver gefärbt erschien, wo die Punktirung dichter gezeichnet ist. Die spezielle Untersuchung der Experimentalfläche und ihrer nächsten Umgebung, wobei auch das Innere des Sandkörpers mittelst vorsichtiger Aufdeckung und Bohrung in Betracht gezogen ward, zeigte eine Reihe interessanter Veränderungen, die über den ganzen Vorgang Aufschluß geben. Fig. 15 stellt einen Längendurchschnitt durch die Experimentalfläche und die darin stattgefundenen Veränderungen für verschiedene, dabei angegebene Zeitpunkte dar. Der farbige Sand ist da, wo er mit dem grauen Flußsande vermengt, also in Bewegung gewesen war, punktirt gezeichnet. Die Schraffierung nach links bedeutet unvermischten, also bis dahin in Ruhe verbliebenen farbigen Sand, die Schraffirung nach rechts aber grauen Flußsand ohne bemerkbare farbige Beimischung.

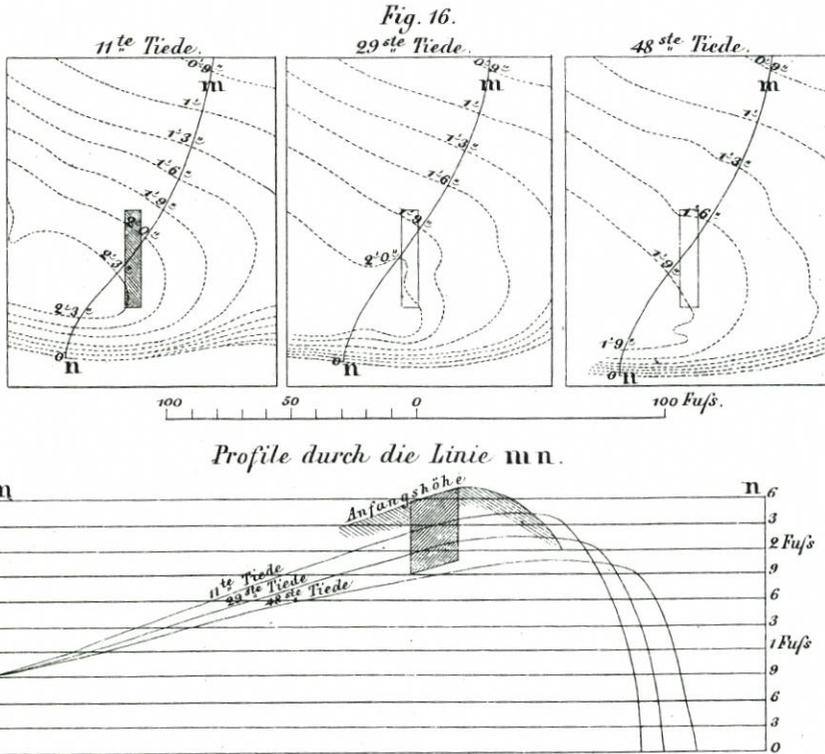
Das Profil *a* zeigt die Form der Oberfläche und die Lage des farbigen Sandes beim Beginn des Experimentes, als noch kein Strom darüber gegangen war. Die beiden, während des ganzen Experiments in unveränderter Stellung verbliebenen Bolzen, welche die Anfangshöhe der Oberfläche markirten, sind in sämtlichen Zeichnungen *a* bis *g* angegeben, und die Umgebung ist in den Zeichnungen *b* bis *g* so dargestellt, wie sie resp. nach Ablauf der 2., 4., 17., 31. und 36. Tiede befunden ward. Die Veränderungen bestanden im Wesentlichen darin, daß der Sand in der Richtung von Süden nach Norden übergewälzt und dabei die Oberfläche nach und nach erniedrigt ward. Anfangs zeigte sich am Nordende einige Erhöhung, bis nach Ablauf der 4. Tiede auch dort Erniedrigung eintrat. Der übergewälzte Sand blieb auf dem nördlichen Abhange so lange in Ruhe, bis die Erniedrigung der Oberfläche denselben hier abermals erreichte und der Strom ihn wieder in die Bewegung hineinzog (vergl. 17. Tiede und folg.) Die Dicke der in Bewegung gewesenen Sandschicht war geringer auf dem südlichen flachen Abhange als in der Gegend des Scheitels der Welle, und variierte von 1 bis 2½ Zoll. In der am nördlichen Abhange successive abgelagerten, ruhenden Sandmasse wurde die farbige Beimischung bis zu 13 Zoll Tiefe unter der Oberfläche wahrgenommen. Ein kleiner Rest

Fig. 15.



unvermischten farbigen Sandes ward noch nach Ablauf der 36. Tiede am Nordende der Experimentalfläche in der ursprünglichen Lage vorgefunden; als auch dieser nach Verlauf der 48. Tiede verschwunden war, ward die Beobachtung geschlossen. Während des Verlaufs des Experiments ist die Oberfläche der Sandbank dreimal, nämlich nach Ablauf der 11., 29. und 48. Tiede, in weiterem Umfange genau aufgemessen und nivellirt; das Ergebnis ist in Fig. 16 im Grund- und Profilriß dargestellt. Die in den Grundrissen angegebenen Horizontallinien liegen in Verticalabständen von je 3 Zoll; das beigegefügte Profil ist so gelegt, daß es sämtliche Horizontalen thunlichst in normaler Richtung durchschneidet. Hiernach hat die Verschiebung dieser Sandwelle 3. Ordnung in der Richtung *m n* in dem Zeitraume von 37 Tieden 9 bis 10 Fuß, d. i. circa 3 Zoll p. Tiede betragen.

Ueberblickt man die bei dieser Beobachtung zur Anschauung gekommenen Thatsachen, so findet man dieselben sämtlich genau übereinstimmend mit der von DUBUAT und HAGEN



in Bezug auf Sandwellen 1. Ordnung beschriebenen Operation des Stromes, nur das Maaß der Bewegung scheint ein anderes zu sein, worauf im Verfolg dieser Untersuchungen noch näher eingegangen wird. Eine bemerkenswerthe Erscheinung war es noch, daß der farbige mit dem grauen vermischte Sand an keiner Stelle gleichmäßig in der Masse verteilt war, sondern durchweg dünne Schichten oder Streifen, von bald schwächerer, bald intensiverer Färbung bildete, die in der Richtung der Bewegung gegen den Horizont geneigt waren. Man konnte aber weder in der Anzahl und Dicke der farbigen Streifen, noch in ihren Abständen von einander, regelmäßigen Zusammenhang mit der Anzahl der darüber hingegangenen Tieden entdecken, obgleich darüber sehr specielle Aufnahmen vorlagen. Die Ursache dieser Erscheinung ist die während jeder einzelnen Tiede stattfindende Veränderung der Stromrichtung. Da nämlich die Experimentalfläche im Anfang die einzige, später jedenfalls die Hauptquelle der farbigen Beimischungen ist, und deshalb der Strom einem bestimmten Punkte außerhalb derselben nur so lange erhebliche Quantitäten farbigen Sandes zuführen kann, als die Stromrichtung zugleich auch die Experimentalfläche trifft, dieses Zusammentreffen aber für jeden einzelnen Punkt nur vorübergehend stattfindet, so ist zuvörderst klar, daß eine schichtenweise Abwechslung von farbigem und grauem Sande in der Ablagerung entstehen muß. Diese kann aber nicht einfach der Anzahl der vorübergegangenen Tieden entsprechen, theils weil nach und nach auch die Umgebung der Experimentalfläche dem Strome farbigen Sand überliefert, theils weil durch die zeitweilig stattfindende entgegengesetzte Stromrichtung die Ablagerungsbedingungen nothwendig schon in der ersten Tiede viel zu complicirt werden, um sich in einer leicht erkennbaren Schichtenfolge auszusprechen. Ich kann nicht umhin, hier auf die wahrscheinliche Analogie aufmerksam zu machen, welche zwischen den so eben besprochenen Erscheinungen und der bekannten Thatsache stattfindet,

daß in unseren Alluvialgebenden höchst mannigfaltige Schichtungen verschiedenen Materials, bald gröberes über feinerem, bald umgekehrt dieses über jenem, so wie auch verschiedene Färbungen in wellenförmigen Streifen abwechselnd gefunden werden. Die Annahme von Ebbe- und Fluthbewegungen in den Gewässern, welche einst diese Alluvialformationen bedeckt haben, scheint eine ausreichende Erklärung dafür zu gewähren.

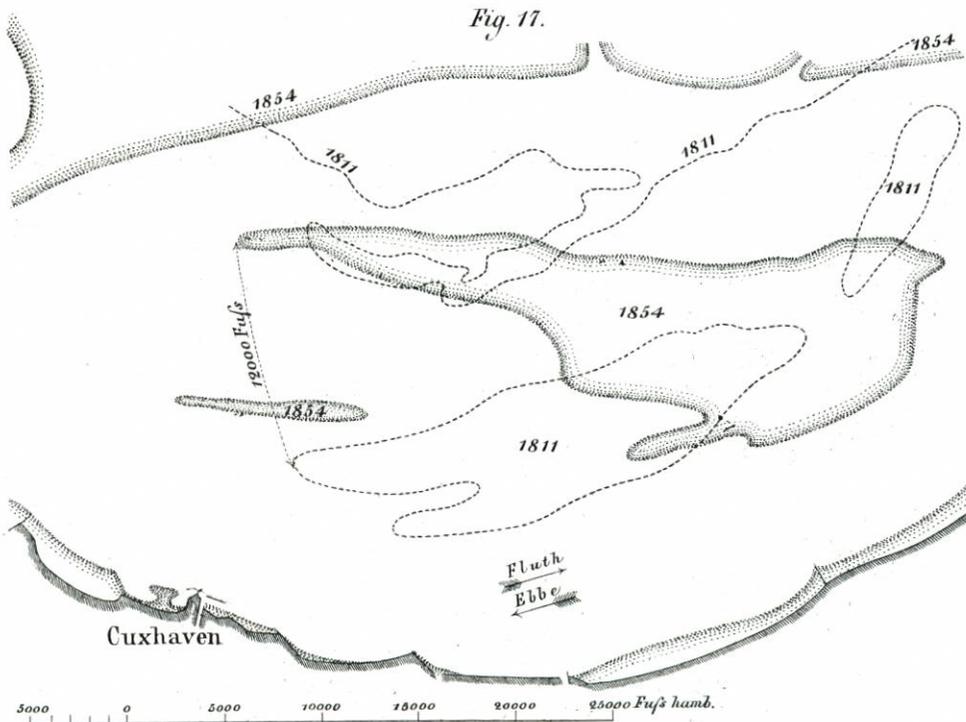
In Betreff der durch Vegetation und Inselbildung gefesselten oder in ihrer Bewegung aufgehaltenen Sandwellen 3. Ordnung ist schließlich noch zu bemerken, daß dieselben, nachdem sie während langer Zeit geruht haben, zuweilen wieder in die allgemeine Sandbewegung hineingezogen werden, sobald die bedeckende Schicht von Humus und Wurzeln durch Wellenschlag, Eisgang oder Stromangriff zerstört wird. Beispiele hierfür könnten leicht nachgewiesen werden, doch glaube ich dies unterlassen zu müssen, da dieselben nur beim Specialstudium einer bestimmten Lokalität Interesse beanspruchen können, und im Allgemeinen die Sache keinem Zweifel unterliegt.

In einem einigermaßen zutreffenden Bilde kann man die geschilderten Formveränderungen in dem Bette eines sandführenden Stromes mit einer in großer Entfernung vorüberziehenden Wolkenmasse vergleichen. Einer flüchtigen Anschauung erscheint dieselbe stillstehend und in ihren Formen unverändert; eine Vergleichung mit einigen festen Punkten zeigt die Verschiebung derselben im Großen und Ganzen, und aus anhaltender genauer Betrachtung der Formen im Einzelnen ergibt sich die unaufhörliche Verschiebung, Verkürzung oder Verlängerung der einen oder der anderen Partie, wodurch nach und nach auch das Ganze ein anderes Aussehen erhält. Wir sind hiermit bereits in die Betrachtung der Sandwellen vierter Ordnung eingetreten, die ich oben als Stromstrecken von oft meilenlanger Ausdehnung definirt habe, welche im Vergleich mit den oberhalb und unterhalb belegenen Stromgebenden vorzugsweise mit Sandmassen angefüllt und daher durch Untiefen charakterisirt sind. Dieselben zeigen in mehrfacher Beziehung höchst interessante Erscheinungen, wengleich ihre Bewegung nicht einer analogen Betrachtung mit den kleinen DUBUAT'schen Sandwellen unterzogen werden kann.

Zuvörderst ist im Allgemeinen anzunehmen, daß das Maaß der Bewegung dieser größten Sandwellen im Durchschnitt durchs ganze Jahr in allen Gegenden eines und desselben Stromes dasselbe und beinahe gleich Null ist, wengleich die Stromgeschwindigkeiten nicht aller Orten gleich sind. Diese Annahme eines constanten Verhältnisses zwischen der Kraft eines Stromes und dem am Boden desselben liegenden Materials im Großen und Ganzen, ist mit den bestehenden Unregelmäßigkeiten der natürlichen Ströme und der Ungleichheit der Stromgeschwindigkeit an verschiedenen Orten vollkommen vereinbar, weil, wie oben nachgewiesen wurde, die verschiedene Größe der bewegend Kraft sich in der mittleren Körnergröße am Boden des Strombettes ausspricht. Mir sind keine Thatsachen bekannt, welche ein ungleiches Maaß der Bewegung für hintereinander liegende Sandwellen 4. Ordnung darthun, vielmehr finde ich die Ortsveränderung der Furthen, Leichtstellen, Untiefen, Barren etc. in der Richtung seewärts, sowohl in der Elbe als in anderen mir bekannten Strömen, kaum merklich, jedenfalls so überaus langsam, daß dieselben gemeinhin für festliegend angesehen werden und nur archivalische, sehr lange Zeiträume umfassende Forschungen deren Fortrückten darthun können. Betritt man diesen letzteren Weg, so wird es allerdings wahrscheinlich, daß auch bei diesen größten Sandwellen eine Bewegung seewärts stattfindet, die aber innerhalb der Zeiträume, in denen sichere Kartirungen vorgenommen wurden, nicht meßbar erscheint. Man erfährt nur etwa, daß es vor Jahrhunderten Untiefen in Gegenden gegeben hat, die jetzt vergleichsweise davon frei sind, und daß tiefgehende Schiffe den letzten Theil ihrer Ladung an Stellen an Bord genommen haben, deren Lage jetzt dazu nicht geeignet ist; aber sichere in Zahlen auszudrückende Angaben lassen sich daraus ebenso wenig ableiten, als es

sich ausmachen läßt, ob und in wie weit partielle Verschiebungen und Wanderungen der Sandwellen niedrigerer Ordnung die in Rede stehenden Veränderungen verursacht haben. Nur der Satz geht als unzweifelhaft feststehend aus Allem hervor, daß die Bewegung der Sandwellen 4. Ordnung für die unmittelbare Beobachtung unmerklich und demnach langsamer als diejenige der Sandwellen 3. Ordnung ist.

Die zweite interessante Wahrnehmung bei den Sandwellen 4. Ordnung betrifft ihre Ueberwälzung von einer Seite des Stromes zur anderen, in ganz analoger Weise und aus derselben Ursache, wie solche in kleinerem Maaßstabe bei den Sandwellen 3. Ordnung vorhin nachgewiesen ist. Die vor den Mündungen sandführender Flüsse befindlichen Seebarren bestehen bekanntlich aus einer bogenförmigen, nach außen convex gestalteten Anhäufung, durch welche der Strom in der Regel an mehreren Stellen Rinne ausgehöhlt hat, deren tiefste man zum Fahrwasser wählt. Verfolgt man den Zustand solcher Barren während langer Zeiträume, z. B. während eines Jahrhunderts, so wird man das Fahrwasser nicht beständig in der nämlichen Rinne finden, sondern abwechselnd bald in der einen, bald in der anderen. Diese Thatsache habe ich in Betreff der Flüsse Mersey und Tees in England in meinen Reisebemerkungen hydrot. Inhalts p. 7 und 14 nachgewiesen; eine ähnlich gestaltete Seebarre befindet sich auch vor der Elbe. Durch dieselbe führen vier Stromrinnen, von denen zwei, das Südergat und das Nordergat, abwechselnd zum Fahrwasser gedient haben, so lange wir Nachrichten darüber besitzen. Vor dem Jahre 1737 war das Südergat die Hauptrinne, aber durch seitliche Ueberwälzung des zwischenliegenden Sandriffes ward dieselbe damals untief und beengt, so daß man in dem genannten Jahre sich genöthigt sah, das Fahrwasser in das Nordergat zu verlegen. Aus dem weiteren Verlaufe des vorigen Jahrhunderts liegen keine Nachweisungen vor, doch ergibt es sich, daß zu Anfang des laufenden Jahrhunderts das Fahrwasser wieder durch das Südergat ging. Während des Decenniums 1840 bis 1850 nahm



aber dieses durch Ueberwälzung des Sandriffs dergestalt ab, daß um 1850 wiederum das Nordergat zum Fahrwasser bestimmt ward. Aus diesen immerhin etwas unvollständigen Daten scheinen sich Perioden von etwa 30 bis 40 Jahren für die seitliche Bewegung der dortigen Sandwelle zu ergeben.

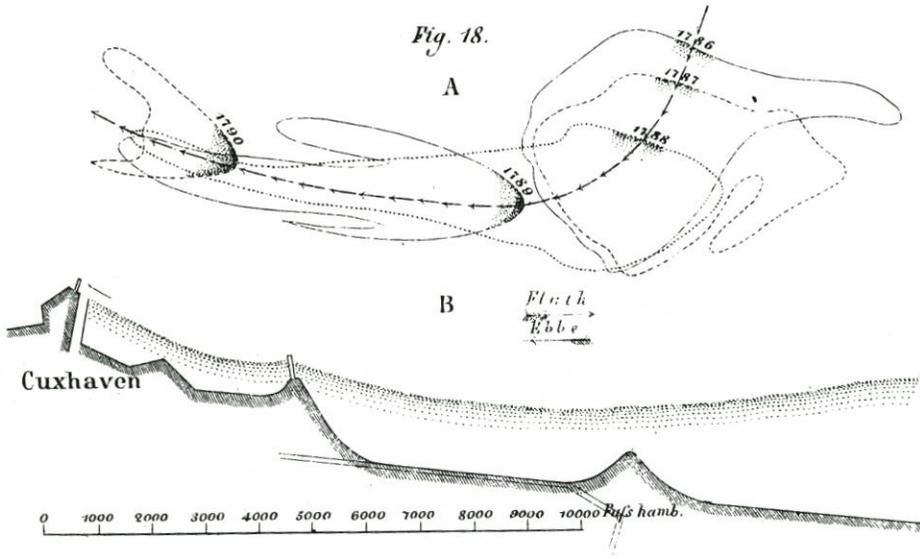
Etwas genauer ist dieselbe Erscheinung an einer anderen Sandwelle der Elbe, dem oberhalb Cuxhaven belegenen Medem-Sand nachzuweisen, indem von derselben Aufmessungen aus den Jahren 1811 und 1854 vorliegen, die eine Vergleichung gestatten. Die Aufnahme im Jahre 1811 ist von dem französischen Admiral BEAUTEMPSBEAUPRÉ zum Zwecke der gegenüberliegenden Küstenfortification ausgeführt, und darf deshalb in Betreff der Lage des Sandes gewiß als zuverlässig angesehen werden; die Aufmessung von 1854 ist ebenfalls richtig. In der Figur 17 sind beide Messungen in gleichem Maaßstabe übereinander gezeichnet, und man ersieht daraus die totale Verschiebung dieser Sandwelle von einer Seite des Stromes zur anderen, so daß die westliche Spitze in dem 43jährigen Zeitraume ihren Ort um circa 12 000 Fuß in der Richtung von Süden nach Norden verändert hat, woraus sich, in der Voraussetzung, daß die Bewegung beständig in derselben Richtung geblieben sei, ein täglicher Weg von ungefähr  $\frac{3}{4}$  Fuß ergibt.

Sehr genaue Nachweisungen über einen Theil dieser großen Sandwelle, der unter dem Namen „die Nordplate“ in den Jahren 1786 bis 1790 durch rasche Annäherung an das südliche Ufer lebhaftes Besorgniß zu Cuxhaven erregte, verdanken wir WOLTMAN, aus dessen eigenhändigen Concepten die Figur 18 zusammengestellt ist. Die Aufmessung ist jedesmal während einer einzigen Ebbezeit ganz durchgeführt, giebt also eine an ein präcises Datum geknüpfte Darstellung, was bei der großen Ausdehnung der Fläche nicht leicht zu erreichen gewesen sein mag.<sup>1)</sup>

Die aus WOLTMAN'S Messungen dieser zur 3. Ordnung gehörenden Sandwelle sich ergebenden Ortsveränderungen derselben lassen sich unter einen gemeinschaftlichen Gesichtspunkt bringen, aus welchem sie als eine gesetzmäßig fortschreitende Operation erscheinen. Zieht man nämlich die Linie a b, welche die in der Niedrigwasserlinie gezogenen Contouren der Sandwelle sämmtlich normal durchschneidet, und betrachtet dieselbe als den von der Hauptmasse der letzteren zurückgelegten Weg, so ergeben sich folgende interessante Verhältnisse:

| Daten der Aufmessungen  |                        | Durchschnitt<br>pr. Tag |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| No. 1. d. 14. Aug. 1786 | in 300 Tagen 500 Fuß;  | 1,66 Fuß,               |
| No. 2. d. 10. Juni 1787 | in 326 Tagen 1400 Fuß; | 4,3 Fuß,                |
| No. 3. d. 2. Mai 1788   | in 405 Tagen 2600 Fuß; | 6,42 Fuß,               |
| No. 4. d. 11. Juni 1789 | in 354 Tagen 5750 Fuß; | 15,54 Fuß.              |
| No. 5. d. 31. Mai 1790  |                        |                         |

<sup>1)</sup> WOLTMAN erzählte mir selber einmal, daß es ihn große Anstrengung gekostet habe, diese Aufmessungen stets vor Eintritt der Fluth zu beendigen; das erste Mal erregte sein und seiner Leute hastiges Laufen und Winken die Aufmerksamkeit der zu Cuxhaven ausschauenden Lootsen, deren Commandeur ihm ein Boot hinübersandte, weil man glaubte, es sei Jemandem ein Unglück widerfahren. Eine so strenge Gleichzeitigkeit der Aufnahme ist bei Stromkarten von größerem Umfange unmöglich und unnöthig, aber es wäre im Interesse der Wissenschaft zu wünschen, daß auf den Karten vollständigere Nachweisungen über die Zeit der Aufmessung einzelner Partien sich befänden, welche oft sehr verschieden von dem Datum der Karte ist, und auch untereinander abweicht. Die fortwährende Wandelbarkeit der Zustände in den Strombetten darf bei Kartirungen nicht ignoriert werden, wenn man nicht fehlerhafte Vorstellungen des Ganzen erhalten will.



Sowohl die in Fig. 18 dargestellten Formen, als auch diese Durchschnittszahlen führen auf eine einfache Erklärung der Bewegung dieser Sandwelle. Die Form ist Anfangs abgerundet, auf ein Centrum zu beziehen, und deutet auf einen Zustand der Ruhe; nachdem aber dann die Masse seitwärts in Bewegung gesetzt ist, wird die Form mehr und mehr langgestreckt und von der Anfangsrichtung abgelenkt, worin sich die Wirkung einer neu hinzukommenden Kraft äußert, die den schmalen Sandrücken mit sich fortreißt, so daß derselbe an Höhe und folglich auch an Ausdehnung abnimmt und nach einigen Jahren unter dem Niveau der Ebbe verschwindet. Die gefundenen Zahlen  $1\frac{1}{3}$ ,  $4\frac{1}{3}$ ,  $6\frac{1}{2}$  und  $15\frac{1}{2}$  weichen nicht bedeutend von dem Verhältniß 1, 2, 4, 8 ab, was zufällig sein kann, sie deuten aber jedenfalls auf eine die Anfangsgeschwindigkeit nach irgend einem Gesetze beschleunigende Kraft hin, deren Wirkung vielleicht durch Nebenumstände modificirt erscheint. Zur Erklärung des ganzen Vorganges muß man sich dasjenige vergegenwärtigen, was oben über die Ursachen der Querströmungen gesagt ist, und berücksichtigen, daß solche Strömungen in der hier in Rede stehenden Gegend mit einer Geschwindigkeit von  $2\frac{1}{2}$  Fuß pr. Secunde auf Entfernungen von einer halben Meile sich quer über das Fahrwasser ausbilden können, sowie daß die Geschwindigkeit des geraden Ebbestromes zu 6 Fuß, in einzelnen Fällen sogar bis zu 8 Fuß in der Secunde beobachtet worden ist.<sup>1)</sup>

Es ist dann davon auszugehen, daß um 1786 die nördliche Rinne A während der Ebbe ein etwas höheres Niveau gehalten habe, als die südliche Rinne B, und daß in Folge dessen eine Entlastung der ersteren in die letztere quer über den trennenden Sandrücken stattgefunden und den Sand in der Richtung gegen Süden übergewälzt hat. Hierdurch ist die Südrinne nach und nach beengt, bis im Jahre 1788 der angespannte Ebbestrom in dieser Rinne die Sandwelle umgelenkt und in den folgenden Jahren mit beschleunigter Bewegung abgeführt hat, während der Seitendruck oder die seitliche Ueberwälzung in demselben Verhältniß nachließ, als die Rinne A sich relativ erweiterte. Da alle derartige natürlichen Veränderungen sich allmählig und stetig entwickeln, so ist sowohl die Umlenkung in Form einer Curve, als auch die successive Beschleunigung der Bewegung durchaus naturgemäß.

<sup>1)</sup> Nach meinen eigenen, alle diese Verhältnisse vollständig umfassenden Schwimmerbeobachtungen.

Endlich ist noch eine dritte Wahrnehmung, die bei Betrachtung der Sandwellen 4. Ordnung gemacht ward, hier zu erwähnen, nämlich die Unterbrechung jeder an der Oberfläche bemerkbaren Sandbewegung in der Schlickregion des Stromes (Vergl. d. Abhandlung: Ueber die Eigenschaften und das Verhalten des Schlicks, abgedruckt auf S. 133 dieser Zeitschrift). Hier ist das Strombette soweit, als es bei der Ebbe wasserfrei wird, und auch noch in größerer Tiefe mit einer mehr oder minder dicken Schlickschicht bedeckt, durch welche der darunter liegende Sand gegen jede Einwirkung des Stromes geschützt wird, so daß nicht die Spur einer Bewegung, weder in Richtung seewärts noch von einer Stromseite zur anderen, bei den zu Gesicht kommenden Ablagerungen zu bemerken ist. Wenn also gerade in dieser Gegend sich eine Sandwelle 4. Ordnung befindet – wie es in der Elbe zwischen Stade und Glückstadt wirklich der Fall ist, so erscheint für eine oberflächliche Betrachtung dieselbe unbeweglich. Dabei drängt sich indeß das Bedenken auf, daß an einer Stelle, wo die Sandbewegung völlig unterbrochen wäre, die Anhäufung der von oben herabgeführten Sandmassen beständig zunehmen und in kurzer Zeit zu den größten Unzuträglichkeiten führen müßte, was sich unmöglich der Wahrnehmung entziehen könnte. Um hierüber in's Klare zu kommen, habe ich die Gelegenheit benutzt, als im Jahre 1853 eine Taucherglocke in der in Rede stehenden Elbgegend mit Räumungsarbeiten beschäftigt war, mittelst derselben die Beschaffenheit des Strombettes in größerer Tiefe in Hinsicht auf Sandbewegung zu untersuchen. Uebereinstimmende Wahrnehmungen mehrerer Beobachter haben gezeigt, daß die Schlickdecke sich nicht bis in die Tiefe des Stromschlauchs erstreckt, sondern daß dort der Sand den Einwirkungen des Stromes ausgesetzt ist. Es ward hier am Boden des Strombettes, 27 Fuß unter ordinär Hochwasser, eine Fläche von ungefähr 3 Fuß Durchmesser  $3\frac{1}{2}$  Zoll dick von farbigem Sande angelegt, dann nach Verlauf der folgenden Ebbe und abermals nach Verlauf der Fluth untersucht; dabei zeigte sich, daß eine Schicht von etwa 2 Zoll Dicke mit grauem Flußsande vermischt und also in Bewegung gewesen war, auch ward in der Umgebung farbiger Sand mit dem grauen vermengt befunden und das Vorhandensein kleiner DUBUAT'scher Sandwellen 1. Ordnung notirt. So speciell, wie auf der trocken gelaufenen Oberfläche, lassen sich jedoch in solcher Tiefe die Beobachtungen nicht durchführen, und es mußte genügen, die Thatsache, daß die allgemeine Sandbewegung hier nur in den höher liegenden Partien des Strombettes gehemmt sei, sicher festgestellt zu sehen. Uebrigens ist in Betreff der Schlickregion noch zu bemerken, daß dieselbe im Laufe von Jahrhunderten sich bemerkbar weiter seewärts verschiebt; dadurch werden mit der Zeit die durch die Schlickdecke festgehaltenen Sandmassen, soweit sie dann nicht durch Vegetation in Besitz genommen und in festes Land verwandelt sind, wieder bloßgelegt und vom Strome in die allgemeine Sandbewegung hineingezogen. Diese Verhältnisse lassen sich indeß nur im Hinblick auf bestimmte Ströme und auf historischer Grundlage speciell erörtern, was von dem vorgesetzten Zwecke dieser Abhandlung zu weit abführen würde.

Um die bis hieher vorgeführten Thatsachen unter einen gemeinsamen Gesichtspunkt zu bringen, ist nun folgender Weg einzuschlagen:

Zuvörderst sind zwei Klassen von Beobachtungen zu trennen, nämlich diejenigen, bei denen der zurückgelegte Weg während der Bewegung direct gemessen ist, und diejenigen, durch welche nur die Ortsveränderung nach einer längeren, in verschiedenen, sich zum Theil entgegengesetzten Richtungen stattgefundenen Bewegung, oder mit andern Worten nur die Differenz des Fluth- und Ebbe-Weges constatirt werden konnte. Die ersteren betreffen die Sandwellen 1. Ordnung, die letzteren diejenigen der höheren Ordnungen. Der Maaßstab oder das Vergleichungsmittel für jene ist die ebenfalls direct zu messende Stromgeschwindigkeit. DUBUAT glaubte bekanntlich ein bestimmtes Verhältniß zwischen der Stromgeschwindigkeit und dem Widerstande verschiedener Materialien durch Beobachtung gefun-

den zu haben und drückte dasselbe in gewissen Zahlen aus, die in alle späteren Lehrbücher übergegangen sind und noch jetzt nicht selten als Grundlage für die folgenreichsten Bestimmungen in Bauprojecten benutzt werden.<sup>1)</sup> In Bezug hierauf hob HAGEN (Handb. II, 2, §. 68) die große Unsicherheit derartiger Beobachtungen hervor und fügte hinzu, daß ihm die Auffindung einer bestimmten Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und der Beweglichkeit des Materials nicht möglich gewesen sei. Diese Aeußerung HAGEN's wird durch meine Beobachtungen vollkommen bestätigt, in sofern nämlich – wie es die Meinung der DUBUAT'schen Regel ist und auch bei deren Anwendung stets vorausgesetzt wird – von solchen Materialien die Rede ist, wie sie in der Natur vorkommen, d.h. von Gemengen ungleich-großer Körner, die in Masse niemals gleichmäßig vom Strome behandelt werden können. Faßt man diese vollkommen festgestellte Eigenschaft des natürlichen Sandes in's Auge, so ist klar, daß und warum kein constantes Verhältniß zwischen Stromgeschwindigkeit und gewissen Materialien aufgefunden werden kann, obgleich es nicht zweifelhaft ist, daß es für jede lose Masse von gleichgroßen und gleichgeformten Theilchen ein solches constantes Verhältniß geben muß.

Directe Beobachtungen über die Geschwindigkeit der Bewegung der einzelnen Sandkörner liegen nicht vor, dieselben würden auch ungemein schwierig sein und, da die Bewegung ungleichförmig und intermittirend ist, eine ziemlich complicirte Untersuchung erfordern, der ein praktisches Interesse nicht entspricht. Dagegen haben wir für die Geschwindigkeit des Fortrückens der Sandwellen 1. Ordnung mehrere directe Beobachtungen. Dieselbe betrug bei den Versuchen von DUBUAT in ½ Stunde 3 bis 4 Zoll, pr. Stunde 7 Zoll;

bei vorstehenden Beobachtungen an verschiedenen Stellen des Elbstroms:

- a. in 1 Stunde nicht über 1 Zoll, pr. Stunde 1 Zoll;
- b. in 12 Minuten . . . . . 1½ Zoll, pr. Stunde 7½ Zoll;
- c. in 8 Minuten . . . . . 1½ Zoll, pr. Stunde 11¼ Zoll;
- d. in 4 bis 5 Minuten . . . . . 1 Zoll, pr. Stunde 13½ Zoll;
- e. in 13 Minuten . . . . . ½ Zoll, pr. Stunde 2½ Zoll.

Es ist nicht anzunehmen, daß diese Zahlen die Grenze der Möglichkeiten erreichen, da bei den Beobachtungen weder große Stromgeschwindigkeiten noch extreme Körnergrößen vorgekommen sind; umso mehr also geht daraus hervor, daß in der Natur ein sehr weiter Spielraum für die rollende Bewegung stattfindet, dessen Grenze einerseits völlige Ruhe, andererseits die Aufhebung und schwebende Fortführung des Sandes in Masse ist.

Die Dicke der bewegten Schicht ist ebenfalls mehrmals direct gemessen und von 1 bis zu 2½ Zoll befunden. Auch in dieser Beziehung ist die äußerste mögliche Grenze nicht bekannt; es ist aber anzunehmen, daß in jedem Falle die Höhe der Sandwellen 1. Ordnung zugleich dieser Dicke entspreche, und daß dieselbe daher unter allen gewöhnlichen Umständen nicht mehr als einige Zolle betrage. Endlich ist noch die an einer speciell beobachteten Sandwelle und ihren Veränderungen von 1779 bis 1854 nachgewiesene Thatsache im Auge zu behalten, daß eine Sandmasse nach und nach an Volumen verliert, während sie

<sup>1)</sup> Jene Angaben DUBUAT's sind folgende:

Töpferthon fängt an, dem Angriffe zu widerstehen, wenn die Geschwindigkeit am Boden bis 3 Zoll in der Secunde vermindert ist;

feiner Sand bei 6 Zoll in der Secunde;

grober und scharfer Sand bei 8 Zoll in der Secunde;

Kies aus der Seine fein bei 4 Zoll; mittel bei 7 Zoll; grob bei 12 Zoll;

abgerundete Geschiebe von 1 Zoll Durchmesser bei 24 Zoll;

eckige Feuersteine von der Größe eines Hühneries bei 36 Zoll.

vom Strome fortgewälzt wird. Die Sandwellen erster Ordnung werden also ganz so, wie es DUBUAT beschreibt, gebildet, auch werden die Sandkörner ganz jener Schilderung entsprechend den flachen Abhang hinaufgerollt und bleiben am Fuße des steilen Abhanges unter der Bedeckung der nachfolgenden Körner in Ruhe, bis sie von Neuem vom Strome berührt werden. Während dieses Vorganges findet aber noch Eins statt, was sich der directen Beobachtung entzieht, worauf aber bei Erörterung der Mengungsverhältnisse der verschiedenen Körnergrößen in den einzelnen Stromgegenden bereits hingewiesen ward, nämlich die Aufhebung und schwebende Fortführung aller derjenigen Sandkörner, welche klein genug sind, um von den stets im Wasser befindlichen kleinen Wirbeln erfaßt zu werden, sobald sie während der Umwälzung der Masse an die Oberfläche kommen. So haben beide Arten der Bewegung, die rollende und die schwebende, unablässig gleichzeitig ihren Fortgang, und der Strom bewerkstelligt eben auf diese Weise das Sortiren der Sandkörner. Da überdies durch das Rollen der größeren Körner fortwährend Bruch und Abschleifung stattfindet, so bildet die Strömung selbst stets neues feines Material, welches mit in die schwebende Bewegung übergeht. Je stärker die Strömung ist, desto rascher geschieht das Rollen, desto größer ist die Höhe der Sandwellen und also auch die Dicke der bewegten Schicht, und desto größer sind auch die Dimensionen schwebender Körner. Nur sehr starke, kataraktähnliche Strömungen (wie bei Deichbrüchen) können alle Körner einer ganzen Sandmasse in schwebender Bewegung mit sich fortreißen.

Daß die Verschiebung ganzer Sandbänke oder Sandwellen höherer Ordnung langsamer vor sich geht als die Bewegung der Sandwellen 1. Ordnung, lehrt schon eine flüchtige Betrachtung der mitgetheilten Beobachtungen, obgleich diese noch keine unmittelbar miteinander zu vergleichende Zahlen darbieten. Um zu solchen zu gelangen, ist es erforderlich, zuvor die Bewegung des Wassers während einer ganzen Fluth- und Ebbe-Periode genauer zu erörtern und daraus den Ueberschuß des während der Ebbe zurückgelegten Wasserweges über den während der Fluth zurückgelegten, mit Bezug auf bestimmte Stromgegenden kennen zu lernen; denn eben dieser Ueberschuß ist diejenige Größe, mit welcher die beobachtete Ortsveränderung von Sandwellen höherer Ordnung zunächst verglichen werden muß, da dieselbe – wie oben bereits bemerkt ist – nur die Differenz der Fluth- und Ebbewegung ausdrückt.

Die Wassermenge, welche während eines gewissen Zeitraumes, z. B. während eines Jahres, durch ein bestimmtes im Fluthgebiete belegenes Stromprofil seewärts oder in der Richtung der Ebbe durchfließt, kann man sich folgendermaßen zusammengesetzt denken:

1. diejenige Wassermenge, welche während sämtlicher, in denselben Zeitraum fallender Fluthen landwärts, d. h. in der Richtung des Fluthstromes, durch dieses Profil geflossen war und während der Ebbezeiten unvermindert zurückgeflossen sein muß;
2. diejenige Wassermenge, welche während des ganzen Zeitraumes vom oberen Strome aus dem Binnenlande herabgeführt und in das Fluthgebiet hineingeflossen ist;
3. diejenige Wassermenge, welche von den zwischen der oberen Fluthgrenze und dem in Rede stehenden Stromprofile in das Fluthgebiet einmündenden Nebenflüssen zugeführt worden ist.

Die Summe dieser drei Wassermengen ist gleich dem Total des in dem gegebenen Zeitraume stattgefundenen Durchflusses während der Ebbe. Nun ist aber klar, daß das Hin- und Herströmen der sub No. 1 begriffenen Wassermasse sich der Summe nach genau ausgleichen muß, wenn der Zeitraum lang genug genommen ist, um den Einfluß der zufälligen und periodischen Ungleichheiten der einzelnen Fluthwellen durch die große Menge der Fälle verschwinden zu machen; es kommt demnach nur auf No. 2 und No. 3 an. Es sei nun für ein seiner Lage und Größe nach bestimmtes Stromprofil  $P$  der durchschnittliche Ueber-

schuß des Wasserweges während einer Ebbe über den Wasserweg während einer Fluth =  $D$ ; ferner sei die mittlere Wassermenge, die der obere Strom in einer Secunde herabführt, =  $M$ , die mittlere Wassermenge der sub No. 3. bezeichneten Nebenflüsse in einer Secunde =  $M'$ , und die normale Dauer der einzelnen Fluthentwicklung (Tiede) werde = 12 Stunden 24 Minuten oder = 44 640 Secunden angenommen;

$$\text{so hat man } D = \frac{44640 (M+M')}{P}$$

wo  $D$  in Fuß ausgedrückt ist, wenn  $M$  und  $M'$  in Cubikfuß und  $P$  in Quadratfuß gegeben sind.

Der Werth von  $M$  ist für jeden gegebenen Strom constant;  $M'$  ist veränderlich und hängt, wie auch  $P$ , von der Lage des gegebenen Stromprofils ab, beide sind bestimmt, wenn diese Lage bestimmt ist.

Der solchergestalt für jedes Profil des ganzen Stromes im Fluthgebiete zu ermittelnde Werth von  $D$  ist derjenige Wasserweg, mit welchem die an demselben Orte im geraden Stromstrich beobachtete Ortsveränderung von Sandwellen höherer Ordnung zu vergleichen ist, nachdem letztere ebenfalls auf den Zeitraum einer Fluthentwicklung oder Tiede reducirt worden.<sup>1)</sup>

Unter den im Vorhergehenden mitgetheilten Beobachtungen ist diejenige der in Fig. 10 dargestellten Sandwelle hiezu vorzugsweise geeignet, nach welcher der jährliche Weg dieser Sandwelle = 176 Fuß oder ihr Weg in einer Tiede<sup>2)</sup> = 0,25 Fuß ist.

Nach meinen Messungen ist für diesen Beobachtungsort

$P = 67500$ ;  $M' = 660$ ; und der für die Elbe constante Werth  $M = 30500$ ; mithin  $D = 20600$ ; d. h. im vorliegenden Falle kam auf 20600 Fuß Wasserweg in der Richtung der Ebbe die Ortsveränderung einer Sandwelle 3. Ordnung von 0,25 Fuß oder 3 Zoll in derselben Richtung.

Die Sandwellen 1. Ordnung bewegten sich nach den mitgetheilten Beobachtungen mit einer Geschwindigkeit von wenigen bis zu  $13\frac{1}{2}$  Zoll pro Stunde bei Stromgeschwindigkeiten, die sicher niemals über  $2\frac{1}{2}$  Fuß pro Secunde betragen haben. Bleiben wir bei DUBUAT'S Angabe stehen, nämlich 7 Zoll bei einer Stromgeschwindigkeit von 1 Fuß, so haben wir auf 3600 Fuß Wasserweg 7 Zoll Fortrücken der Sandwellen 1. Ordnung in derselben Richtung. Hiernach würde sich also, bei gleicher Größe des Wasserweges, der Weg einer DUBUAT'Schen Sandwelle 1. Ordnung zu dem Wege der bei Blankenese beobachteten Sandwelle 3. Ordnung wie 40:3 oder nahe wie 13:1 verhalten. Dieses specielle Zahlenverhältniß hat natürlich keine andere allgemeine Bedeutung als diejenige einer Rechtfertigung der Annahme, daß unter übrigens gleichen Umständen die Sandwellen höherer Ordnung bedeutend langsamer fortrücken als die Sandwellen niedrigerer Ordnung. Die übrigen Beobachtungen sind weniger zum Anhaltspunkte in dieser Beziehung geeignet, weil dabei Querströmungen mitwirkten, für welche die hier benutzte Formel zur Berechnung des Wasserweges, mit dem das Fortrücken der Sandwelle verglichen werden muß, nicht anwendbar ist. Nichtsdestoweniger zeigen auch diese mehrere analoge Verhältnisse, so z. B. die in Fig. 6 bis 8 dargestellten Sandwellen 2. Ordnung, deren Weg  $1\frac{1}{2}$ , 2 bis 3 Fuß p. Tiede betrug, während an derselben Stelle die Sandkörner selbst, also die Sandwellen 1. Ordnung mehr als 10 Fuß in einer Tiede

<sup>1)</sup> In der Nähe der See wird  $D$  nahezu = Null; an der oberen Grenze des Flutgebietes ist es =  $\frac{44640 M}{P}$  d. i. gleich der mittleren Stromgeschwindigkeit multiplicirt mit 44640.

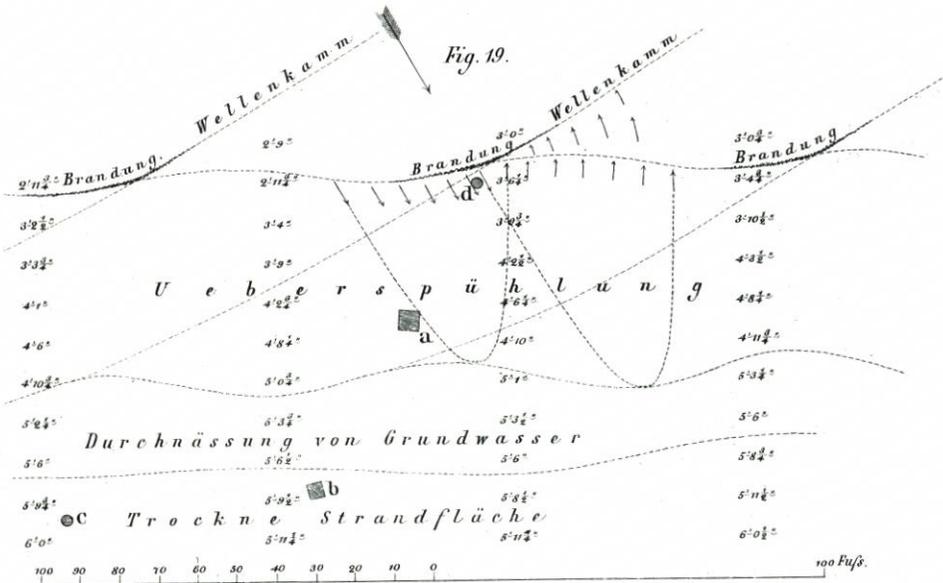
<sup>2)</sup> 707 Tieden im Jahre.

fortbewegt waren; ferner die in Fig. 16 abgebildete Sandwelle 3. Ordnung mit einer Verschiebung von 3 Zoll pro Tiede, welche die nämliche ist, auf der ein Fortrücken der Sandwellen 1. Ordnung von  $7\frac{1}{2}$  bis  $13\frac{1}{2}$  Zoll pro Stunde beobachtet ward. Für die mitgetheilten WOLTMAN'schen Messungen fehlt es dagegen an einer zu vergleichenden Beobachtung, da seine Aufmerksamkeit nicht auf die Bewegung der Sandwellen 1. Ordnung gerichtet war.

Man kann sich nunmehr ein vollständiges, anschauliches Bild von der Gesammtheit der Sandbewegung am Boden eines Strombettes machen, wenn man sich vorstellt, daß, während die feinsten Sandkörner beständig vom strömenden Wasser in kleinen Wirbeln aufgehoben und fortgeführt werden, die gröberen nach der von DUBUAT beschriebenen Weise rollend und periodisch ruhend die Abhänge der Sandwellen 1. Ordnung einnehmen; daß diese letzteren schneller als die Sandwellen 2. Ordnung deren vorderen flachen Abhang hinansteigen und in dem hinteren, meist glatten Abhänge derselben verschwinden, und daß ebenso die 2. Ordnung sich über die langsamer fortrückenden Sandwellen 3. Ordnung (die Sandbänke) fortbewegt. Die Sandbänke selber unterliegen der Mehrzahl nach zu bedeutenden Störungen der Bewegung, als daß eine weitere Durchführung dieses Bildes auf Grund der Beobachtungen statthaft erscheinen könnte; es ist aber nach meiner im Vorhergehenden ausführlicher begründeten Ueberzeugung keinem Zweifel unterworfen, daß die großen Sandwellen höherer Ordnung, nämlich die ausgedehnten mit Sand überladenen Stromstrecken, die wir Barren nennen, ebenfalls langsamer seewärts fortrücken als die einzelnen Sandwellen niederer Ordnung oder Sandbänke, aus denen sie bestehen. Dieses hier in seinen Haupt-Umrissen bezeichnete Bild wird im Einzelnen modificirt durch Neben-Einwirkungen, die theils eine Folge der Niveau-Unterschiede in mehreren nebeneinanderliegenden Stromrinnen sind, theils durch Wellenbewegung des Wassers verursacht werden, theils endlich mit dem Schlickfalle und der Vegetation im Zusammenhange stehen. Dadurch ist das allgemeine, herrschende Princip für die Betrachtung des Großen und Ganzen in einen so dichten Schleier gehüllt, daß es nur auf dem mühsamen, aber belohnenden Wege, der, vom Speciellsten ausgehend, ganz allmählig zum Allgemeineren fortschreitet und den ich in dieser Untersuchung betreten habe, scheint mit Sicherheit erkannt werden zu können.

Auf die Art, wie die Wellenbewegung des Wassers den Sand auf den Abhängen des Strombettes in Bewegung setzt, ist bisher nur beiläufig hingedeutet bei Betrachtung der Körnergröße einzelner Sandproben und bei den Beobachtungen der Wirkung des Stromes, als die von den Wellen verursachten Planirungen zur Anschauung kamen; ich habe indeß noch eine Reihe von Beobachtungen unmittelbar am Seestrande angestellt, deren specieller Zweck die Erkenntniß der Wellenwirkung in allen ihren Einzelheiten war und von denen hier Einiges aufzunehmen ist. Dabei muß ich jedoch bevorworten, daß selbst die minutiöseste Beschreibung und Abbildung dieser ungemein bewegten Phänomene nicht die eigene Anschauung ersetzen können, und ich deshalb jeden Versuch, durch Wiedergebung aller einzelnen Wahrnehmungen, die in dem Beobachtungsjournal ihre Stelle gefunden haben, den Leser gleichsam auf den Standpunkt des Beobachters zu versetzen, für ein durchaus verfehltes Unternehmen halten würde. Ohne eigene Beobachtung kann eine vollkommene Vorstellung hierüber nicht erlangt werden.

Beim Anschauen von Wasserwellen, welche gegen einen flachen sandigen Strand anlaufen, kann man stets folgende, in der Richtung vom Wasser nach dem Lande nebeneinanderliegende Erscheinungen gleichzeitig wahrnehmen: Ungebrochene Wellen – Brandungen – Ueberspülung – Durchnässung des Bodens von aufsteigendem Grundwasser. Die Figur 19 stellt diese Phänomene nach wirklicher am Seestrande der Insel Neuwerk angestellten Messung dar; man sieht daraus, daß der Strand in der Gegend, wo die Beobachtung gemacht ward, einen Abhang von ungefähr 1:30 hatte, sowie daß die Wellen einen Winkel von etwa 30



Durchschnitt im dreifachen Maaßstabe des Grundrisses.

Grad mit der Strandlinie machten und eine 2 Fuß hohe Brandung erzeugten, die mit einer 50 Fuß breiten Ueberspülung verbunden war und bis auf 70 Fuß Entfernung das Grundwasser zum Aufsteigen veranlaßte. Die Ursachen dieser Erscheinungen, die, wie gesagt, bei allen Strandwellen in größerem oder geringerem Maaße sich zeigen, sind folgende: In einiger Entfernung vom Strande, wo die Wassertiefe so groß ist, daß die wellenbildenden Schwingungen der Wassertheilchen nicht erheblich durch die Nähe des Grundes gestört werden, sind die Wellen nahezu symmetrisch geformt; sobald sie aber in seichteres Wasser kommen, wird der voranschreitende Wellenabhang steiler, weil die zur Ergänzung der symmetrischen Form erforderliche Wassermasse auf dieser Seite nicht mehr dargeboten ist, und die Steilheit nimmt im Fortschreiten immer mehr zu, bis dem Kamm nach dieser Seite die Unterstützung gänzlich fehlt und derselbe überstürzt; dies ist die Brandung. Nachdem diese stattgefunden hat, breitet die Wassermasse, aus welcher die brandende Welle bestand, sich in einer dünnen Schicht aufwärts über den Strand aus, erreicht aber, wegen der Friction auf dem Sande, nicht die volle Höhe, welche die brandende Welle hatte; dies ist die Erscheinung, welche ich Ueberspülung genannt habe, und die sich zurückzieht, wenn eine brandende Welle im Anzuge ist, während des Passirens derselben aber ihren Höhepunkt erreicht. Oberhalb der Grenze der Spülung, bis zu der Höhe, welche mit dem Kamm der Wellen im Niveau liegt, zeigt sich der Sandboden vom Grundwasser durchnäßt, eine Erscheinung, welche während des Steigens der Fluth kräftig auftritt, während des Fallens der Ebbe aber nachläßt und zuletzt ganz verschwindet. Das Ganze bildet einen so raschen Wechsel von vorlaufenden und rücklaufenden Bewegungen der Wassertheilchen in den durch punktirte Curven und kleine Pfeile im Grundrisse angedeuteten Bahnen, von zunehmendem und abnehmendem Drucke des Grundwassers und von Stößen einer aus ziemlicher Höhe auf die Fläche des Sandes herabfallenden Wassermasse in der Brandung, daß dadurch nothwendig sehr lebhaft Bewegungen der Sandkörner, aus denen der Strand besteht, verursacht werden müssen. Um diese sicherer beobachten zu können, bediente ich mich auch hier des farbigen

Sandes, von welchem die in der Figur angegebenen Quadrate *a* und *b* vier Zoll dick angelegt, und später noch die Flächen *c* von 21 Zoll Dicke und *d* von 15 Zoll Dicke hinzugefügt wurden. Der ganze Verlauf war folgender:

Sobald bei steigendem Wasser eine Stelle des Strandes vom Drucke des Grundwassers erreicht ward, wurde der vorher harte, keine Fußspur, ja kaum eine Wagenspur aufnehmende, auch keinen Reflex des Sonnenbildes zeigende Sandboden plötzlich weich und spiegelnd; bei genauerer Betrachtung zeigten sich die Zwischenräume zwischen den Sandkörnern mit Wasser gefüllt, so daß die Reibung zwischen den Körnern beinahe ganz aufgehoben war. Trat dann bei weiterem Steigen der Fluth die erste Ueberspülung ein, so führte diese eine dünne Schicht von Sandkörnern aufwärts; dann nahm das rücklaufende Wasser die kleineren Körner dieser bewegten Schicht wieder mit sich hinab und ein feiner Saum größerer Sandkörner, welche die Ueberspülung zurückgelassen hatte, bezeichnete die äußerste von dieser erreichte Grenze. Auf den mit farbigem Sande ausgefüllten Stellen zeigte es sich, daß sofort bei der ersten Ueberspülung die obere Lage des farbigen Sandes aufwärts fortgeführt und durch eine Mischung von grauem und farbigem Sande ersetzt ward. Die Dicke der von einer Ueberspülung abgelagerten Schicht fand ich, bei einer Wellenhöhe von 2 Fuß, nach wiederholten Beobachtungen =  $\frac{1}{24}$  Zoll; 84 aufeinanderfolgende Ueberspülungen lieferten während eines Zeitraumes von 6 Minuten aber nur eine Ablagerung von  $\frac{1}{8}$  Zoll Dicke, woraus folgt, daß jede folgende Ueberspülung zwar den größten Theil der vorhergegangenen Ablagerung wieder mit in Bewegung setzt, das Ergebnis aller aber eine Erhöhung der überspülten Fläche ist. Die Köpfe der zur Bezeichnung der Quadrate benutzten Bolzen waren schon nach der zweiten Ueberspülung von grauem Sande bedeckt, nach einer Viertelstunde die Experimentalflächen nicht mehr von ihrer Umgebung zu unterscheiden. Daß die Wellengröße Einfluß auf die Dicke der deplacirten Schicht hat, läßt sich voraussetzen, ward aber auch durch Beobachtung der Thatsache erwiesen, daß eine besonders starke Ueberspülung plötzlich farbigen Sand aus einem bereits ganz von grauem Sande bedeckten Quadrate bis zu einer Entfernung von 8 Fuß den Strandabhang hinauführte, wo derselbe zum Theil bis zur nächsten Ueberspülung liegen blieb.

Sobald nun mit steigender Fluth die Brandung selbst die beobachtete Stelle des Strandes erreichte, trat ein völlig veränderter Zustand der Oberfläche ein. Die erste daselbst brandende Welle setzte nicht nur die ganze Dicke der grauen Deckschicht, sondern noch eine beträchtliche Menge des darunter befindlichen farbigen Sandes in Bewegung; zwischen den Brandungen konnte man die Bolzenköpfe, die beim Beginn der Beobachtung mit der Oberfläche gleich hoch gewesen und dann durch Ueberspülung noch eingesandet worden waren, einen halben Zoll hoch vorstehen sehen.

Von diesem Moment an blieb die Experimentalfläche dem Blicke entzogen, bis bei fallender Ebbe dieselbe wieder wasserfrei ward; sobald dies der Fall war, fanden dieselben Erscheinungen auf der Stelle statt, wie vorhin, nur in umgekehrter Reihenfolge, also zuerst Brandung, dann Ueberspülung, Durchnässung von Grundwasser und zuletzt Trockenheit des Sandes. Während der Ebbe konnte das Vorstehen der Bolzenköpfe im Bereiche der Brandung direct gemessen werden, es betrug  $\frac{1}{8}$  bis  $\frac{3}{4}$  Zoll; der farbige Sand war nicht mehr mit grauem Sande überdeckt, sondern lag frei an der Oberfläche, dann aber ward in der auf die zurückweichende Brandung folgenden Periode der Ueberspülung die frühere Höhe mittelst Ablagerung einer neuen Deckschicht wiederhergestellt und Alles wieder geebnet. Die allmähliche Zurückziehung des Grundwassers aus den Zwischenräumen des Sandes machte den Schluß des Experimentes, das dann in ganz ähnlicher Weise während der nächsten Fluthperiode sich wiederholte. Zwischen den Fluthperioden konnte die trockengewordene Strandfläche genauer untersucht werden; es zeigte sich dabei, daß eine aus grauem Sande mit

Fig. 20 a.

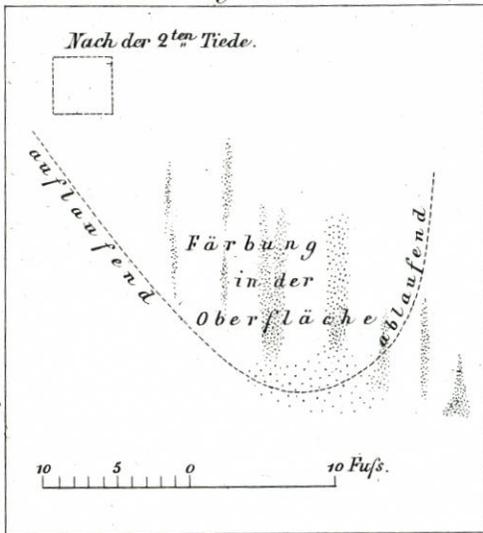
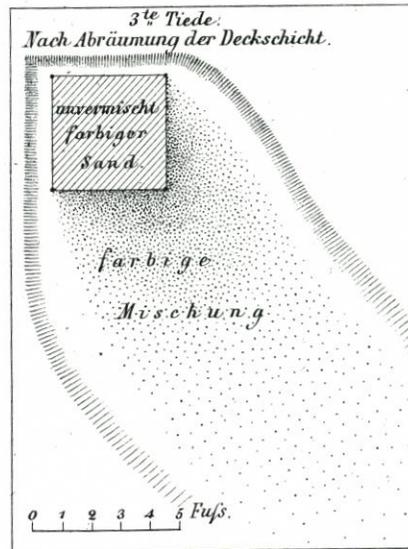


Fig. 20 b.



untergemengten farbigen Körnern bestehende Schicht von 1 bis 3 Zoll Dicke den unter denselben unvermischt befindlichen Rest des farbigen Sandes bedeckte, und daß, von der Experimentalfläche ausgehend, in schräger Richtung aufwärts farbige Körner bis zu 40 Fuß Entfernung zerstreut waren. Die Figur 20 stellt die Ergebnisse solcher Untersuchungen dar. Fig. 20 a zeigt die Zerstreuung farbiger Körner auf der Oberfläche, nach Ablauf der zweiten Fluth; Fig. 20 b die nächste Umgebung des Quadrates a nach Ablauf der dritten Fluth- und nach Abräumung der Deckschicht. Es ergab sich, daß bei diesen Experimenten nur eine sehr dünne Schicht des Sandes in Bewegung gewesen war, deren Dicke von  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{1}{4}$  Zoll variierte. Nach Verlauf von 15 Fluthzeiten ward an einer Stelle der Sand bis zur Tiefe von 4 Zoll deplacirt befunden, während an einer andern Stelle die Bewegung nicht tiefer als  $\frac{1}{4}$  Zoll unter die Oberfläche gereicht hatte. Ohne Zweifel hat hierauf die Größe der Wellen Einfluß, und wenn in längeren Zeiträumen Stürme mit heftigen Brandungen auf den Strand wirken, oder während des Winters Ablagerungen von Eis zu unregelmäßigen Strömungen und Wirbeln Anlaß geben, erstrecken sich die Umwälzungen der Sandmasse noch weit tiefer. Als ich nach einem Jahre dieselbe Stelle des Strand wieder untersuchte, war auch bei c und d, wo der farbige Sand bis zu 21 Zoll Tiefe eingebracht gewesen war, keine Spur desselben mehr zu entdecken, woraus folgt, daß die Sandmasse mindestens bis zu dieser Tiefe in Bewegung gewesen war.

Die Art und Weise der Bearbeitung eines flachen, sandigen Strand durch die Wellen ist also folgende:

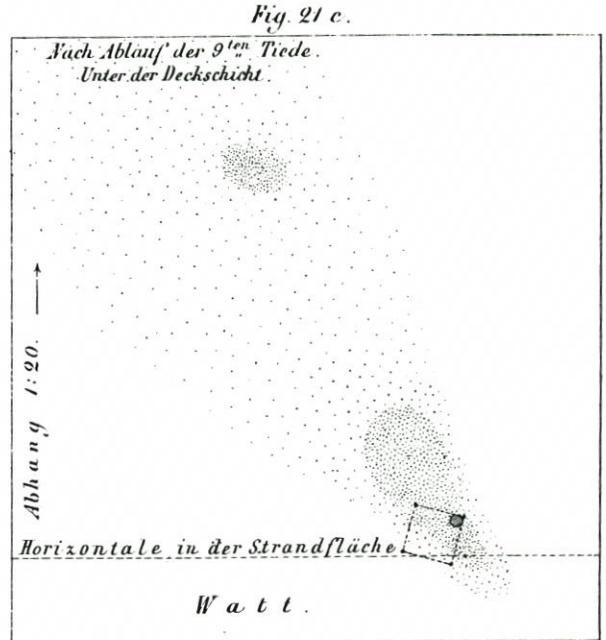
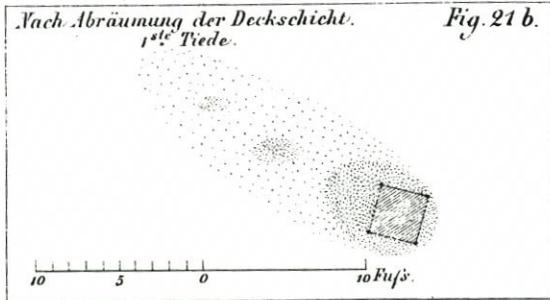
a) Während der Fluth. Der Stoß des in der Brandung von der Wellenhöhe auf die Strandfläche herabfallenden Wassers setzt eine Sandschicht, deren Dicke von der Größe der Wellen abhängig ist, in Bewegung; Wasser und Sand, mit einander vermengt, breiten sich oberhalb der Brandung in einer dünnen Schicht aus; das rücklaufende Wasser nimmt die feineren Sandkörner mit sich abwärts, während die gröberen liegen bleiben, bis die steigende Brandung sie erreicht und weiter aufwärts führt; ein zurückbleibender Aufwurf solcher gröberer Körner bezeichnet den höchsten von dieser Fluth erreichten Saum.

b) Während der Ebbe. Die unmittelbaren Wirkungen der Brandung und Ueberspülung sind ganz die nämlichen wie während der Fluth; da sie aber in umgekehrter Reihenfolge jede einzelne Stelle treffen, so ist das Endresultat, daß der Strand ungefähr in derselben Höhe, welche er vor der Fluthbrandung hatte, durch die Ebbespülung wiederhergestellt wird. Nur der erwähnte Wellenaufwurf am obersten Saume der vorhergegangenen Fluth macht davon eine Ausnahme; dieser bleibt in Form einer Erhöhung liegen, bis vielleicht eine spätere Fluth ihn noch höher hinaufführt, oder derselbe nach stattgefundener Austrocknung ein Spiel der Winde wird, die das Material zur Dünenbildung lediglich von solchen Wellenaufwürfen hernehmen.

Da – mit Ausnahme der verhältnismäßig kurzen Zeiträume völliger Meeresstille – die Strandflächen beständig der Wirkung größerer oder kleinerer Wellen ausgesetzt sind, so müßten alle sandigen Küsten fortwährend zunehmen, wenn nicht die oben beschriebenen, im eigentlichsten Sinne des Wortes *Alluvion* zu nennenden Wirkungen der Wellen durch andere im entgegengesetzten Sinne wirksame Kräfte zuweilen aufgehoben oder selbst überwogen würden. Solche Fälle finden an den Orten statt, wo entweder die Stromtiefe sich dem Strande nähert und denselben direct angreift, oder wo die herrschende Windrichtung vom Lande absteht und den von den Wellen aufgeworfenen Sand, statt daraus Dünen zu bilden, dem Meere wieder zuführt, oder endlich, wo zwischen dem Strandabhange und der eigentlichen Küste sich ausgedehnte Wattflächen befinden, über welche die Fluth sich ausbreitet, und von denen das Fluthwasser während der Ebbe wieder über den Strandabhang dem Meere zufließt. Im ersteren Falle findet am Fuße des Strandabhanges Grundabbruch statt, und das Zurückweichen der Strandlinie muß durch künstliche Defensionswerke aufgehalten werden, wengleich alle übrigen Umstände der Alluvion durch Wellenwirkung so wie der Dünenbildung günstig sein mögen;<sup>1)</sup> im zweiten und dritten Falle kann sich ein Zustand des Gleichgewichts zwischen Wirkung und Gegenwirkung ausbilden. Die Wirkungen eines Stromangriffs, so wie diejenigen des Windes, bedurften keiner specielleren Beobachtungen zur näheren Aufklärung, dagegen schien es wünschenswerth, noch einige Experimente auf einem See-strande auszuführen, der einem bedeutenden Abflusse von Wattwasser<sup>2)</sup> zur Ebbezeit ausgesetzt ist; ein solcher Strand bildet den Saum einer meilenweiten beinahe horizontalen Wattfläche zwischen dem Festlande bei Cuxhaven und der Insel Neuwerk; das Watt wird bei ordinär Hochwasser 4 bis 8 Fuß hoch mit Wasser bedeckt und läuft bei Niedrigwasser trocken; in der Nähe des Strandes bildet die Oberfläche einen Abhang von 1:100, der am Rande mit einem Böschungsverhältniß von 1:22 bis 1:17 abfällt. Auf diesem steileren Abhange wurden zwei Experimentalflächen von farbigem Sande angelegt und während mehrerer Tieden beobachtet. Die unmittelbaren Wirkungen der Wellen waren genau dieselben wie bei den früheren Beobachtungen, nämlich Aufrührung der Oberfläche des Strandes im Bereiche der Brandung, Ausbreitung und theilweise Ablagerung der aufgerührten Sandkörner im Bereiche der Ueberspülung und Bildung einer, aus grauem und farbigem Sande gemischten Deckschicht über dem unbewegt gebliebenen unteren Theile des eingebrachten farbigem Sandes. Zwei Unterschiede von den früheren Erscheinungen fanden hier indeß statt, es fehlte nämlich nach Ablauf der Ebbe die Erhöhung durch Wellenaufwurf, und ferner war die Richtung der in der Strandoberfläche wahrnehmbaren Bewegung des Sandes der früher beobachteten gerade entgegengesetzt. Während bei der Insel Neuwerk, wo kein erheblicher Abfluß von Wattwasser die Experimentalflächen berührte, die Action der Wellen einen Ueberschuß der Sandbewe-

<sup>1)</sup> Solche Oertlichkeiten bietet die Dünenküste Hollands in bedeutender Ausdehnung dar.

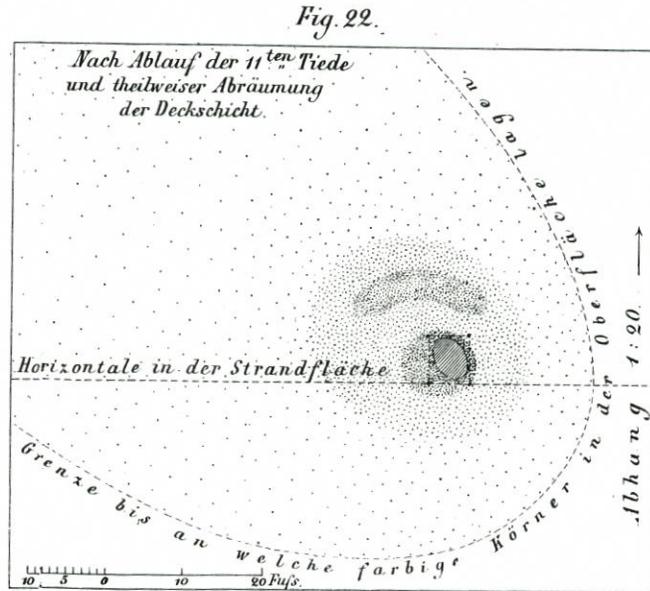
<sup>2)</sup> Wattwasser wird dasjenige Wasser genannt, welches während der Fluth über Wattgründe sich ausbreitet und während der Ebbe sich nach der Seeseite zurückzieht.



gung in schräger Richtung strand a u f w ä r t s bewirkt hatte, war im vorliegenden Falle der farbige Sand entschieden nach der entgegengesetzten Richtung strand a b w ä r t s geführt.

Die Figuren 21 und 22 veranschaulichen die gemachten Beobachtungen. Ein Quadrat von 3 Fuß Seite war 3 Zoll dick von farbigem Sande angelegt; nachdem bei ruhigem Wetter und einer nur 6 Zoll betragenden Wellenhöhe die erste Fluth darüber gegangen war und die Ebbe sich weit genug gesenkt hatte, zeigte sich die Fläche mit einer  $\frac{3}{8}$  Zoll dicken, aus grauem und farbigem Sande gemischten Schicht überzogen. Die Färbung erstreckte sich, wie Fig. 21 a darstellt, bis zu 15 Fuß Entfernung schräge abwärts, und hatte die Form einer länglichen Ellipse. Nach theilweiser Abräumung der Deckschicht fand sich in dem Quadrate der untere Theil des farbigen Sandes unvermischt in der ursprünglichen Lage, die nächste Umgebung bildete nach der in Fig. 21 b angegebenen Curve eine Mischung von farbigem und grauem Sande, worin der farbige Sand vorherrschte, und etwas weiter abwärts befanden sich in der Richtung der großen Axe zwei Flecken von gleicher, vorherrschend farbiger Mischung; dies Alles umgab die schon auf der Oberfläche erkannte elliptische Form einer Mischung, in welcher grauer Sand vorherrschte, aber der farbige deutlich erkennbar war. Der Uebergang in den rein grauen Wattsand war allmähig. Bald nach dieser Beobachtung trat unruhiges Wetter ein, mit 2 Fuß hoher Brandung; zugleich ward die Fluthhöhe geringer, so daß der vom Watt abfallende Strom vermindert war, während die Wellenwirkung verstärkt war. Nach Ablauf der 9. Tiede wurde das Quadrat und dessen Umgebung von Neuem untersucht, wobei sich die in Fig. 21 c dargestellten Erscheinungen fanden. Der farbige Sand war aus dem Quadrate bis auf einen kleinen, noch in der ursprünglichen Lage befindlichen Fleck weggespült und mit dem grauen Sande in der Umgebung vermischt; in den dichter punktirten Parteien herrschte der farbige Sand in der Mischung vor, in der weitläufiger punktirten Umgebung dagegen der graue, wobei die farbigen Körner bis an die angedeutete Grenze erkennbar waren.

Die etwa 100 Fuß von der vorigen entfernte zweite Experimentalfläche war 6 Fuß lang, 5 Fuß breit, 1 Zoll dick und blieb während 11 Tieden unberührt. Bei der dann folgenden



Untersuchung konnte man in der Oberfläche des Strandes die Beimischung farbiger Körner bis zu 60 Fuß Entfernung schräge abwärts verfolgen, seitwärts und aufwärts bis an die in Fig. 22 angegebene äußerste Grenze. Nach Abräumung der gemischten Deckschicht fand sich,  $\frac{1}{2}$  Zoll unter der Oberfläche, eine Abstufung in der Intensität der Färbung des Sandes, die durch die Dichtigkeit der Punktirung in der Figur veranschaulicht ist und worin analoge Formen mit der vorherigen Beobachtung unverkennbar sind. In der Experimentalfläche selbst befand sich noch eine unvermischte,  $\frac{1}{8}$  Zoll dicke Schicht farbigen Sandes in der ursprünglichen Lage in abgerundeter Form mit scharfer Begrenzung, wogegen die Grenzen der gemischten Färbungen nach außen allmähliche Uebergänge zeigten.

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, daß die Wirkungen der Wellen und der Strömung des abfließenden Wattwassers in der That einander in der vorhinbeschriebenen Weise entgegengesetzt sind, und daß bei schwacher Wellenbewegung (erste Beobachtungstiede) jene Strömung ungeachtet ihrer äußerst geringen, direct kaum zu messenden Geschwindigkeit im Stande ist, den durch die Wellen aufwärts geführten Sand in derselben Tiede ganz in die entgegengesetzte Richtung strandabwärts zu ziehen; daß dagegen bei stärkerer Wellenbewegung die Strömung nicht jede Spur der Bewegung aufwärts verwischen konnte, obgleich eine Reihe von Tieden über die Fläche gegangen waren.

Die beobachteten, detachirten Flecke einer intensiveren Färbung scheinen mir mit zu den Wirkungen der Strömung zu gehören, da bei der Insel Neuwerk, wo nur Wellenwirkung in Betracht stand, dergleichen Erscheinungen nicht bemerkt sind; auch deutet darauf der Umstand, daß die Flecken in der Richtung der Strombewegung lagen, und sie können möglicherweise ähnlichen alternirenden Zuständen der Bewegung und Ruhe ihre Entstehung verdanken, wie sie DUBUAT bei den Sandwellen erster Ordnung beobachtet hat.

### 3. Erörterung des herrschenden Principis

Bisher ist die Frage unberührt geblieben, auf welche Grundursache wir zurückgehen können und müssen, um die merkwürdige Thatsache zu erklären, daß ein geebener Sandboden, wenn derselbe längere Zeit hindurch der Einwirkung des strömenden Wassers ausgesetzt wird, nicht eben bleibt, sondern alsbald in Wellenformen gefurcht wird, bei denen ein systematischer Zusammenhang, ein herrschendes Princip oder, wenn die Benennung zusagender ist, ein Naturgesetz, vom Kleinsten bis zum Größten unverkennbar ausgeprägt ist; eine Thatsache, die ebenso allgemein stattfindet und ebenso wunderbar erscheint, als die von HAGEN zuerst in ihrer ganzen Bedeutung hervorgehobenen inneren Bewegungen des strömenden Wassers, und die mit diesen in so engem Zusammenhange steht, daß in sandigen Strombetten Beide gar nicht getrennt von einander gedacht werden können. Haben wir, im Hinblick auf diesen Zusammenhang, die bald größeren, bald kleineren, bald horizontalen, bald verticalen Wasserwirbel als Ursache der Sandwellen zu betrachten? oder sind die letzteren die Ursache der Wirbel? oder sind vielleicht beide Erscheinungen hervorgerufen durch eine bisher noch nicht aus diesem Gesichtspunkte aufgefaßte Grundursache, welche den ganzen Strom, d. h. das Strombette und das darin fließende Wasser zusammengenommen, beherrscht? Die Erörterung dieser Fragen führt zurück zu einem Fundamentalsatze der Lehre von der Bewegung flüssiger Körper, nämlich zu dem allgemein bekannten Satze von der gleichförmigen Bewegung des Wassers. Derselbe besagt, daß die Geschwindigkeit des fließenden Wassers in offenen Gerinnen eine von der Länge des durchlaufenden Weges unabhängige Function des Abhanges und des Stromprofils sei, dergestalt, daß hier die beim Herabrollen oder Gleiten fester Körper auf geneigten Ebenen stattfindende Beschleunigung durch die Bewegungshindernisse gerade aufgehoben werde. Die in der Wirklichkeit eintretenden Modificationen und Einschränkungen dieses Satzes bedürfen hier keiner erschöpfenden Behandlung, da ich als bekannt voraussetzen darf, daß eine solche zu dem Resultate führt, daß die gleichförmige Bewegung im strengsten Sinne des Wortes nur in gleichgroßen und gleichgeformten Stromprofilen mit constanter Wassertiefe und constantem Abhang oder Längengefälle des Stromes darzustellen ist. Diese Bedingung findet man in natürlichen Strömen niemals in aller Strenge erfüllt; wenn aber in einer gegebenen Stromstrecke die Abweichungen von der erlangten Gleichheit der Profile nur klein sind und das Gefälle constant bleibt, so ist auch die Geschwindigkeit nahezu gleichförmig. In mehreren Stromstrecken mit verschiedenen Gefällen und von gleicher Tiefe verhalten sich dann die Geschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus den Gefällen. Es ist demnach Thatsache, daß die Beschleunigung, welche das Wasser wie jeder andere schwere Körper beim freien Falle erfährt, beim Herabfließen in offenen Gerinnen oder natürlichen Strömen durch Bewegungshindernisse vollständig aufgehoben werden kann. Diese Hindernisse pflegen als Reibung des Wassers an den Wänden und dem Boden des Strombettes bezeichnet zu werden, wenn nicht die inneren Bewegungen des Wassers als Ursache der Zerstörung der lebendigen Kraft dabei in Betracht gezogen werden, wie solches von HAGEN geschehen ist.

Neben der gleichförmigen Bewegung und ihren Ursachen haben wir noch einen zweiten Umstand in's Auge zu fassen, der in der Lehre von der Bewegung des Wassers von wesentlicher Bedeutung ist, nämlich die Weise, wie wir uns in offenen Gerinnen die Uebertragung des Drucks von einem Querschnitte des Stroms auf einen folgenden vorzustellen haben. Auch in dieser Beziehung bedarf es einer erschöpfenden Erörterung nicht, indem als bekannt vorausgesetzt werden darf, daß die Annahme eines constanten Druckes von einem Querschnitte des Stromes zum andern nicht mit der Annahme gleichförmiger Geschwindigkeit coincidirt, sondern mit Beschleunigung oder Verzögerung verbunden sein

kann, sobald der Druck größer oder kleiner ist als die an derselben Stelle vorhandenen Bewegungshindernisse oder Widerstände. Wenn also ein Strombette so beschaffen wäre, daß die Größe der Widerstände sich von selbst adjustirte, sobald die Bewegung des darüber strömenden Wassers aus irgend einer andern Ursache beschleunigt oder verzögert wird, so würde eben darin ein wirksames Mittel zur Erzeugung gleichförmiger Bewegung gegeben sein. Die in sandigen Betten fließenden Ströme sind nun in der That in Folge der natürlichen Beschaffenheit des Materials, welches wir unter der Benennung Sand verstehen,<sup>1)</sup> mit einer solchen sich selbst regulirenden Hemmung der Bewegung versehen, und die Art ihrer Wirksamkeit läßt sich aus den im Vorhergehenden dargelegten Beobachtungen deutlich erkennen.

Diese Beobachtungen beweisen, daß eine Sandschicht, deren Dicke mehrere Zolle betragen kann, am Boden des Stromes zugleich mit dem darüber hinfließenden Wasser in Bewegung ist; eine Thatsache, mit welcher die in alle Theorieen der Ströme aufgenommene Vorstellung unvereinbar ist, daß eine scharfe Grenze zwischen dem Strombette und dem strömenden Wasser vorhanden sei, so daß man sich an derselben einerseits Ruhe und andererseits Bewegung, mithin in ihr Reibung zu denken habe. Nicht minder gewiß ist es, daß die Zwischenräume zwischen den Sandkörnern (ungefähr  $\frac{1}{3}$  des ganzen Raumes) durch den Druck des darüber befindlichen Wassers mit Wasser angefüllt sind, und daß die in der Sandmasse befindlichen Wassertheilchen davon afficirt werden, wenn die darüberstehende Wassersäule einen bald stärkeren, bald schwächeren Druck darauf ausübt, wie dies bei der Undulation der Wasseroberfläche in der Natur unfehlbar der Fall sein muß. Ferner hat die durch ein bekanntes Experiment leicht nachzuweisende Adhäsion der Wassertheilchen aneinander ohne Zweifel die Wirkung, daß die strömende Bewegung des Wassers über dem Sande auch die im Sande befindlichen Wassertheilchen in derselben Richtung mit fortziehen, und letztere üben in den Zwischenräumen der Sandkörner einen Druck auf diese aus, der, wenn er stark genug ist, die Körner mit in die Bewegung hineinzieht, jedenfalls die Reibung derselben aneinander vermindert und die Wirkung des Stoßes des darüber hinfließenden Wassers befördert. So geht gleichsam der Strom und das Strombette in einander über, dergestalt, daß man vom Wasserspiegel abwärts sich vier Regionen<sup>2)</sup> zu denken hat: die oberste des fließenden Wassers, die zweite der im Wasser schwebenden und mit diesem fließenden feinsten Sandkörnern, die dritte des im Sande sich durchdrängenden Wassers und der von diesem gerollten gröbereren Sandkörner, und die vierte des ruhenden Sandes. Die Höhe der beiden mittleren Regionen mag selten mehr als einige Zolle betragen, aber es fallen in sie und namentlich in die dritte Region alle jene merkwürdigen Erscheinungen, zu denen Aufklärung ich in vorstehenden Blättern den Weg zu bahnen versucht habe und in denen eben die Einwirkung der Strömung auf das Strombette sich ausspricht.

Gegenüber der oben nachgewiesenen Thatsache, daß die Beschleunigung bei der Bewegung des strömenden Wassers durch Bewegungshindernisse gerade aufgehoben werden kann, darf nicht übersehen werden, daß die Ursache, welche beim Wegfall der Bewegungshindernisse Beschleunigung bewirken würde, nämlich die Schwere des Wassers, bleibt, d. h. daß das Streben nach Beschleunigung eine von der Natur des strömenden Wassers unzertrennliche Eigenschaft desselben ist. Man müßte sich also ein Strombette denken, dessen Theilchen von solcher Feinheit wären, daß die vom Wasser ununterbrochen und gleichmäßig

<sup>1)</sup> Ein Gemenge verschiedener Mineralien in theils eckigen, theils abgerundeten Körnern, die im trocknen Zustande nicht durch Cohäsion oder Klebrigkeit zusammengehalten werden.

<sup>2)</sup> Der gebräuchlichere Ausdruck „Schichten“ würde die Vorstellung scharfer Grenzen begünstigen, welche der Natur der Strombewegung nicht entspricht.

erstrebte Beschleunigung ebenso ununterbrochen und gleichmäßig im Unendlichkleinen aufgehoben würde, und solchem Strombette zugleich eine völlig regelmäßige Gestalt geben; nur unter diesen Voraussetzungen könnte darin eine völlig gleichförmige Bewegung stattfinden. Dann aber würde auch die Oberfläche des Strombettes völlig eben bleiben, keine Wellenformen würden am Boden desselben entstehen, obgleich das Material, aus dem es gebildet wäre, in gewissem Maaße an der Bewegung des Wassers Theil nehmen könnte. Unsere natürlichen Strombetten sind jedoch, wie alle vorhergehenden Untersuchungen darthun, nicht aus einem Material von unendlicher Feinheit gebildet, auch ist ihre Gestaltung weit davon entfernt, regelmäßig zu sein, und hieraus folgt evident, daß das in natürlichen Strombetten fließende Wasser vermöge seiner Schwere wirklich beschleunigt werden muß. Ist dieses aber der Fall, so kann auch der Angriff auf das Strombette kein gleichmäßiger sein, sondern das am Boden befindliche Material muß ebenfalls in zunehmendem Maaße in Bewegung gesetzt werden, womit eine Anhäufung der bewegten Masse desselben unzertrennlich verbunden ist. Damit aber wachsen zugleich die Bewegungshindernisse, der Strom erfährt durch sie eine der Beschleunigung entgegenwirkende Verzögerung, die so lange zunehmen muß, bis sie die erstere aufgehoben hat. Dieser Zustand des Gleichgewichts kann jedoch eben wegen der groben Beschaffenheit des Sandes niemals ganz vollkommen und stets nur momentan sein, eine Periode neuer Beschleunigung muß demselben alsbald wieder folgen, wodurch abermals der Angriff auf das Bette verstärkt, die Masse des bewegten Materials, d. h. die Größe der Bewegungshindernisse vermehrt und somit von Neuem die Stromgeschwindigkeit ermäßigt wird. So wiederholt sich unaufhörlich ein periodischer Wechsel von Beschleunigung und Verzögerung in der Bewegung des strömenden Wassers, und dieser prägt sich in der wellenähnlichen Form des Grundbettes aus. Dem Beobachter wird die Strombewegung um so gleichförmiger erscheinen, je kürzer die Perioden jenes Wechsels ausfallen, letzteres aber ist durch die Beschaffenheit des Materials, insbesondere durch den Grad seiner Feinheit bei mangelnder Cohäsion, und außerdem durch die mehr oder minder regelmäßige Gestalt des Stromprofils bedingt.

So wie aus der im Vorstehenden entwickelten Auffassung hervorgeht, daß ein Bild des periodisch stärker und schwächer werdenden Stromangriffes in den Formen des Bodens ausgeprägt sein muß, und als solches eben die *Sandwellen* von den kleinsten bis zu den größten Dimensionen sich darstellen, so folgt daraus auch, daß in dem strömenden Wasser, dessen Theilchen sehr fein und verschiebbar sind, Spuren erkennbar sein müssen von jenem beständigen Kampfe zwischen dem nie ganz erfolglosen Streben nach Beschleunigung und den periodisch wachsenden Bewegungshindernissen, durch welche dieses neutralisirt wird. Als solche Spuren oder Wirkungen betrachte ich die *inneren Bewegungen des Wassers*, die um so größer und gewaltsamer sind, je weniger der Wechsel zwischen Beschleunigung und Verzögerung den Charakter sanfter, allmäliger Uebergänge hat und in der Art schroffer stoßweiser Hemmungen sich äußert. Das Bild eines verhältnismäßig kleinen Stromes mit starkem Gefälle, der statt der Sandkörner grobe Geschiebe mit sich fortwälzt, kann dies veranschaulichen. So stellen beide Erscheinungen, die Sandwellen und die inneren Bewegungen des Wassers, die so viel Wunderbares zu enthalten schienen, sich als nothwendige Wirkungen einer allgemeinen Eigenschaft der Körper, nämlich der Schwere dar, die bei der Bewegung des Wassers in einem unregelmäßig geformten, aus beweglichem, im Vergleich mit den Wassertheilchen grobem Material gebildeten Bette sich nur in dieser Weise äußern kann.

Ein Rückblick aus dem hiermit gewonnenen Standpunkte auf das früher Vorgetragene dürfte genügen, um in der unendlichen Mannigfaltigkeit der Erscheinungen das herrschende Princip überall durchleuchten zu sehen. Indeß ist das Feld der Beobachtung in dieser

Beziehung noch keinesweges in allen Richtungen durchforscht; namentlich möchte das Gebiet der Küstenströme mit den Nehrungen und anderen verwandten Erscheinungen noch zu manchen neuen Wahrnehmungen Veranlassung darbieten, wozu mir die Gelegenheit gefehlt hat. Dagegen habe ich eine Reihe von Untersuchungen über die Bewegung des Wassers im Sande ausgeführt, durch welche die mit der *Capillar-Attraction*, der *Filtration* und dem *Aufsteigen des Grundwassers durch Druck von unten* zusammenhängenden Erscheinungen aufgeklärt werden. Die Resultate dieser Arbeiten hoffe ich später der Oeffentlichkeit zu übergeben.

*Ergänzende Anmerkungen zu HÜBBES Aufsatz „Von der Beschaffenheit und dem Verhalten des Sandes“*

(von Prof. Dr.-Ing. ALFRED FÜHRBÖTER, Braunschweig)

Im ersten Teil der vorstehenden Arbeit werden Verfahren zur Bestimmung der Kornverteilungskurven, der Lagerungsdichte, des Porenraumes usw. mitgeteilt, die für die damalige Zeit neu waren und deshalb vom Verfasser in aller Ausführlichkeit beschrieben werden. Heute sind dies Routineuntersuchungen, deren Ausführung in entsprechenden Normen festgelegt sind; dieser Teil der Arbeit hat vor allem historischen Wert.

Anders aber der zweite Teil der Arbeit, der sich vor allem mit den morphologischen Formen befaßt, die heute als Transportkörper bezeichnet werden. HÜBBE standen bei weitem nicht die Hilfsmittel zur Verfügung, die heute zur Erfassung dieser Formen unentbehrlich sind. Für Untersuchungen an der Stromsohle stand ihm nur das einfache Handlot (und die Taucherglocke) zur Verfügung. Die kennzeichnenden Formen der Transportkörper als Unterwasserdünen, wie sie heute mit dem Echographen erfaßt werden, konnten von ihm gar nicht bemerkt werden (vgl. HENSEN: „Über den Wert der Kenntnis von der wahren Gestalt einer Flußsohle.“ Die Deutsche Wasserwirtschaft 1948/49). Und dennoch gelang es ihm, allein durch scharfe und geduldige Beobachtung eine Reihe von Erkenntnissen über diese Formen zu gewinnen, mit denen er seiner Zeit (1861!) weit voraus war. Seine Einteilung in die 4 Klassen (1. Klasse = Kleinformen = Rippel (engl. ripples), 2. Klasse = Großformen, die von Kleinformen überlagert sind = Dünen (engl. dunes), 3. und 4. Klasse = Großformen, die sich wieder aus Dünen zusammensetzen [Sandbänke und Platen, engl. tidal ridges]) ist grundsätzlich auch heute noch gültig. Seine Beobachtung, daß sich die kleinen Formen schneller als die größeren bewegen, ist die Grundlage vieler Theorien über die Entstehung dieser morphologischen Erscheinungen.

Von größter Bedeutung sind aber seine Versuche über den Bewegungsmechanismus dieser Formen, die er mit farbigem Sand durchführte. Es dürfte sich um die erste Anwendung des TRACER-Verfahrens in der Erforschung der Sedimentbewegung handeln. Fig. 18 der Arbeit zeigt in geradezu klassischer Darstellung die kennzeichnende Bewegungsform eines Transportkörpers durch Erosion auf dem Luvhang mit anschließender Sedimentation vor dem Leehang, eine spezielle Bewegungsweise, die der Bewegung von Wasserwellen völlig entgegengesetzt ist und deren mathematische Beschreibung erst mehr als ein halbes Jahrhundert später von EXNER durchgeführt wurde.

HÜBBE zeigt dabei in seinen Ausführungen stets deutlich auf, welche Kenntnisse er anderen Forschern verdankt; insbesondere DUBUAT und HAGEN werden wiederholt von ihm zitiert mit der deutlichen Freude, daß die eigenen Ergebnisse mit den Erkenntnissen dieser Autoritäten übereinstimmen.

Bewundernswert ist, daß HÜBBE seine Ergebnisse aus einem der schwierigsten Gebiete bezieht, die es für die Sandbewegung gibt, nämlich aus dem Tidegebiet eines Flusses, der

damals von einer Flußregelung noch weit entfernt war. Auch hat HÜBBE die Wirkungen der Windwellen auf die Sandbewegungen in seine Betrachtungen einbezogen, und es fehlt auch nicht ein Hinweis auf die biologischen Einflüsse, die z. B. durch die Begrünung und die damit verbundene Stabilitätserhöhung gegen Erosionen die Bildung von lagestabilen Inseln aus wandernden Platen bewirken.

Auf weiten Strecken liest sich die Arbeit von HÜBBE weniger wie ein technischer Bericht, sondern eher wie die Mitteilungen eines Naturforschers in der klassischen Tradition etwa der Reisebeschreibungen eines ALEXANDER VON HUMBOLDT, die bei aller Detailtreue nie den großen Überblick verliert.

Er betrieb das, was heute „Interdisziplinäre Forschung“ genannt wird, ohne diesen Begriff zu kennen; die Gesamtschau aller Naturerscheinungen war ihm eine unschuldige Selbstverständlichkeit. Wir können auch heute noch von ihm lernen.

# Strömung und Salzgehalt der Elbe bei Cuxhaven<sup>1)</sup>

Von HUGO LENTZ

Im Fluthgebiet der Ströme dringt das salzige Meerwasser mit der Fluth stromaufwärts, vermischt sich mit dem süßen Wasser des oberen Stromes und fließt mit diesem vereint während der Ebbe wieder in die See. Viele Umstände machen diesen Vorgang zu einem verwickelten und wechselvollen. Zu diesen gehören: der Unterschied im spezifischen Gewicht des Meer- und des Flußwassers, die verschiedene Höhe der Tiden, die veränderliche Menge des oberen Zuflusses und die Richtung und Stärke des Windes, welche auf den mittleren Wasserstand bald hebend, bald senkend einwirken. Durch diese mannigfachen Einflüsse, welche jede Tide von der vorhergehenden und folgenden abweichend gestalten, ja, welche bewirken, daß niemals zwei Tiden völlig mit einander übereinstimmen, wird es außerordentlich schwierig gemacht, den regelmäßigen Zustand des Fluthgebietes festzustellen, und es wird nicht zuviel gesagt sein, wenn man behauptet, daß diese Aufgabe bisher noch nicht für einen einzigen Fluß völlig gelöst worden ist.

In die weit geöffnete Mündung der Elbe dringt das salzige Wasser weit hinein, je nach Umständen vielleicht 30 bis 50 Seemeilen weit; aber bis zu welchem Punkte unter gegebenen Verhältnissen und in welcher Mischung, darüber dürfte niemand einigermaßen sicheren Aufschluß zu geben im Stande sein. Ebenso wenig ist es bekannt, in welcher Weise das spezifische Gewicht und die Strömungen des Wassers mit der Tiefe sich während des Verlaufes der Tide ändern und ob sie sich gegenseitig beeinflussen. Es läßt sich aber voraussetzen, daß auch von der Beantwortung dieser Fragen nicht nur in wissenschaftlicher, sondern ebensowohl in wasserbaulicher Beziehung wichtige Aufschlüsse zu erwarten sein würden.

Angesichts dieser Verhältnisse darf die Mittheilung einiger Messungen, welche sich auf die Strömungen und den Salzgehalt des Wassers der Elbe bei Cuxhaven beziehen, vielleicht auf allgemeineres Interesse rechnen, obgleich dieselben, wie vorweg bemerkt werden muß, mehr geeignet sind, die vorhandene Lücke zu zeigen, als sie völlig auszufüllen.

## 1. Die Strömungen

Die im Sommer 1884 angestellten Geschwindigkeitsmessungen bezweckten, die Strömungen in verschiedenen Tiefen für einen einzelnen Punkt des Stromes während der Dauer einer Tide zu ermitteln. Durch die großen Tiefen, die zeitweilig starke Strömung und den oft störenden Seegang wurde diese Aufgabe sehr erschwert, aber glücklicherweise lag während mehrerer Monate ein Feuerschiff auf der Reede, und diese Gelegenheit konnte dazu benutzt werden, eine bequeme und sichere Einrichtung zur Vornahme der Messungen zu treffen. Das Feuerschiff lag auf 15 m Tiefe bei Niedrigwasser, 690 m in der Richtung N. zu O. vom Cuxhavener Leuchthurm entfernt und war derart verankert, daß der Punkt auf dem Schiffe, an dem die Messungen gemacht wurden, während der Ebbe nur 27 m weiter stromabwärts lag als während der Fluth, sodaß sämtliche Messungen als an einem und demselben Punkte angestellt betrachtet werden dürfen.

---

<sup>1)</sup> Aus: Zeitschr. f. Bauwesen, Jg. 38, 1888.

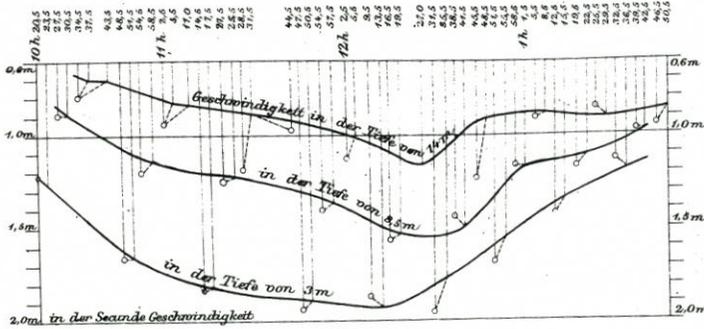
Für die wassermessende Schraube – d. i. ein WOLTMANScher Flügel, dessen Flügel durch eine kleine Schiffsschraube ersetzt sind –, mit der die Geschwindigkeiten gemessen werden sollten, mußte eine besondere Führung geschaffen werden, weil sie wegen der großen Tiefe und wegen der Bewegungen des Schiffes nicht wohl in der sonst üblichen Weise an einer Stange gehandhabt werden konnte. Zu dem Ende wurde durch die Fockwanten des Schiffes eine Spiere gesteckt und auf dieser wurden außenbords zwei einscheibige Blöcke befestigt. Durch den äußeren Block lief ein 4 mm starkes Drahtseil, welches durch ein angehängtes, 160 kg schweres Bleigewicht straff gespannt, und durch ein zweites Drahtseil, das vom unteren Ende des ersten nach der Spitze des Klüverbaumes führte, in senkrechter Stellung erhalten wurde. Durch den anderen Block lief ein drittes, aus zwei Drähten von 0,6 mm Durchmesser bestehendes Drahtseil und an diesem hing die Schraube, welche am unteren Ende einer 1,5 m langen, über das senkrechte Drahtseil gestreiften Messingröhre befestigt war. Von den Blöcken waren die beiden Drahtseile nach auf Deck befindlichen Winden geführt und konnten mit Hilfe derselben aufgeholt und niedergelassen werden. Auf diese Weise war die Schraube so bequem zu regieren, daß sie innerhalb 18 bis 20 Sekunden bis zur Tiefe von 14 m gesenkt und wieder gehoben werden konnte.

Zum Zählen der Umdrehungen der Schraube war ein elektrisches Lätewerk vorhanden, dasselbe erwies sich indes als unbrauchbar, weil das salzige Wasser den elektrischen Strom schloß und infolge dessen ein unaufhörliches Klingeln verursachte, sowie sich die Schraube unter Wasser befand. Das Lätewerk wurde deshalb beseitigt, und da sich das Ausrücken des Zählrades mittels einer Schnur ebenfalls als unausführbar herausstellte, erübrigte nur, das Zählrad frei laufen zu lassen und die Schraube nach jeder Messung zum Ablesen der Umdrehungen aus dem Wasser zu heben. Die dabei unvermeidlichen Fehler sollten dadurch ausgeschaltet werden, daß die Zahl der Umdrehungen nicht unmittelbar, sondern aus dem Unterschiede zweier Messungen bestimmt wurde, von denen eine sich über fünf, die andere nur über eine Minute Dauer erstreckte. Der Unterschied sollte die fehlerlose Zahl der Umdrehungen für vier Minuten Dauer ergeben. Thatsächlich stellte sich die Sache jedoch etwas anders, weil die Strömungen keineswegs stetig, sondern abwechselnd stärker und schwächer sind. Die Einminutenmessungen zeigen deshalb viel größere Abweichungen von der durchschnittlichen Stromgeschwindigkeit als die Fünfminutenmessungen, und zieht man erstere von letzteren ab, so erscheint ihr ungenaueres Ergebnis mit ein Viertel des Werthes im Gesamtergebnis, wodurch dieses offenbar verschlechtert wird. Außerdem läßt sich dann kein bestimmter Zeitpunkt für die Messung angeben, was auch als ein wesentlicher Nachtheil zu betrachten ist, weil die Stärke der Strömung sich zu Zeiten so schnell ändert, daß einige Minuten später oder früher schon einen nennenswerthen Unterschied hervorbringen. Es wurde deshalb vorgezogen, die Ein- und Fünfminutenmessungen zu verbinden und wie eine einzige Messung zu betrachten. Da beide stets unmittelbar nach einander gemacht sind, so ergibt sich dann der Zeitpunkt der Messung mit Sicherheit und die kürzere Messung hat keinen größeren Einfluß auf das Gesamtergebnis, als ihrer Dauer zukommt. Allerdings bleibt dabei der Fehler, welchen das Durchfahren von Wasserschichten verschiedener Geschwindigkeit mit der Schraube veranlaßt, indes ist derselbe nicht von großer Bedeutung, und die folgenden Untersuchungen bezwecken, seine Größe annähernd festzustellen.

In Abb. 1 sind die dreieinhalbstündigen Messungen eines Tages während der stärksten Ebbeströmung in der Art aufgetragen, daß die Ergebnisse der Fünfminutenmessungen durch stetige Linien mit einander verbunden, diejenigen der Einminutenmessungen aber nur durch einzelne Punkte ersichtlich gemacht sind. Man sieht, daß die Punkte oft sehr stark von den gezogenen stetigen Linien abweichen, und meistens ergeben sie größere Geschwindigkeiten, was sich durch die mit der Tiefe abnehmende Strömung erklärt. Mißt man die Abstände der

Abb. 1.

16. August 1884. Hochwasser 7 h 30' a.m. Niedrigwasser 2 h 10' p.m.



Punkte von den entsprechenden Linien, so findet man, daß die Einminutenmessungen die Geschwindigkeiten

in 3 m, 8,5 m und 14 m Tiefe durchschnittlich um 0,020 m, 0,014 m und 0,109 m größer ergeben als die Fünfminutenmessungen. Aus je sechs Doppelmessungen eines anderen Tages ergaben sich, ebenfalls bei starker Ebbestromung, in denselben drei Tiefen die Abweichungen in gleichem Sinne zu

0,005 m, 0,004 m und 0,045 m,

folglich viel kleiner. Nimmt man an, daß durch Abzug der aus den beiden Messungen gefundenen Umdrehungen von einander ein durchschnittlich richtiges Ergebnis erhalten wird, so ist in diesem die Einminutenmessung mit einem Viertel des Betrages ihrer Abweichung von der Fünfminutenmessung enthalten. Fügt man die Umdrehungen der beiden Messungen zu einander, so erscheint dieselbe Abweichung mit einem Sechstel ihres Betrages, und der Fehler beträgt  $\frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{5}{12}$  der Abweichung, um welchen Betrag das Ergebnis zu groß gefunden wird. Im Durchschnitt obiger fünfzehn Doppelmessungen betrüge der Fehler demnach:

für 3 m, 8½ m und 14 m Tiefe  
+ 0,006 m, + 0,004 m und + 0,035 m, ist also

nur in der Tiefe von 14 m merklich.

Bei geringeren Stromgeschwindigkeiten wird der Fehler geringer und während der Fluthströmung meistens negativ. Neun, bezw. sechs Doppelmessungen, welche bei einer Stärke des Fluthstromes von 0,8 bis 1 m in der Secunde angestellt wurden, ergaben aus den Einminutenmessungen größere (+) oder kleinere (-) Werthe als aus den Fünfminutenmessungen:

für 3 m, 8½ m, 14 m Tiefe  
um +0,013 m, ± 0,000 m, -0,019 m  
-0,017 m, -0,035 m, -0,065 m und

im Durchschnitt +0,001 m, -0,014 m, -0,037 m.

Der Fehler, welcher durch Zusammenzählen von zwei zusammengehörigen Messungen entsteht, berechnet sich hieraus in der oben angegebenen Weise während starker Fluthströmung:

für 3 m, 8,5 m, 14 m Tiefe,  
zu ± 0,000 m, -0,006 m, -0,015 m.

Er ist demnach für die kleineren Tiefen ebenfalls verschwindend, und im ganzen wird man folgern dürfen, daß er selbst in der Tiefe von 14 m etwas 3 pCt. nirgends überschreitet.

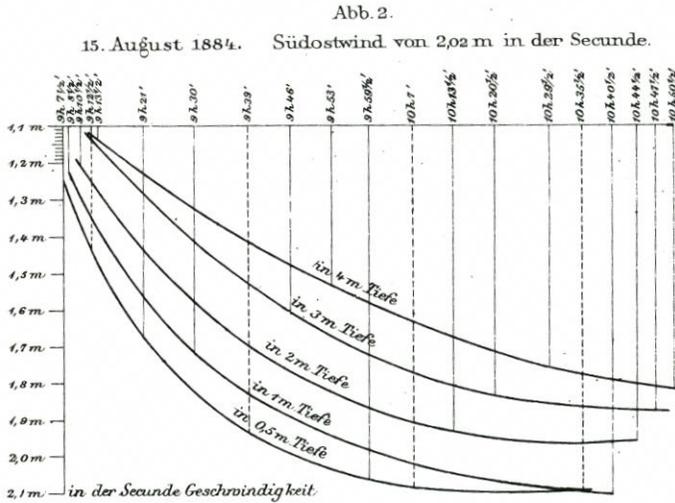
Aus den vorhin mitgetheilten Messungen ergibt sich, daß die Stärke der Strömung während der Ebbe von 3 m Tiefe nach abwärts stetig abnimmt, und es bleibt festzustellen, in welcher Tiefe die größte Geschwindigkeit stattfindet. Zu dem Ende sind besondere Messungen in den Tiefen von ½, 1, 2, 3 und 4 m gemacht, welche die nachstehende Tabelle vollständig enthält:

15. August 1884. Hochwasser 6 U. 15 M. Vm. Niedrigwasser 0 U. 55 M. Nm.

| Tiefe<br>m | Tageszeit |           | Anzahl<br>der<br>Umdrehungen | Dauer<br>in<br>Secunden | 100<br>Umdrehungen<br>in Secunden | Geschwindigkeit<br>in 1 Secunde<br>m | 100<br>Umdrehungen<br>in Secunden | Geschwindigkeit<br>in 1 Sec.<br>m |      |
|------------|-----------|-----------|------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------|
|            | von       | bis       |                              |                         |                                   |                                      |                                   |                                   |      |
| 0,5        | 9 U. 7 M. | 9 U. 8 M. | 222                          | 60                      | —                                 | —                                    | 27,0                              | 1,25                              |      |
| 1          | 9 - 8 -   | 9 - 9 -   | 209                          | 58                      | —                                 | —                                    | 27,8                              | 1,22                              |      |
| 2          | 9 - 10 -  | 9 - 11 -  | 211                          | 59                      | —                                 | —                                    | 28,0                              | 1,21                              |      |
| 3          | 9 - 12 -  | 9 - 13 -  | 203                          | 61                      | —                                 | —                                    | 30,0                              | 1,13                              |      |
| 4          | 9 - 13 -  | 9 - 14 -  | 196                          | 59                      | —                                 | —                                    | 30,1                              | 1,13                              |      |
| 0,5        | 9 - 18 -  | 9 - 19 -  | 134                          | 29                      | 21,7                              | 1,56                                 | }                                 | 20,3                              | 1,67 |
| "          | 9 - 19 -  | 9 - 24 -  | 1478                         | 298                     | 20,2                              | 1,68                                 |                                   |                                   |      |
| 1          | 9 - 25 -  | 9 - 26 -  | 285                          | 58                      | 20,4                              | 1,66                                 | }                                 | 19,8                              | 1,72 |
| "          | 9 - 27 -  | 9 - 33 -  | 1802                         | 359                     | 19,9                              | 1,71                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 9 - 34 -  | 9 - 35 -  | 317                          | 59                      | 18,6                              | 1,83                                 | }                                 | 20,1                              | 1,69 |
| 2          | 9 - 36 -  | 9 - 37 -  | 297                          | 60                      | 20,2                              | 1,68                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 9 - 37 -  | 9 - 42 -  | 1494                         | 300                     | 20,1                              | 1,69                                 | }                                 | 21,2                              | 1,60 |
| 3          | 9 - 43 -  | 9 - 44 -  | 281                          | 59                      | 21,0                              | 1,61                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 9 - 44 -  | 9 - 49 -  | 1412                         | 300                     | 21,2                              | 1,60                                 | }                                 | 22,1                              | 1,53 |
| 4          | 9 - 50 -  | 9 - 51 -  | 273                          | 60                      | 22,0                              | 1,54                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 9 - 51 -  | 9 - 56 -  | 1360                         | 301                     | 22,1                              | 1,53                                 | }                                 | 16,5                              | 2,06 |
| 0,5        | 9 - 56 -  | 9 - 57 -  | 374                          | 60                      | 16,0                              | 2,12                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 9 - 58 -  | 10 - 3 -  | 1804                         | 300                     | 16,6                              | 2,05                                 | }                                 | 16,8                              | 2,02 |
| 1          | 10 - 4 -  | 10 - 5 -  | 362                          | 60                      | 16,6                              | 2,05                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 10 - 5 -  | 10 - 10 - | 1781                         | 300                     | 16,8                              | 2,02                                 | }                                 | 17,7                              | 1,93 |
| 2          | 10 - 10 - | 10 - 11 - | 347                          | 60                      | 17,3                              | 1,97                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 10 - 12 - | 10 - 17 - | 1689                         | 300                     | 17,8                              | 1,92                                 | }                                 | 18,6                              | 1,83 |
| 3          | 10 - 17 - | 10 - 18 - | 330                          | 60                      | 18,2                              | 1,87                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 10 - 19 - | 10 - 24 - | 1607                         | 300                     | 18,7                              | 1,82                                 | }                                 | 19,5                              | 1,75 |
| 4          | 10 - 26 - | 10 - 27 - | 308                          | 60                      | 19,5                              | 1,75                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 10 - 28 - | 10 - 33 - | 1534                         | 300                     | 19,6                              | 1,74                                 | }                                 | 16,25                             | 2,09 |
| 0,5        | 10 - 33 - | 10 - 34 - | 377                          | 60                      | 15,9                              | 2,13                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 10 - 34 - | 10 - 38 - | 1463                         | 239                     | 16,3                              | 2,08                                 | }                                 | 16,2                              | 2,10 |
| 1          | 10 - 39 - | 10 - 40 - | 379                          | 60                      | 15,8                              | 2,14                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 10 - 40 - | 10 - 42 - | 733                          | 120                     | 16,4                              | 2,07                                 | }                                 | 17,4                              | 1,96 |
| 2          | 10 - 43 - | 10 - 44 - | 343                          | 60                      | 17,5                              | 1,95                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 10 - 44 - | 10 - 46 - | 685                          | 119                     | 17,4                              | 1,96                                 | }                                 | 18,2                              | 1,87 |
| 3          | 10 - 46 - | 10 - 47 - | 337                          | 61                      | 18,1                              | 1,88                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 10 - 47 - | 10 - 49 - | 665                          | 121                     | 18,2                              | 1,87                                 | }                                 | 18,8                              | 1,81 |
| 4          | 10 - 49 - | 10 - 50 - | 327                          | 60                      | 18,3                              | 1,86                                 |                                   |                                   |      |
| "          | 10 - 50 - | 10 - 52 - | 632                          | 120                     | 19,0                              | 1,80                                 | }                                 | 18,8                              | 1,81 |
| "          |           |           |                              |                         |                                   |                                      |                                   |                                   |      |

In dieser Tabelle sind beispielshalber die Ergebnisse der Ein- und Fünf-, bezw. Zwei-, Vier- und Sechsmittelmessungen sowohl getrennt wie vereinigt angegeben, aus Abb. 2 sind nur die letzteren ersichtlich.

Die in denselben Tiefen nach einander gefundenen Geschwindigkeiten sind in Abb. 2 durch stetige Linien aus freier Hand verbunden, und der Augenschein lehrt, daß dieselben im allgemeinen ziemlich parallel verlaufen. Eine Ausnahme macht die um 10 U. 40½ M. in 1 m Tiefe gemessene Geschwindigkeit, welche 2,10 m in der Secunde beträgt, nach den übrigen Linien aber nur etwa 2,04 m betragen sollte. Die Ursache dieser Abweichung darf wohl in Unregelmäßigkeiten der Strömung gesucht werden, wie solche sich häufig dem Auge des Beobachters durch senkrechte und wagerechte Wirbel von kürzerer oder längerer Dauer zu erkennen geben. Sucht man für vier beliebige Zeitpunkte nach Maßgabe der gefundenen



Linien die gleichzeitigen Geschwindigkeiten in den verschiedenen Tiefen, so erhält man die folgenden Werthe, denen die daraus gezogenen Mittelzahlen beigeschrieben sind:

| Tiefe | Um 9U.12½M. | Um 9U.39M. | Um 10U.7M. | Um 10U.35½M. | Mittel | Unterschiede |
|-------|-------------|------------|------------|--------------|--------|--------------|
| m     | m           | m          | m          | m            | m      | m            |
| 0,5   | 1,44        | 1,93       | 2,08       | 2,09         | 1,89   | } 0,07       |
| 1     | 1,35        | 1,83       | 2,02       | 2,09         | 1,82   | } 0,12       |
| 2     | 1,26        | 1,69       | 1,90       | 1,96         | 1,70   | } 0,13       |
| 3     | 1,13        | 1,52       | 1,77       | 1,86         | 1,57   | } 0,09       |
| 4     | 1,12        | 1,41       | 1,63       | 1,77         | 1,48   |              |

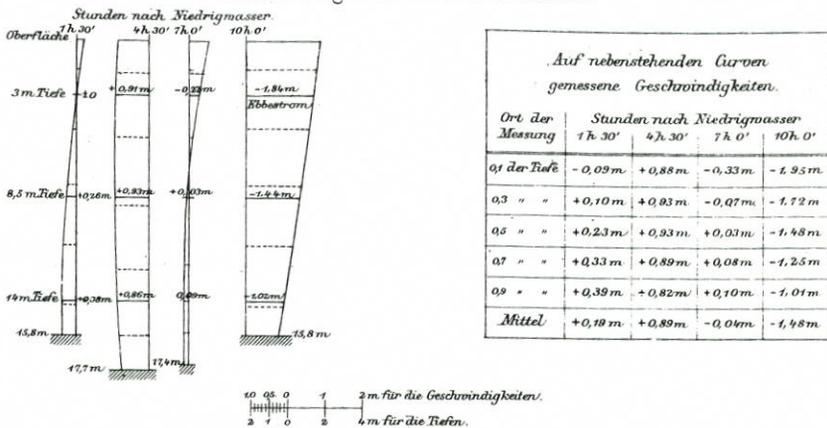
Die Geschwindigkeit nimmt also von 0,5 bis 1 m Tiefe um 0,07 m und dann auf jedes der folgenden Meter bezw. um 0,12 m, 0,13 m und 0,09 m ab, folglich fast gleichmäßig von oben nach unten, und man wird ohne nennenswerthen Fehler annehmen dürfen, daß die Ebbeströmung in unmittelbarer Nähe der Oberfläche am stärksten ist. Die Fluthströmung verhält sich freilich anders, wie sich später herausstellen wird, aber in allen Fällen wird eine, durch die in den Tiefen von 3, 8½ und 14 m gemessenen Geschwindigkeiten bestimmte Linie auch die Geschwindigkeit an der Oberfläche mit hinreichender Genauigkeit ergeben. In geringeren Tiefen als 3 m sind sonst keine Messungen gemacht, um einen störenden Einfluß des Feuerschiffes, dessen Tiefgang etwa 2½ m betrug, mit Sicherheit zu vermeiden.

Da die wassermessende Schraube mit dem WOLTMAN'schen Flügel den Fehler theilt, die Richtung der Strömung nicht anzugeben, so muß man sich über diese anderweitig unterrichten, namentlich wenn die Möglichkeit vorliegt, daß die Stromrichtungen an der Oberfläche und in der Tiefe nicht gleich sind. Eine Holzkugel von 0,4 m Durchmesser, durch Belastung etwas schwerer als Wasser, die an einem sehr dünnen Draht gehalten wurde, erwies sich zu diesem Zwecke sehr brauchbar, später aber doch als entbehrlich, weil die aufeinanderfolgenden Messungen ziemlich stetige Linien ergaben, aus denen die Stromrichtung ohne weiteres gefolgert werden konnte. Mehrfach sind auch die Bewegungen des Fahrzeuges beim Kentern des Stromes beobachtet, jedoch stets so allmählich befunden worden, daß sie auf die Geschwindigkeitsmessungen nicht schädlich einwirken konnten.

Die eigentlichen Messungen, zu deren Besprechung jetzt übergegangen werden soll, erstreckten sich über vier Tage des Monats August 1884, und an jedem dieser Tage wurde von morgens 6 bis abends 7 Uhr ununterbrochen gemessen; eine einzige Unterbrechung von 67 Minuten fand durch einen unvorherzusehenden Zufall statt. In jeder der drei Tiefen sind jedesmal zwei Messungen von zusammen sechs Minuten Dauer gemacht und aus der Summe der gefundenen Schraubenumdrehungen ist die Geschwindigkeit ermittelt. Die nächstfolgenden Tabellen enthalten die Ergebnisse der einzelnen Doppelmessungen mit Hinzufügung der Höhen und Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser, sowie der Richtung und Stärke des Windes.

Aus diesen Messungen ergeben sich, ungeachtet mancher Abweichungen und Unregelmäßigkeiten im einzelnen, im ganzen ähnliche Linien, welche sich aber nicht unmittelbar mit einander vergleichen lassen, weil die Dauer von Fluth und Ebbe an jedem Tag eine andere ist. Je zwei Tage sind in Bezug auf die Höhen von Hoch- und Niedrigwasser fast gleich: 11. und 23. August sind annähernd Springtiden und Fluthgrößen von 3,11 bzw. 3,28 m; 16. und 28. August sind annähernd Taubetiden mit Fluthgrößen von 2,60 m bzw. 2,62 m. Es sind nun zuerst die Beobachtungen der vier Tage mit großer Sorgfalt sämtlich auf mittlere Fluth- und Ebbedauer bezogen, dann sind aus den eben genannten Tagepaaren die Mittel genommen und, nachdem sich auch zwischen diesen keine wesentlichen Abweichungen zeigten, ist das Mittel aus allen vier Tagen gesucht und in eine neue Tabelle eingetragen. In dieser Tabelle, welche auf S. 217 unmittelbar der ersten folgt, sind die Zahlen der Spalte „Mittel von oben bis unten“ nicht das Mittel aus den in den Tiefen von 3, 8½ und 14 m gemessenen Geschwindigkeiten, sondern auf zeichnerischem Wege ermittelt, indem, wie aus den mit Abb. 3 bezeichneten Zeichnungen beispielsweise zu ersehen, durch die drei gemessenen Geschwindigkeiten eine stetige Linie aus freier Hand gelegt ist und auf dieser die Geschwindigkeiten in gleichmäßigen Abständen für je ein Fünftel der Tiefe abgemessen wurden.

Abb. 3.  
Geschwindigkeiten in der Lothlinie.



Die Zahlen der letzten Spalte „Wasserstand über oder unter dem mittleren der Tide“ beziehen sich auf eine mittlere Fluthlinie. Dieselbe ist gefunden, indem die Fluthlinien von vier Tiden, welche sich thunlichst einer mittleren näherten, auf mittlere Fluth- und Ebbedauer und mittlere Hoch- und Niedrigwasserhöhe zurückgeführt sind und dann aus diesen derart erhaltenen Fluthlinien das Mittel genommen wurde.

| Tiefe<br>m  | Tageszeit | Strömung<br>in 1 Sec.<br>m | Strom-<br>richtung | Tiefe<br>m       | Tageszeit | Strömung<br>in 1 Sec.<br>m                | Strom-<br>richtung | Tiefe<br>m       | Tageszeit | Strömung<br>in 1 Sec.<br>m | Strom-<br>richtung |
|---|-----------|----------------------------|--------------------|------------------|-----------|---|--------------------|------------------|-----------|----------------------------|--------------------|
| <b>11. August 1884.</b>   |           |                            |                    |                  |           |   |                    |                  |           |                            |                    |
| Hochwasser (3 U. 20 M. Vm.) + 4,84 m,                                   |           |                            |                    |                  |           | Niedrigwasser 10 U. 5 M. Vm. + 1,83 m.    |                    |                  |           |                            |                    |
| Hochwasser 3 U. 45 M. Nm. + 5,03 m,                                     |           |                            |                    |                  |           | Niedrigwasser (10 U. 25 M. Nm.) + 1,89 m. |                    |                  |           |                            |                    |
| Wind: 11 U. Vm. N.W. 4,45 m. — 4 U. 30 M. Nm. N.W. 3,88 m in 1 Secunde. |           |                            |                    |                  |           |   |                    |                  |           |                            |                    |
| 3   | 6U. 5M.   | 1,24                       | Ebbestrom          | 3                | 11U.37M.  | 0,18                                      | Fluthstrom         | 3                | 4U. 3M.   | 0,38                       | Fluthstrom         |
| 8 <sup>1/2</sup>  | 6- 17-    | 0,98                       | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 11- 42-   | 0,47                                      | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 4- 15-    | 0,32                       | "                  |
| 14  | 6- 31-    | 0,78                       | "                  | 14               | 11- 45-   | 0,56                                      | "                  | 14               | 4- 23-    | 0,32                       | "                  |
| 3   | 6- 42-    | 1,78                       | "                  | 3                | 11- 49-   | 0,53                                      | "                  | 3                | 4- 29-    | 0,18                       | "                  |
| 8 <sup>1/2</sup>  | 6- 51-    | 1,23                       | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 11- 54-   | 0,71                                      | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 4- 33-    | 0,19                       | "                  |
| 14  | 7- 3-     | 0,88                       | "                  | 14               | 11- 58-   | 0,76                                      | "                  | 14               | 4- 37-    | 0,21                       | "                  |
| 3   | 7- 17-    | 1,95                       | "                  | 3                | 12- 4-    | 0,80                                      | "                  | 3                | 4- 42-    | 0,09                       | "                  |
| 8 <sup>1/2</sup>  | 7- 25-    | 1,47                       | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 12- 11-   | 1,02                                      | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 4- 46-    | 0,17                       | "                  |
| 14  | 7- 33-    | 1,00                       | "                  | 14               | 12- 18-   | 1,00                                      | "                  | 14               | 4- 50-    | 0,17                       | "                  |
| 3   | 7- 41-    | 1,86                       | "                  | 3                | 12- 26-   | 1,23                                      | "                  | 3                | 4- 53-    | 0                          | —                  |
| 8 <sup>1/2</sup>  | 7- 53-    | 1,53                       | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 12- 33-   | 1,20                                      | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 4- 57-    | 0                          | —                  |
| 14  | 8- 4-     | 1,00                       | "                  | 14               | 12- 43-   | 0,99                                      | "                  | 14               | 5- 1-     | 0,09                       | Fluthstrom         |
| 3   | 8- 11-    | 1,67                       | "                  | 3                | 12- 51-   | 1,21                                      | "                  | 3                | 5- 12-    | 0,53                       | Ebbestrom          |
| 8 <sup>1/2</sup>  | 8- 24-    | 1,26                       | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 12- 58-   | 1,08                                      | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 5- 16-    | 0,19                       | "                  |
| 14  | 8- 41-    | 1,02                       | "                  | 14               | 1- 4-     | 1,02                                      | "                  | 14               | 5- 20-    | 0,18                       | "                  |
| 3   | 8- 54-    | 1,40                       | "                  | 3                | 1- 10-    | 1,05                                      | "                  | 3                | 5- 27-    | 0,57                       | "                  |
| 8 <sup>1/2</sup>  | 9- 6-     | 1,25                       | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 1- 17-    | 1,06                                      | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 5- 36-    | 0,57                       | "                  |
| 14  | 9- 17-    | 0,99                       | "                  | 14               | 1- 24-    | 0,95                                      | "                  | 14               | 5- 44-    | 0,40                       | "                  |
| 3   | 9- 35-    | 1,31                       | "                  | 3                | 1- 32-    | 1,04                                      | "                  | 3                | 5- 51-    | 0,87                       | "                  |
| 8 <sup>1/2</sup>  | 9- 54-    | 1,08                       | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 1- 48-    | 0,94                                      | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 5- 59-    | 0,74                       | "                  |
| 14  | 10- 5-    | 0,88                       | "                  | 14               | 1- 57-    | 0,94                                      | "                  | 14               | 6- 6-     | 0,50                       | "                  |
| 3   | 10- 13-   | 1,15                       | "                  | 3                | 2- 6-     | 0,95                                      | "                  | 3                | 6- 13-    | 1,13                       | "                  |
| 8 <sup>1/2</sup>  | 10- 21-   | 0,93                       | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 2- 14-    | 0,92                                      | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 6- 20-    | 0,94                       | "                  |
| 14  | 10- 29-   | 0,76                       | "                  | 14               | 2- 22-    | 0,90                                      | "                  | 14               | 6- 27-    | 0,68                       | "                  |
| 3   | 10- 37-   | 1,00                       | "                  | 3                | 2- 32-    | 0,91                                      | "                  | 3                | 6- 34-    | 1,46                       | "                  |
| 8 <sup>1/2</sup>  | 10- 44-   | 0,72                       | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 2- 45-    | 0,84                                      | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 6- 42-    | 1,12                       | "                  |
| 14  | 10- 55-   | 0,34                       | "                  | 14               | 2- 55-    | 0,60                                      | "                  | 14               | 6- 53-    | 0,90                       | "                  |
| 3   | 11- 6-    | 0,67                       | "                  | 3                | 3- 3-     | 0,75                                      | "                  | 3                | 7- 3-     | 1,81                       | "                  |
| 8 <sup>1/2</sup>  | 11- 14-   | 0,19                       | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 3- 11-    | 0,66                                      | "                  | 8 <sup>1/2</sup> | 7- 10-    | 1,32                       | "                  |
| 14  | 11- 20-   | 0,19                       | Fluthstrom         | 14               | 3- 18-    | 0,60                                      | "                  | 14               | 7- 21-    | 0,97                       | "                  |
| 3   | 11- 24-   | 0,21                       | Ebbestrom          | 3                | 3- 25-    | 0,71                                      | "                  |                  |           |                            |                    |
| 8 <sup>1/2</sup>  | 11- 28-   | 0,19                       | Fluthstrom         | 8 <sup>1/2</sup> | 3- 35-    | 0,69                                      | "                  |                  |           |                            |                    |
| 14  | 11- 32-   | 0,36                       | "                  | 14               | 3- 49-    | 0,59                                      | "                  |                  |           |                            |                    |

|  |         |      |            |          |      |  |         |      |            |         |      |            |
|--|---------|------|------------|----------|------|--|---------|------|------------|---------|------|------------|
| <b>16. August 1884.</b>  |         |      |            |          |      |  |         |      |            |         |      |            |
| Hochwasser 7 U. 30 M. Vm. + 4,67 m,  |         |      |            |          |      | Niedrigwasser (1 U. 30 M. Vm.) + 2,18 m. |         |      |            |         |      |            |
| Hochwasser 7 U. 55 M. Nm. + 4,68 m,  |         |      |            |          |      | Niedrigwasser 2 U. 10 M. Nm. + 2,08 m.   |         |      |            |         |      |            |
| Wind: 8 U. 30 M. Vm. N.W. 2,14 m. — 3 U. Nm. N.N.W. 2,57 m. — 9 U. Nm. N.O. 2,79 m in 1 Secunde. |         |      |            |          |      |  |         |      |            |         |      |            |
| 3  | 6U. 3M. | 0,95 | Fluthstrom | 11U.50M. | 1,91 | Ebbestrom                                | 3U.19M. | 0,63 | Ebbestrom  | 6U.12M. | 0,99 | Fluthstrom |
| 8 <sup>1/2</sup>   | 6- 11-  | 0,88 | "          | 11- 57-  | 1,37 | "  | 3- 22-  | 0,29 | "          | 6- 18-  | 0,99 | "          |
| 14   | 6- 18-  | 0,74 | "          | 12- 5-   | 1,04 | "  | 3- 26-  | 0,16 | "          | 6- 36-  | 0,70 | "          |
| 3  | 6- 25-  | 0,71 | "          | 12- 13-  | 1,92 | "  | 3- 30-  | 0,45 | "          | 6- 42-  | 0,83 | "          |
| 8 <sup>1/2</sup>   | 6- 33-  | 0,85 | "          | 12- 19-  | 1,54 | "  | 3- 34-  | 0,14 | "          | 6- 48-  | 0,89 | "          |
| 14   | 6- 45-  | 0,74 | "          | 12- 27-  | 1,16 | "  | 3- 38-  | 0,18 | Fluthstrom | 6- 55-  | 0,78 | "          |
| 3  | 6- 57-  | 0,57 | "          | 12- 35-  | 1,81 | "  | 3- 41-  | 0,22 | Ebbestrom  | 7- 2-   | 0,80 | "          |
| 8 <sup>1/2</sup>   | 7- 4-   | 0,76 | "          | 12- 41-  | 1,49 | "  | 3- 45-  | 0,10 | Fluthstrom | 7- 9-   | 0,85 | "          |
| 14   | 7- 17-  | 0,62 | "          | 12- 48-  | 0,97 | "  | 3- 49-  | 0,25 | "          | 7- 15-  | 0,77 | "          |
| 3  | 7- 24-  | 0,55 | "          | 12- 55-  | 1,58 | "  | 3- 52-  | 0,19 | Ebbestrom  | 7- 20-  | 0,72 | "          |
| 8 <sup>1/2</sup>   | 7- 32-  | 0,64 | "          | 1- 1-    | 1,18 | "  | 3- 56-  | 0,19 | Fluthstrom | 7- 23-  | 0,75 | "          |
| 14   | 7- 38-  | 0,50 | "          | 1- 8-    | 0,90 | "  | 4- 0-   | 0,34 | "          | 7- 27-  | 0,64 | "          |
| 3  | 7- 46-  | 0,46 | "          | 1- 15-   | 1,36 | "  | 4- 4-   | 0    | —          |         |      |            |
| 8 <sup>1/2</sup>   | 7- 54-  | 0,50 | "          | 1- 22-   | 1,12 | "  | 4- 8-   | 0,44 | Fluthstrom |         |      |            |
| 14   | 8- 1-   | 0,41 | "          | 1- 29-   | 0,90 | "  | 4- 12-  | 0,50 | "          |         |      |            |
| 3  | 8- 10-  | 0,21 | "          | 1- 36-   | 1,18 | "  | 4- 15-  | 0,39 | "          |         |      |            |
| 8 <sup>1/2</sup>   | 8- 18-  | 0,30 | "          | 1- 42-   | 0,98 | "  | 4- 19-  | 0,69 | "          |         |      |            |
| 14   | 8- 26-  | 0,23 | "          | 1- 50-   | 0,87 | "  | 4- 23-  | 0,59 | "          |         |      |            |
| 3  | 8- 34-  | 0    | —          | 1- 57-   | 1,13 | "  | 4- 28-  | 0,69 | "          |         |      |            |
| 8 <sup>1/2</sup>   | 8- 41-  | 0,18 | Fluthstrom | 2- 4-    | 0,98 | "  | 4- 35-  | 0,89 | "          |         |      |            |
| 14   | 8- 45-  | 0,12 | "          | 2- 11-   | 0,85 | "  | 4- 42-  | 0,77 | "          |         |      |            |
| 3  | 9- 57-  | 1,02 | Ebbestrom  | 2- 18-   | 1,17 | "  | 4- 49-  | 0,90 | "          |         |      |            |
| 8 <sup>1/2</sup>   | 10- 5-  | 0,76 | "          | 2- 25-   | 0,93 | "  | 4- 56-  | 1,02 | "          |         |      |            |
| 14   | 10- 16- | 0,52 | "          | 2- 31-   | 0,77 | "  | 5- 3-   | 1,00 | "          |         |      |            |
| 3  | 10- 23- | 1,26 | "          | 2- 38-   | 1,07 | "  | 5- 9-   | 1,18 | "          |         |      |            |
| 8 <sup>1/2</sup>   | 10- 30- | 0,90 | "          | 2- 45-   | 0,80 | "  | 5- 16-  | 1,13 | "          |         |      |            |
| 14   | 10- 40- | 0,72 | "          | 2- 52-   | 0,47 | "  | 5- 23-  | 1,02 | "          |         |      |            |
| 3  | 10- 51- | 1,66 | "          | 2- 57-   | 0,91 | "  | 5- 30-  | 1,10 | "          |         |      |            |
| 8 <sup>1/2</sup>   | 10- 58- | 1,15 | "          | 3- 1-    | 0,59 | "  | 5- 36-  | 1,28 | "          |         |      |            |
| 14   | 11- 8-  | 0,84 | "          | 3- 4-    | 0,31 | "  | 5- 44-  | 0,92 | "          |         |      |            |
| 3  | 11- 17- | 1,82 | "          | 3- 8-    | 0,75 | "  | 5- 51-  | 0,85 | "          |         |      |            |
| 8 <sup>1/2</sup>   | 11- 25- | 1,22 | "          | 3- 11-   | 0,41 | "  | 5- 58-  | 0,91 | "          |         |      |            |
| 14   | 11- 35- | 0,95 | "          | 3- 15-   | 0,20 | "  | 6- 5-   | 0,94 | "          |         |      |            |

| Tiefe<br>m  | Tageszeit | Strömung<br>in 1 Sec.<br>m | Strom-<br>richtung |
|---|-----------|----------------------------|--------------------|-----------|----------------------------|--------------------|-----------|----------------------------|--------------------|-----------|----------------------------|--------------------|
| <b>23. August 1884.</b> Hochwasser (2 U. 0 M. Vm.) + 4,80 m, Niedrigwasser 9 U. 0 M. Vm. + 1,77 m.<br>Hochwasser 2 U. 20 M. Nm. + 5,08 m, Niedrigwasser (9 U. 20 M. Nm.) + 1,71 m.<br>Wind: 10 U. Vm. O. N. O. 0,43 m. — 3 U. Nm. N. N. W. 4,26 m in 1 Secunde. |           |                            |                    |           |                            |                    |           |                            |                    |           |                            |                    |
| 3   | 5U.28M.   | 1,86                       | Ebbestrom          | 9U.13M.   | 1,13                       | Ebbestrom          | 12U.27M.  | 1,07                       | Fluthstrom         | 3U.44M.   | 0,05                       | Ebbestrom          |
| 8 1/2   | 5- 34-    | 1,22                       | "                  | 9- 6-     | 1,10                       | "                  | 12- 33-   | 1,04                       | "                  | 3- 48-    | 0,08                       | "                  |
| 14  | 5- 41-    | 0,90                       | "                  | 9- 21-    | 0,86                       | "                  | 12- 40-   | 0,97                       | "                  | 3- 53-    | 0                          | "                  |
| 3   | 5- 47-    | 1,98                       | "                  | 9- 27-    | 0,60                       | "                  | 12- 47-   | 0,98                       | "                  | 3- 57-    | 0                          | "                  |
| 8 1/2   | 5- 55-    | 1,32                       | "                  | 9- 34-    | 1,06                       | "                  | 12- 54-   | 1,01                       | "                  | 4- 2-     | 0,14                       | Ebbestrom          |
| 14  | 6- 1-     | 0,88                       | "                  | 9- 42-    | 0,51                       | "                  | 1- 0-     | 0,89                       | "                  | 4- 6-     | 0,26                       | "                  |
| 3   | 6- 7-     | 2,01                       | "                  | 9- 48-    | 0,30                       | "                  | 1- 7-     | 0,99                       | "                  | 4- 10-    | 0,44                       | "                  |
| 8 1/2   | 6- 14-    | 1,46                       | "                  | 9- 54-    | 0,71                       | "                  | 1- 13-    | 0,89                       | "                  | 4- 15-    | 0,45                       | "                  |
| 14  | 6- 21-    | 1,03                       | "                  | 9- 59-    | 0,28                       | "                  | 1- 20-    | 0,81                       | "                  | 4- 19-    | 0,31                       | "                  |
| 3   | 6- 27-    | 2,01                       | "                  | 10- 3-    | 0,03                       | Fluthstrom         | 1- 27-    | 0,95                       | "                  | 4- 25-    | 0,68                       | "                  |
| 8 1/2   | 6- 34-    | 1,47                       | "                  | 10- 8-    | 0,32                       | Ebbestrom          | 1- 33-    | 0,87                       | "                  | 4- 31-    | 0,67                       | "                  |
| 14  | 6- 41-    | 1,14                       | "                  | 10- 12-   | 0,11                       | Fluthstrom         | 1- 40-    | 0,77                       | "                  | 4- 38-    | 0,48                       | "                  |
| 3   | 6- 48-    | 1,79                       | "                  | 10- 16-   | 0,32                       | "                  | 1- 46-    | 0,92                       | "                  | 4- 44-    | 0,94                       | "                  |
| 8 1/2   | 6- 54-    | 1,36                       | "                  | 10- 21-   | 0                          | "                  | 1- 53-    | 0,74                       | "                  | 4- 51-    | 0,86                       | "                  |
| 14  | 7- 1-     | 1,03                       | "                  | 10- 26-   | 0,36                       | Fluthstrom         | 1- 59-    | 0,66                       | "                  | 4- 57-    | 0,60                       | "                  |
| 3   | 7- 7-     | 1,56                       | "                  | 10- 30-   | 0,56                       | "                  | 2- 6-     | 0,83                       | "                  | 5- 5-     | 1,26                       | "                  |
| 8 1/2   | 7- 15-    | 1,36                       | "                  | 10- 35-   | 0,42                       | "                  | 2- 12-    | 0,75                       | "                  | 5- 11-    | 0,98                       | "                  |
| 14  | 7- 21-    | 1,12                       | "                  | 10- 40-   | 0,68                       | "                  | 2- 19-    | 0,57                       | "                  | 5- 17-    | 0,74                       | "                  |
| 3   | 7- 29-    | 1,56                       | "                  | 10- 44-   | 0,71                       | "                  | 2- 25-    | 0,65                       | "                  | 5- 24-    | 1,51                       | "                  |
| 8 1/2   | 7- 35-    | 1,31                       | "                  | 10- 49-   | 0,77                       | "                  | 2- 32-    | 0,54                       | "                  | 5- 31-    | 1,18                       | "                  |
| 14  | 7- 42-    | 1,04                       | "                  | 10- 53-   | 0,90                       | "                  | 2- 38-    | 0,40                       | "                  | 5- 37-    | 0,89                       | "                  |
| 3   | 7- 48-    | 1,35                       | "                  | 10- 58-   | 0,89                       | "                  | 2- 45-    | 0,40                       | "                  | 5- 44-    | 1,82                       | "                  |
| 8 1/2   | 7- 55-    | 1,28                       | "                  | 11- 3-    | 0,98                       | "                  | 2- 52-    | 0,38                       | "                  | 5- 50-    | 1,31                       | "                  |
| 14  | 8- 1-     | 1,10                       | "                  | 11- 10-   | 1,17                       | "                  | 2- 58-    | 0,28                       | "                  | 5- 57-    | 1,02                       | "                  |
| 3   | 8- 7-     | 1,47                       | "                  | 11- 16-   | 0,97                       | "                  | 3- 3-     | 0,29                       | "                  | 6- 3-     | 1,99                       | "                  |
| 8 1/2   | 8- 14-    | 1,19                       | "                  | 11- 23-   | 1,37                       | "                  | 3- 8-     | 0,27                       | "                  | 6- 10-    | 1,36                       | "                  |
| 14  | 8- 20-    | 0,98                       | "                  | 11- 30-   | 1,15                       | "                  | 3- 12-    | 0,24                       | "                  | 6- 16-    | 0,92                       | "                  |
| 3   | 8- 28-    | 1,37                       | "                  | 11- 36-   | 0,98                       | "                  | 3- 17-    | 0,15                       | "                  | 6- 23-    | 2,02                       | "                  |
| 8 1/2   | 8- 34-    | 1,14                       | "                  | 11- 43-   | 1,15                       | "                  | 3- 21-    | 0,16                       | "                  | 6- 29-    | 1,47                       | "                  |
| 14  | 8- 41-    | 0,97                       | "                  | 11- 50-   | 0,98                       | "                  | 3- 26-    | 0,11                       | "                  | 6- 36-    | 1,02                       | "                  |
| 3   | 8- 48-    | 1,30                       | "                  | 11- 57-   | 1,04                       | "                  | 3- 30-    | 0                          | "                  | 6- 43-    | 1,87                       | "                  |
| 8 1/2   | 8- 52-    | 1,05                       | "                  | 12- 3-    | 1,12                       | "                  | 3- 35-    | 0,03                       | Fluthstrom         | 6- 50-    | 1,46                       | "                  |
| 14  | 8- 59-    | 0,80                       | "                  | 12- 13-   | 1,16                       | "                  | 3- 39-    | 0,16                       | "                  | 6- 57-    | 1,02                       | "                  |

**28. August 1884.** Hochwasser 5 U. 10 M. Vm. + 4,75 m, Niedrigwasser 11 U. 45 M. Vm. + 2,00 m.  
Hochwasser 5 U. 15 M. Nm. + 4,49 m, Niedrigwasser (11 U. 55 M. Nm.) + 1,98 m.  
Wind: 6 U. Vm. S. 4,26 m, 1 U. Nm. S. S. O., 5,14 m, 6 U. Nm. S. 5,12 m in 1 Secunde.

|       |         |      |            |         |      |            |         |      |            |         |      |            |
|-------|---------|------|------------|---------|------|------------|---------|------|------------|---------|------|------------|
| 3     | 5U.41M. | 0,26 | Fluthstrom | 8U.36M. | 1,77 | Ebbestrom  | 1U. 5M. | 0,30 | Ebbestrom  | 4U.21M. | 1,02 | Fluthstrom |
| 8 1/2 | 5- 46-  | 0,55 | "          | 8- 44-  | 1,13 | "          | 1- 10-  | 0,20 | Fluthstrom | 4- 28-  | 1,08 | "          |
| 14    | 5- 51-  | 0,38 | "          | 8- 50-  | 0,84 | "          | 1- 15-  | 0,41 | "          | 4- 34-  | 1,04 | "          |
| 3     | 5- 55-  | 0,18 | "          | 8- 58-  | 1,92 | "          | 1- 19-  | 0,17 | "          | 4- 41-  | 1,08 | "          |
| 8 1/2 | 6- 0-   | 0,40 | "          | 9- 5-   | 1,27 | "          | 1- 24-  | 0,40 | "          | 4- 48-  | 1,02 | "          |
| 14    | 6- 5-   | 0,30 | "          | 9- 13-  | 0,92 | "          | 1- 28-  | 0,48 | "          | 4- 55-  | 1,09 | "          |
| 3     | 6- 9-   | 0,13 | "          | 9- 21-  | 1,77 | "          | 1- 36-  | 0,33 | "          | 5- 2-   | 0,74 | "          |
| 8 1/2 | 6- 14-  | 0,30 | "          | 9- 29-  | 1,46 | "          | 1- 40-  | 0,65 | "          | 5- 8-   | 1,09 | "          |
| 14    | 6- 18-  | 0,19 | "          | 9- 40-  | 1,09 | "          | 1- 45-  | 0,61 | "          | 5- 14-  | 1,01 | "          |
| 3     | 6- 22-  | 0    | "          | 9- 47-  | 1,63 | "          | 1- 50-  | 0,55 | "          | 5- 20-  | 0,54 | "          |
| 8 1/2 | 6- 26-  | 0,19 | Fluthstrom | 9- 54-  | 1,36 | "          | 1- 54-  | 0,80 | "          | 5- 24-  | 0,99 | "          |
| 14    | 6- 31-  | 0,17 | "          | 10- 0-  | 1,19 | "          | 1- 59-  | 0,99 | "          | 5- 29-  | 0,92 | "          |
| 3     | 6- 35-  | 0,19 | Ebbestrom  | 10- 8-  | 1,58 | "          | 2- 4-   | 0,76 | "          | 5- 33-  | 0,45 | "          |
| 8 1/2 | 6- 40-  | 0,19 | Fluthstrom | 10- 15- | 1,39 | "          | 2- 9-   | 1,02 | "          | 5- 38-  | 0,92 | "          |
| 14    | 6- 45-  | 0,14 | "          | 10- 22- | 1,13 | "          | 2- 13-  | 0,93 | "          | 5- 43-  | 0,83 | "          |
| 3     | 6- 49-  | 0,33 | Ebbestrom  | 10- 30- | 1,57 | "          | 2- 19-  | 0,92 | "          | 5- 49-  | 0,26 | "          |
| 8 1/2 | 6- 54-  | 0,17 | "          | 10- 37- | 1,33 | "          | 2- 26-  | 1,13 | "          | 5- 55-  | 0,72 | "          |
| 14    | 6- 58-  | 0,16 | "          | 10- 44- | 1,06 | "          | 2- 33-  | 0,80 | "          | 6- 1-   | 0,76 | "          |
| 3     | 7- 3-   | 0,47 | "          | 10- 51- | 1,51 | "          | 2- 40-  | 1,22 | "          | 6- 5-   | 0,19 | "          |
| 8 1/2 | 7- 7-   | 0,28 | "          | 10- 59- | 1,28 | "          | 2- 47-  | 1,09 | "          | 6- 9-   | 0,90 | "          |
| 14    | 7- 11-  | 0,24 | "          | 11- 6-  | 0,98 | "          | 2- 54-  | 0,53 | "          | 6- 15-  | 0,58 | "          |
| 3     | 7- 16-  | 0,72 | "          | 11- 13- | 1,44 | "          | 3- 1-   | 1,28 | "          | 6- 20-  | 0    | "          |
| 8 1/2 | 7- 20-  | 0,44 | "          | 11- 20- | 1,16 | "          | 3- 8-   | 1,41 | "          | 6- 26-  | 0,60 | Fluthstrom |
| 14    | 7- 25-  | 0,33 | "          | 11- 29- | 0,94 | "          | 3- 14-  | 1,51 | "          | 6- 30-  | 0,43 | "          |
| 3     | 7- 30-  | 0,92 | "          | 11- 37- | 1,29 | "          | 3- 21-  | 1,30 | "          | 6- 34-  | 0,13 | Ebbestrom  |
| 8 1/2 | 7- 38-  | 0,72 | "          | 11- 44- | 1,01 | "          | 3- 28-  | 1,40 | "          | 6- 39-  | 0,39 | Fluthstrom |
| 14    | 7- 46-  | 0,48 | "          | 12- 0-  | 0,76 | "          | 3- 34-  | 1,17 | "          | 6- 44-  | 0,19 | "          |
| 3     | 7- 54-  | 1,13 | "          | 12- 15- | 1,01 | "          | 3- 41-  | 1,07 | "          | 6- 49-  | 0,16 | Ebbestrom  |
| 8 1/2 | 8- 0-   | 0,90 | "          | 12- 22- | 0,75 | "          | 3- 48-  | 1,28 | "          | 6- 53-  | 0,19 | Fluthstrom |
| 14    | 8- 7-   | 0,68 | "          | 12- 28- | 0,42 | "          | 3- 55-  | 1,11 | "          | 6- 58-  | 0,19 | "          |
| 3     | 8- 15-  | 1,40 | "          | 12- 35- | 0,81 | "          | 4- 1-   | 0,95 | "          |         |      | "          |
| 8 1/2 | 8- 22-  | 1,03 | "          | 12- 53- | 0,23 | "          | 4- 8-   | 1,10 | "          |         |      | "          |
| 14    | 8- 29-  | 0,76 | "          | 1- 0-   | 0,16 | Fluthstrom | 4- 14-  | 1,15 | "          |         |      | "          |



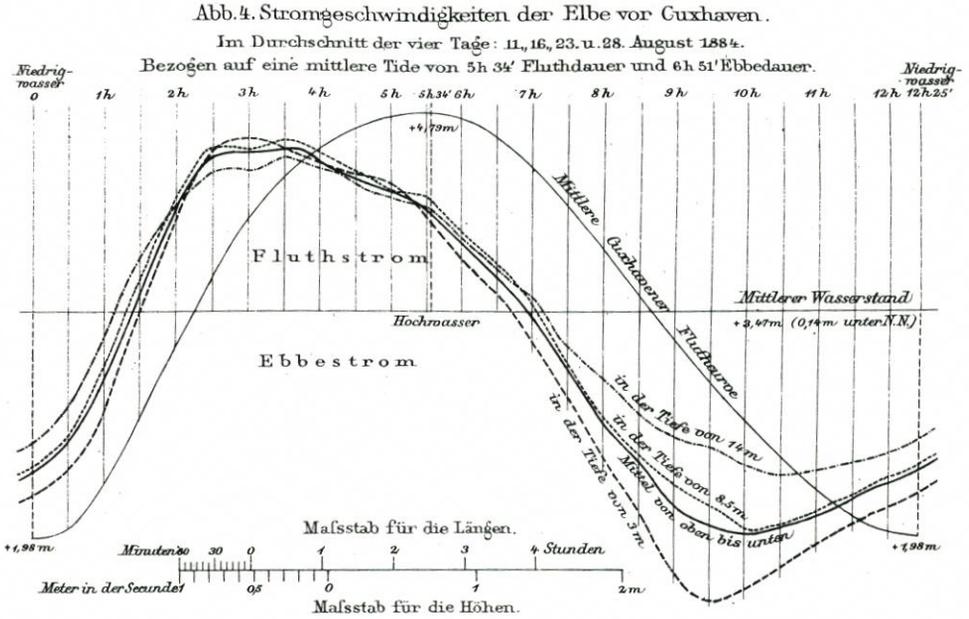
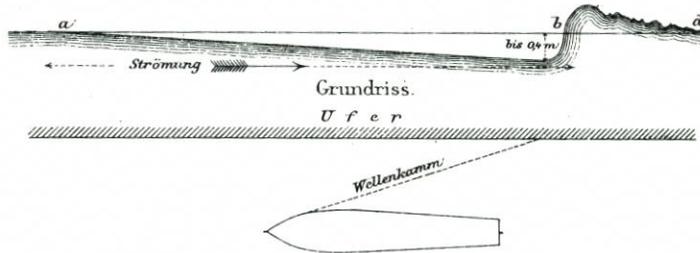


Abb. 5.



Wasser und bildet ein Wellenthal, welches seinerseits vor dem Schiffe eine gegen dasselbe gerichtete Strömung bewirkt. An dem steilen Ufer bildet sich dann ein Profil, wie es in Abb. 5 dargestellt ist. Die Senkung unter den ungestörten Wasserspiegel *ab* kann man bei *b* bis zu 0,4 m beobachten und die Strömung auf der Strecke *ab* wächst von *a* nach *b* und ist bei letzterem Punkte lebhaft. Zwischen *b* und *d* ist die Zeichnung ungenau, weil das Wasser hier heftige, schäumende Bewegungen macht, aber jedenfalls erhebt es sich bei *b* über den ungestörten Wasserspiegel und kann nur auf diese Höhe gelangen, indem es aus dem Wellenthal *ab* hinauffließt. Derselbe Hergang findet auf offenen Wasserflächen statt. In dem seichten Meerestheile zwischen Rügen und Hiddens-Oe sah der Verfasser die zur Bezeichnung des Fahrwassers dienenden senkrechten, schwimmenden Spieren, vollständig der Strömung auf der Strecke *ab* entsprechend, dem Schiffe sich entgegenneigen, sowie dasselbe in ihre Nähe gelangte, und daraus folgt, daß auch die bergan gerichtete Strömung wie bei *b* vorhanden gewesen sein muß. In beiden Fällen sind die Erscheinungen dieselben wie in der Fluthwelle, nur machen sie in dieser einen viel räthselhafteren Eindruck, weil sie unübersehbar sind.

Verfolgt man die Linie der mittleren Geschwindigkeit in Abb. 4 weiter vom Stromwech-

sel nach Niedrigwasser, so fällt ihre unregelmäßige Form auf. Bis  $2\frac{1}{2}$  Stunden nach Niedrigwasser wächst die Strömung schnell, dann langsam und ist während der Fluth am stärksten, 1,07 m in der Secunde, etwa  $3\frac{1}{2}$  Stunden nach Niedrigwasser. In den nächsten zwei Stunden, bis Hochwasser, nimmt sie nur wenig ab, dann schneller bis zum Stromstillstande; der Ebbestrom setzt ein und erreicht, ziemlich stetig wachsend, seine größte Schnelligkeit mit 1,48 m in der Secunde 10 Stunden nach Niedrigwasser. Die Abnahme des Ebbestromes erfolgt erst langsamer, in den  $2\frac{1}{2}$  Stunden bis Niedrigwasser auf 1,06 m in der Secunde, und darauf schneller in 1 St. 22 M. bis zum Stromstillstande. Gegenüber der so regelmäßigen Fluthlinie sind diese Unregelmäßigkeiten der Strömung nur durch die eigenthümliche Gestaltung des Strombettes zu erklären. Die Elbe fließt bei Cuxhaven in zwei Armen, zwischen denen niedrige Sandbänke und weite Wasserflächen eingeschlossen sind. Um die Zeit, wenn die Stärke des Fluthstromes fast aufhört zu wachsen,  $2\frac{1}{2}$  Stunden nach Niedrigwasser, hat das Wasser eben seine mittlere Höhe erreicht und bedeckt die Sände nahezu vollständig. Vielleicht wird dann über diese Sände hinweg den oberen Stromtheilen Wasser zugeführt, wodurch im Cuxhavener Arm die Strömung geschwächt werden müßte. Während der zweiten Hälfte der Ebbe fällt ein starker Strom aus dem Cuxhavener Stromarme quer über die Sände in die zwischen denselben befindlichen Wasserflächen, welche nach unten ihren Abfluß haben, und diese Thatsache steht im Zusammenhange mit der überwiegenden Bedeutung des südlichen Armes für die Ebbeströmung. Ueberschlägliche Berechnungen, welche mit Hülfe der mittleren Geschwindigkeitslinie angestellt sind, ergeben nämlich, daß während der Ebbe durch den Cuxhavener Arm etwa 320 Millionen Cubikmeter – während des stärksten Ebbestromes etwa 20 000 cbm in der Secunde – abwärts fließen, während der Fluth aber nur etwa 220 Millionen Cubikmeter aufwärts. Von dem Mehr von 100 Millionen Cubikmeter trifft ungefähr der fünfte Theil auf dasjenige Wasser, welches die Elbe während der Tide dem Fluthgebiet zugeführt hat, und der Rest von 75 Millionen kann nur daher rühren, daß die Richtung des Cuxhavener Elbarmes den Abfluß des Ebbewassers gegenüber dem nördlichen Arme begünstigt.

Ein mittelbarer Beweis für den großen Einfluß der Gestaltung des Strombettes auf die unregelmäßige Form der Geschwindigkeitslinie bei Cuxhaven findet sich in den Ergebnissen der weiter seewärts angestellten Geschwindigkeitsmessungen. Vier Seemeilen unterhalb Cuxhaven ist die Elbe wieder in einem einzigen Stromschlauche vereinigt, den sie auf einer Länge von 10 Seemeilen in fast gerader Linie verfolgt. Auf dieser Strecke, deren Breite zwischen den Tiefenlinien von 10 m bei Niedrigwasser 1500 m beträgt, liegen das dritte und das zweite Elbfeuerschiff, 8 bzw. 12 Seemeilen von Cuxhaven entfernt, und von der Besatzung dieser Schiffe sind die Stromgeschwindigkeiten vom 1. September bis 31. December 1883 von Stunde zu Stunde mit dem Log gemessen worden. Die Messungen zeigen vielfach große Abweichungen unter einander, wie solche durch Stürme und Sturmfluthen auch unzweifelhaft veranlaßt werden müssen, geben jedoch in den Mittelzahlen, auch schon für kürzere Zeitabschnitte, sehr stetig verlaufende Linien. Nachstehend sind dieselben, auf eine mittlere Tide bezogen, für jedes der beiden Feuerschiffe zusammengestellt. In Abb. 6 sind sie aufgezeichnet.

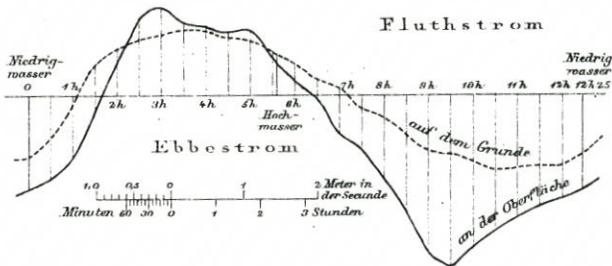
Diese Linien unterscheiden sich von der Cuxhavener Geschwindigkeitslinie nicht nur durch ihre große Regelmäßigkeit, sondern auch durch ein ganz anderes Verhältnis des Fluthstromes zum Ebbestrom. Die stärkste Fluthströmung ist beim zweiten und dritten Feuerschiff 1,21 bzw. 0,96 m, die stärkste Ebbeströmung 1,50 bzw. 1,20 m in der Secunde; letztere also nur um ein Viertel stärker. Bei Cuxhaven dagegen sind die entsprechenden Zahlen 1,18 und 2,32 m, wonach der Ebbestrom fast die doppelte Stärke des Fluthstromes erreicht. Diese Verschiedenheiten ruft ohne Zweifel die Stromspaltung bei Cuxhaven hervor, denn sie können nicht etwa durch Eigenthümlichkeiten der Strömung an dem Punkte, an dem die



an einer einzelnen Stelle angestellt, doch die Eigenart des südlichen Elbearmes bei Cuxhaven im allgemeinen wiedergeben.

Wenn man zur Betrachtung der Geschwindigkeitslinien für die verschiedenen Tiefen übergeht, so stößt man auf merkwürdige, räthselhafte Thatsachen. Während des Ebbestromes nehmen die Geschwindigkeiten in der gewöhnlichen Weise von oben nach unten ab, aber während des Fluthstromes gehen die Linien mehrfach durcheinander, sodaß die größte Geschwindigkeit bald auf dem Grunde, bald in der Oberfläche oder in der mittleren Tiefe von 8,5 m liegt. Ermittelt man, wie auf den Seiten 214 bis 218 für einige Zeitpunkte geschehen, die Geschwindigkeiten an der Oberfläche und auf dem Flußbett für sämtliche halbe Stunden der Tide, so ergeben sich die in Abb. 7 aufgezeichneten Linien, welche die sonderbaren Wandlun-

Abb. 7.  
Mittlere Geschwindigkeiten an der Oberfläche und auf dem Grunde.  
Ermittelt aus den vor Cuxhaven gemessenen Geschwindigkeiten.



gen in dem Verhältnis der Strömungen zu einander klar übersehen lassen. Wenn diese Linien auch nicht ganz genau sind, so genügen sie doch gewiß, um den wirklichen Thatbestand übersichtlich darzustellen. Zur Zeit des Niedrigwassers ist demnach der Strom an der Oberfläche um die Hälfte stärker als auf dem Grunde (1,30 bzw. 0,84 m), und da die Abnahme auf beiden Stellen gleichmäßig erfolgt, so ist auf dem Grunde schon 1 St. 6 Min. später Stromwechsel, während der Strom an der Oberfläche noch mit 0,74 m in der Secunde abwärts läuft. Nach weiteren 32 Minuten kentert hier erst der Strom und der einsetzende Fluthstrom wächst soviel schneller als auf dem Grunde, daß 2 St. 12 Min. nach Niedrigwasser die Strömungen oben und unten einander gleich sind. Reichlich 3 Stunden behauptet die Strömung an der Oberfläche ein, wenn auch nur geringes Uebergewicht. Darauf nimmt sie schneller ab als auf dem Grunde und hört 52 Minuten nach Hochwasser ganz auf. Die Strömung auf dem Grunde gelangt erst 1 St. 36 Min. nach Hochwasser zum Stillstande, nachdem an der Oberfläche der Ebbestrom schon die Geschwindigkeit von 0,55 m in der Secunde erlangt hat. Die Oberflächenströmung fährt unausgesetzt fort, sehr schnell zu wachsen, und ist 9½ Stunden nach Niedrigwasser am stärksten, nämlich 2,32 m in der Secunde; gleichzeitig auf dem Grunde nur 0,80 m in der Secunde. Auf dem Grunde ist die Strömung mit 0,99 m am stärksten um 10½ und 11 Stunden nach Niedrigwasser, also über eine Stunde später als an der Oberfläche. Nach diesem Zeitpunkte nehmen die Strömungen in der ganzen Tiefe ziemlich gleichmäßig ab, um mit Niedrigwasser denselben Kreislauf aufs neue zu beginnen.

Bei diesem eigenthümlichen Hergange ist namentlich zweierlei auffällig: daß die Strömungen an der Oberfläche und auf dem Grunde während der Fluth ein ganz anderes Verhältnis zu einander zeigen als während der Ebbe, und daß die Fluthströmung früher auf dem Grunde als auf der Oberfläche, die Ebbestömung aber früher an der Oberfläche als auf

dem Grunde einsetzt. Beides könnte man durch einen Widerwillen des Oberflächenwassers, der Quelle entgegenzufließen, erklären, wenn eine derartige Erklärung überhaupt an und für sich einen Sinn hätte.

Die Vermuthung liegt nahe, daß diese überraschenden Erscheinungen durch Verschiedenheiten im specifischen Gewicht des Wassers an der Oberfläche und in der Tiefe hervorgerufen werden, und der nächste Abschnitt macht sich zur Aufgabe, die Abhängigkeit des specifischen Gewichtes von der Tiefe und den sonstigen darauf einwirkenden Umständen festzustellen.

## 2. Der Salzgehalt oder das specifische Gewicht

Das specifische Gewicht oder, was dasselbe sagt, der Salzgehalt des Wassers im Fluthgebiet ist nicht nur, wie die Strömungen, veränderlich mit der Zeit in der Tide und mit der Höhe der Tiden, sondern er wechselt auch mit der Menge des Wassers, welche der Strom aus seinem oberen Theile dem Fluthgebiete zuführt.

Da die Menge des Oberwassers täglich eine andere ist und da zu ermitteln bleibt, innerhalb welches Zeitraumes die Veränderungen im Wasserstande des oberen Stromes sich im unteren Theile des Fluthgebiets zu erkennen geben, so werden die gesetzlichen Aenderungen im specifischen Gewicht des Wassers der Elbe bei Cuxhaven sich nur aus längeren Beobachtungsreihen bestimmen lassen.

Um zunächst eine Grundlage, gleichsam einen Maßstab, für die Untersuchungen zu gewinnen, ist während eines halben Jahres täglich sechsmal das specifische Gewicht des Wassers von dem Verfasser gemessen worden. Der bei der Baggerei beschäftigte Dampfer, welcher an jedem Wochentage 15 bis 20 Schuten in die Mitte des Fahrwassers zu schleppen hatte, wurde beauftragt, dort täglich annähernd zu denselben Tagesstunden, um 7, 9, 11, 1, 3 und 5 Uhr, eine Flasche mit Wasser an der Oberfläche zu schöpfen und abends abzuliefern. Einzelne Unterbrechungen kamen dabei vor und sind, soweit sie ganze Tage betreffen, bei den späteren Zusammenstellungen berücksichtigt worden.

Das specifische Gewicht der abgelieferten Wasserproben wurde, gewöhnlich am nächsten Morgen, mit einem Aräometer von L. STEGER in Kiel bestimmt, auf  $17\frac{1}{2}$  °C. bezogen und auf Tausendstel abgerundet. Beispielsweise folgen die Ergebnisse eines Tages:

19. Juli 1884.

|                                | 6 U. 35 M. | 8 U. 55 M. | 11 U. 0 M. | 1 U. 40 M. | 3 U. 30 M. | 4 U. 40 M. |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Tageszeit . . . . .            |            |            |            |            |            |            |
| Specifisches Gewicht . . . . . | 1,0116     | 1,0146     | 1,0163     | 1,0108     | 1,0102     | 1,0092     |
| Temperatur . . . . .           | 19,5 ° C.  | 19,6 ° C.  | 19,8 ° C.  | 19,7 ° C.  | 19,9 ° C.  | 19,7 ° C.  |
| Berichtigung . . . . .         | + 0,0004   | + 0,0004   | + 0,0005   | + 0,0004   | + 0,0005   | + 0,0004   |
| Ergebnis . . . . .             | 1,012      | 1,015      | 1,017      | 1,011      | 1,011      | 1,010      |

Die Beobachtungen der einzelnen Tage wurden in eine Tabelle eingetragen, welche 13 Spalten hatte: die erste für Niedrigwasser, die folgenden für 1, 2, 3, 4, 5 Stunden nach Niedrigwasser, die siebente für Hochwasser und die sechs letzten für 1, 2, 3, 4, 5, 6 Stunden nach Hochwasser. Jede Beobachtung wurde in die entsprechende Spalte geschrieben. Am 19. Juli war Niedrigwasser um 3 U. 27 M.Vm. und 4 U. 9 M.Nm., Hochwasser um 9 U. 12 M.Vm., wonach für diesen Tag, dem einige der folgenden beigefügt sind, nachstehende Eintragungen erfolgten:

| 1884     | Niedrig-<br>wasser | Stunden nach Niedrigwasser |       |       |       |       | Hoch-<br>wasser | Stunden nach Hochwasser |       |       |       |       |       |
|----------|--------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          |                    | 1                          | 2     | 3     | 4     | 5     |                 | 1                       | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| 19. Juli | —                  | 1,010                      | —     | 1,012 | —     | —     | 1,015           | —                       | 1,017 | —     | 1,011 | —     | 1,011 |
| 21. "    | —                  | 1,008                      | —     | 1,013 | —     | 1,015 | —               | —                       | —     | —     | 1,013 | —     | 1,011 |
| 22. "    | 1,009              | —                          | 1,008 | —     | 1,016 | —     | —               | 1,012                   | —     | 1,012 | —     | 1,012 | —     |
| 23. "    | —                  | 1,009                      | —     | —     | 1,016 | —     | 1,017           | —                       | 1,017 | —     | 1,013 | —     | 1,012 |
| 24. "    | 1,010              | —                          | 1,012 | —     | —     | 1,017 | —               | —                       | 1,018 | —     | 1,013 | 1,011 | —     |
| 25. "    | 1,011              | —                          | 1,012 | —     | 1,018 | —     | —               | 1,019                   | —     | 1,018 | —     | 1,013 | —     |
| 26. "    | —                  | 1,009                      | —     | —     | 1,016 | —     | 1,017           | 1,016                   | —     | —     | 1,014 | —     | 1,013 |
| 28. "    | 1,012              | —                          | 1,009 | —     | 1,015 | —     | 1,015           | —                       | —     | 1,015 | —     | 1,012 | —     |
| 29. "    | 1,011              | —                          | 1,010 | —     | 1,014 | —     | 1,015           | —                       | 1,016 | —     | 1,012 | —     | —     |
| 30. "    | —                  | —                          | 1,011 | —     | 1,017 | —     | 1,018           | 1,016                   | —     | 1,016 | —     | 1,013 | —     |

Die Abweichungen zwischen den Zahlen einer und derselben Spalte sind oft sehr groß, größer als zwischen zwei benachbarten Spalten, und eine noch weitergehende Trennung, etwa nach halben Stunden, erschien deshalb unzweckmäßig. Zum Theil sind die Abweichungen durch die Verschiedenheiten in der Fluth- und Ebbedauer veranlaßt, und um diese auf das geringste Maß herabzudrücken, ist nicht von den beobachteten, sondern von den berechneten<sup>1)</sup> Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser abgezählt. Unter gewöhnlichen Witterungsverhältnissen werden dadurch freilich nur Unterschiede von wenigen Minuten veranlaßt, bei Sturmfluthen dagegen betragen sie häufig eine halbe Stunde und darüber. In solchen Fällen erscheint es aber richtiger, die berechneten und nicht die beobachteten Eintrittszeiten gelten zu lassen, weil der frühere oder spätere Eintritt von Hoch- und Niedrigwasser nicht durch die Fluthwelle, sondern durch die Sturmwelle bewirkt wird, obgleich beide als ein unzertrennliches Ganzes auftreten. Uebrigens sind bei Sturmfluthen regelwidrige Abweichungen unter allen Umständen nicht ganz zu vermeiden, denn z. B. am 27. October 1884 war 3 Stunden nach einem Hochwasser, welches die mittlere Höhe um 2,32 m überschritten hatte, das spezifische Gewicht 1,023, während es der Regel nach nur etwa 1,017 hätte betragen dürfen. Die Beobachtungen erstreckten sich in vorstehend beschriebener Weise über den Zeitraum vom 14. Mai bis 15. November 1884. Nachstehende Tabelle enthält die daraus gewonnenen 12 Halbmonatsmittel.

Die zwölf Zeiträume sind nach der Höhe des Oberwasserstandes geordnet und das spezifische Gewicht nimmt deshalb von oben nach unten zu, von 1,0126 bis 1,0162. Zeichnet man die Werthe der einzelnen Zeiträume auf, so erhält man ähnliche, wenn auch mehr oder weniger unregelmäßige Linien, welche sämtlich mit der in Abb. 8a dargestellten mittleren, alle sechs Monate umfassenden Linie im wesentlichen übereinstimmen. Diese mittlere Linie verläuft durchaus stetig; sie zeigt das niedrigste spezifische Gewicht beim Stromwechsel nach Niedrigwasser, das höchste beim Stromwechsel nach Hochwasser und außerdem mehrere Biegungen, deren Ursache unbekannt ist. Wahrscheinlich werden dieselben, ebenso wie ähnliche in den Geschwindigkeitslinien, durch die Wirkungen der verschiedenen Stromarme auf einander veranlaßt, und es ist zu vermuthen, daß oberhalb der Stromspaltung, etwa bei Brunsbüttel, in dieser Beziehung durchsichtigere Ergebnisse gefunden werden würden.

Da der Wechsel im spezifischen Gewicht des Oberflächenwassers allein keinenfalls Aufschluß über die mit der Tiefe veränderlichen Strömungen gewähren konnte, mußten die

<sup>1)</sup> Die Grundlagen der Berechnung sind von dem Verfasser veröffentlicht in „Von der Fluth und Ebbe des Meeres“, Hamburg 1873, und werden seitdem zur Aufstellung der amtlichen Fluth Tabellen benutzt.

## Specificisches Gewicht des Oberflächenwassers vor Cuxhaven.

| 1884                                | Zehntausendstel über Eins |                            |     |     |     |     |                 |                         |     |      |     |     | Mittel<br>der<br>Tide |         |
|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----------------|-------------------------|-----|------|-----|-----|-----------------------|---------|
|                                     | Niedrig-<br>wasser        | Stunden nach Niedrigwasser |     |     |     |     | Hoch-<br>wasser | Stunden nach Hochwasser |     |      |     |     |                       |         |
|                                     |                           | 1                          | 2   | 3   | 4   | 5   |                 | 1                       | 2   | 3    | 4   | 5   |                       | 6       |
| 1. bis 15. Juli . . .               | 103                       | 78                         | 89  | 130 | 150 | 160 | 162             | 162                     | 165 | 129  | 107 | 110 | 108                   | 1,0126  |
| 1. bis 15. November . .             | 102                       | 88                         | 94  | 106 | 150 | 150 | 155             | 174                     | 168 | 153  | 122 | 120 | 114                   | 1,0129  |
| 14. bis 31. Mai . . .               | 99                        | 83                         | 104 | 130 | 156 | 172 | 168             | 165                     | 156 | 140. | 119 | 113 | 107                   | 1,0130  |
| 16. bis 31. Juli . . .              | 104                       | 90                         | 102 | 133 | 160 | 160 | 161             | 156                     | 172 | 147  | 128 | 121 | 116                   | 1,0133  |
| 1. bis 15. August . . .             | 113                       | 104                        | 106 | 147 | 163 | 168 | 163             | 170                     | 163 | 156  | 133 | 127 | 122                   | 1,0140  |
| 16. bis 30. Juni . . .              | 112                       | 107                        | 115 | 137 | 162 | 170 | 157             | 175                     | 164 | 152  | 136 | 133 | 123                   | 1,0141  |
| 1. bis 15. Juni . . .               | 118                       | 110                        | 110 | 140 | 162 | 180 | 172             | 175                     | 168 | 157  | 137 | 134 | 123                   | 1,0144  |
| 16. bis 30. September . .           | 135                       | 120                        | 137 | 146 | 185 | 182 | 183             | 183                     | 184 | 165  | 147 | 147 | 146                   | 1,0157  |
| 16. bis 31. October . . .           | 128                       | 126                        | 136 | 155 | 166 | 169 | 180             | 181                     | 192 | 159  | 167 | 142 | 150                   | 1,0157  |
| 16. bis 31. August . . .            | 136                       | 126                        | 135 | 155 | 176 | 175 | 183             | 180                     | 176 | 190  | 152 | 142 | 143                   | 1,0158  |
| 1. bis 15. October . . .            | 134                       | 127                        | 136 | 155 | 180 | 177 | 186             | 182                     | 179 | 167  | 152 | 148 | 142                   | 1,0158  |
| 1. bis 15. September . .            | 141                       | 130                        | 130 | 154 | 184 | 180 | 192             | 187                     | 186 | 171  | 153 | 153 | 155                   | 1,0162  |
| 14. Mai bis<br>15. November } . . . | 119                       | 108                        | 115 | 141 | 166 | 170 | 171             | 174                     | 172 | 154  | 138 | 132 | 130                   | 1,01445 |

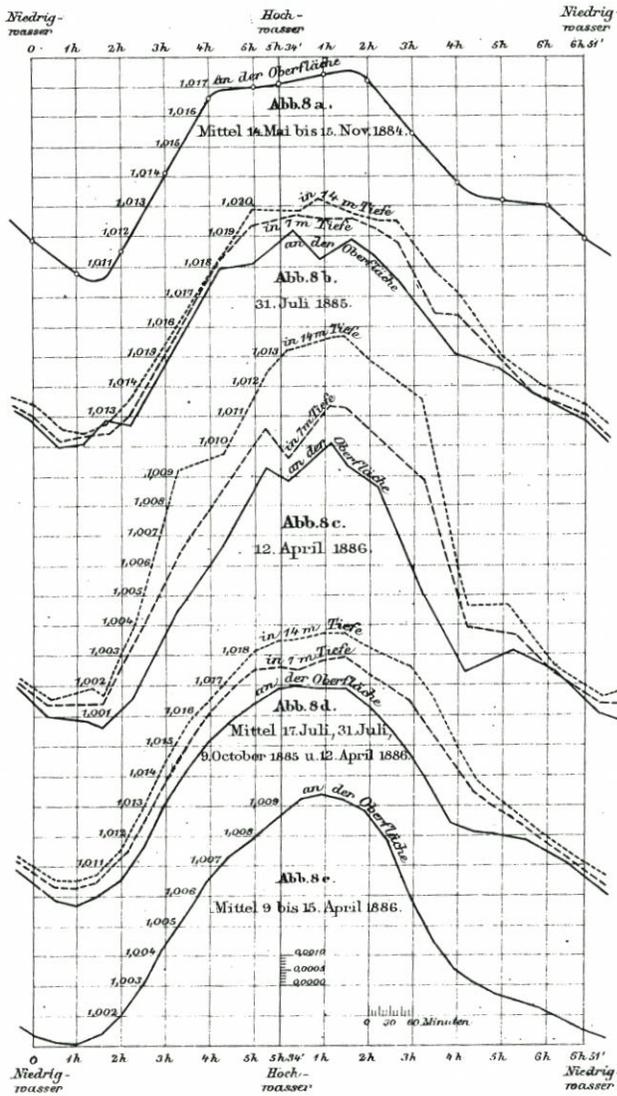
## Anzahl der Beobachtungen.

|                                     | Anzahl der Beobachtungen. |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Summe |
|-------------------------------------|---------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| 1. bis 15. Juli . . .               | 3                         | 5  | 7  | 5  | 8  | 4  | 5  | 6  | 4  | 7  | 6  | 6  | 5  | 71    |
| 1. bis 15. November . .             | 5                         | 5  | 8  | 5  | 8  | 4  | 4  | 7  | 6  | 6  | 8  | 5  | 7  | 78    |
| 14. bis 31. Mai . . .               | 8                         | 6  | 5  | 6  | 5  | 6  | 5  | 6  | 9  | 8  | 7  | 6  | 6  | 83    |
| 16. bis 31. Juli . . .              | 7                         | 6  | 8  | 4  | 8  | 3  | 10 | 5  | 6  | 6  | 8  | 7  | 5  | 83    |
| 1. bis 15. August . . .             | 6                         | 5  | 7  | 6  | 6  | 4  | 7  | 5  | 7  | 7  | 6  | 7  | 5  | 78    |
| 16. bis 30. Juni . . .              | 4                         | 4  | 6  | 4  | 5  | 3  | 4  | 4  | 5  | 5  | 5  | 6  | 3  | 58    |
| 1. bis 15. Juni . . .               | 6                         | 5  | 4  | 4  | 4  | 5  | 5  | 2  | 6  | 4  | 6  | 5  | 3  | 59    |
| 16. bis 30. September . .           | 6                         | 7  | 7  | 5  | 6  | 5  | 6  | 6  | 5  | 6  | 7  | 3  | 7  | 76    |
| 16. bis 31. October . . .           | 6                         | 7  | 5  | 8  | 7  | 8  | 3  | 7  | 5  | 9  | 6  | 6  | 7  | 84    |
| 16. bis 31. August . . .            | 5                         | 7  | 6  | 4  | 9  | 2  | 6  | 4  | 11 | 1  | 11 | 4  | 7  | 77    |
| 1. bis 15. October . . .            | 5                         | 6  | 5  | 6  | 5  | 3  | 5  | 4  | 7  | 6  | 8  | 5  | 6  | 71    |
| 1. bis 15. September . .            | 7                         | 4  | 7  | 5  | 7  | 3  | 4  | 6  | 7  | 7  | 3  | 7  | 4  | 71    |
| 14. Mai bis<br>15. November } . . . | 68                        | 67 | 75 | 62 | 78 | 50 | 64 | 62 | 78 | 72 | 81 | 67 | 65 | 889   |

Bemerkung. Die Mittelzahlen des spezifischen Gewichtes in der letzten Spalte sind nicht unmittelbar aus obigen Zahlen gefunden worden, sondern aus daraus abgeleiteten Werthen, welche gleichmäßig über die ganze Tide vertheilt waren.

Untersuchungen auf das Wasser der unteren Schichten ausgedehnt werden. Zu dem Zwecke wurde eine einfache, auch sonst übliche Vorrichtung benutzt. Eine mit Tauwerk umflochtene Flasche trug unten ein Bleigewicht und war oben an einer Leine befestigt, an welcher der Stöpsel hing. An der Leine wurde die Tiefe, in der Wasser geschöpft werden sollte, abgemessen, der Stöpsel lose aufgesetzt und dann die Flasche über Bord geworfen. Wenn die Leine straff wurde, erfolgte ein Ruck, der Stöpsel löste sich und die Flasche lief voll Wasser. Die anfängliche Besorgniß, der Stöpsel könne sich zu früh lösen, wurde durch gewisse Erscheinungen, welche das aus der Tiefe gehobene Wasser auszeichneten, beseitigt. Wurde nämlich das Wasser, zum Zwecke der Untersuchung, aus der Flasche in ein weißes Glas gegossen, so entwickelten sich nach einiger Zeit kleine Blasen, und zwar häufig in solcher Menge, daß das im Wasser schwimmende Aräometer nicht abzulesen und kaum zu sehen war. Die Menge der Blasen wuchs mit der Tiefe und in den meisten Fällen ermöglichte sie zu bestimmen, ob das Wasser von der Oberfläche, aus der Tiefe von 7 oder 14 m geschöpft war. Es konnten diese Blasen auch nicht mit den während es Einschenkens entstehenden Blasen verwechselt werden, denn sie erschienen erst später, waren viel kleiner und alle von gleicher Größe. Bei einer aus 14 m Tiefe geschöpften Probe zeigte sich in einem Falle, daß die

Abb. 8.  
 Specificisches Gewicht des Wassers  
 der Elbe vor Cuxhaven.



Blasenentwicklung 12 Secunden nach dem Einschenken begann und dann während 93 Secunden anhielt, wobei sie erst allmählich stärker und dann allmählich wieder schwächer wurde, bis sie ganz aufhörte.

Die Proben aus der Tiefe wurden gleichfalls von Bord des erwähnten Dampfers mitten im Fahrwasser genommen und zwar nachdem derselbe zum Stillstand gebracht war und völlig ohne Eigenbewegung mit der Strömung trieb. Drei Leute schöpften gleichzeitig von der Oberfläche, aus der Tiefe von 7 und von 14 m, und sowie diese Proben in andere Flaschen übergossen und verkorkt waren, wurden abermals, also so nahe wie möglich an derselben Stelle im Wasser, drei Proben aufgeholt. Z. B.:

9. October 1885. Niedrigwasser 7 U. 50 M. Vm. Wind: Süd, 4,24 m in der Secunde.

| Tageszeit      | Tiefe<br>m | Specificches<br>Gewicht | Temperatur | Berichtigung<br>für 17,5 ° C | Ergebnis | Specificches<br>Gewicht<br>größer als an der<br>Oberfläche |
|----------------|------------|-------------------------|------------|------------------------------|----------|--|
| 7 U. 29 M. Vm. | 0          | 1,0151                  | 12,4 ° C.  | — 0,0008                     | 1,0143   | —  |
| "              | 7          | 1,0156                  | 12,7 ° C.  | — 0,0007                     | 1,0149   | + 0,0006   |
| "              | 14         | 1,0160                  | 11,9 ° C.  | — 0,0008                     | 1,0152   | + 0,0069   |
| 7 U. 30 M. Vm. | 0          | 1,0152                  | 12,2 ° C.  | — 0,0008                     | 1,0144   | —  |
| "              | 7          | 1,0157                  | 12,4 ° C.  | — 0,0008                     | 1,0149   | + 0,0005   |
| "              | 14         | 1,0159                  | 12,6 ° C.  | — 0,0008                     | 1,0151   | + 0,0007   |

Diese Messungen wurden während der zwölf Tagesstunden stündlich wiederholt und um die Zeit des Stromwechsels häufiger, sodaß an einem Tage 15 bis 17mal sechs Flaschen gefüllt wurden. Die damit verbundenen Arbeiten waren ziemlich zeitraubend und es sind deshalb nur an vier Tagen die Untersuchungen in dieser Vollständigkeit angestellt. Die daraus gewonnenen Ergebnisse folgen nachstehend, zusammen mit denen einiger Tage, an welchen das spezifische Gewicht 12 bis 15 mal nur an der Oberfläche ermittelt wurde.

## Specificches Gewicht des Elbwassers vor Cuxhaven.

| Tag                                  | Tiefe<br>m | In Hunderttausendstel über Eins |                            |      |      |      |      |                 |                         |      |      |      |      | Mittel |         |
|--------------------------------------|------------|---------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|-----------------|-------------------------|------|------|------|------|--------|---------|
|                                      |            | Niedrig-<br>wasser              | Stunden nach Niedrigwasser |      |      |      |      | Hoch-<br>wasser | Stunden nach Hochwasser |      |      |      |      |        |         |
|                                      |            |                                 | 1                          | 2    | 3    | 4    | 5    |                 | 1                       | 2    | 3    | 4    | 5    |        | 6       |
| 17. Juli 1885                        | 0          | 1400                            | 1402                       | 1480 | 1762 | 1909 | 1991 | 2055            | 2014                    | 1812 | 1697 | 1458 | 1561 | 1487   | 1,01688 |
|                                      | 7          | 1436                            | 1458                       | 1559 | 1804 | 1985 | 2110 | 2100            | 2052                    | 1951 | 1904 | 1764 | 1567 | 1498   | 1,01777 |
|                                      | 14         | 1436                            | 1459                       | 1528 | 1785 | 1965 | 2064 | 2072            | 2037                    | 1940 | 1895 | 1765 | 1586 | 1506   | 1,01766 |
| 31. Juli 1885                        | 0          | 1281                            | 1207                       | 1281 | 1495 | 1753 | 1827 | 1883            | 1838                    | 1845 | 1689 | 1517 | 1450 | 1356   | 1,01566 |
|                                      | 7          | 1300                            | 1230                       | 1292 | 1523 | 1778 | 1945 | 1960            | 1961                    | 1934 | 1768 | 1622 | 1484 | 1361   | 1,01618 |
|                                      | 14         | 1336                            | 1247                       | 1347 | 1561 | 1786 | 1990 | 1991            | 2020                    | 1966 | 1875 | 1706 | 1509 | 1402   | 1,01664 |
| 9. October 1885                      | 0          | 1372                            | 1222                       | 1357 | 1602 | 1797 | 1894 | 1917            | 1937                    | 1952 | 1819 | 1640 | 1493 | 1470   | 1,01647 |
|                                      | 7          | 1425                            | 1297                       | 1408 | 1667 | 1879 | 1955 | 1974            | 2008                    | 2003 | 1898 | 1760 | 1650 | 1538   | 1,01723 |
|                                      | 14         | 1437                            | 1330                       | 1452 | 1692 | 1912 | 2032 | 2062            | 2068                    | 2084 | 2010 | 1872 | 1692 | 1555   | 1,01778 |
| 12. April 1886                       | 0          | 150                             | 84                         | 123  | 375  | 619  | 866  | 913             | 970                     | 870  | 568  | 305  | 291  | 253    | 1,00478 |
|                                      | 7          | 172                             | 139                        | 266  | 556  | 791  | 997  | 1009            | 1104                    | 1051 | 897  | 503  | 369  | 263    | 1,00614 |
|                                      | 14         | 193                             | 184                        | 319  | 765  | 971  | 1177 | 1288            | 1359                    | 1287 | 1140 | 619  | 454  | 304    | 1,00763 |
| Mittel der vier<br>vorstehenden Tage | 0          | 1051                            | 978                        | 1060 | 1309 | 1520 | 1644 | 1692            | 1689                    | 1620 | 1443 | 1230 | 1199 | 1142   | 1,01345 |
|                                      | 7          | 1083                            | 1031                       | 1132 | 1388 | 1608 | 1752 | 1761            | 1781                    | 1735 | 1617 | 1412 | 1267 | 1165   | 1,01433 |
|                                      | 14         | 1100                            | 1055                       | 1162 | 1450 | 1658 | 1816 | 1853            | 1871                    | 1820 | 1731 | 1490 | 1310 | 1192   | 1,01493 |
| 9. April 1886                        | 0          | 179                             | 196                        | 414  | 695  | 918  | 1220 | 1251            | 1341                    | 1245 | 890  | 613  | 445  | 252    | 1,00734 |
| 10. " "                              | "          | 134                             | 80                         | 197  | 546  | 642  | 784  | 942             | 976                     | 876  | 549  | 180  | 208  | 244    | 1,00481 |
| 11. " "                              | "          | 200                             | 162                        | 248  | 442  | 708  | 604  | 634             | 766                     | 770  | 657  | 421  | 295  | 213    | 1,00473 |
| 13. " "                              | "          | 72                              | 35                         | 153  | 409  | 587  | 703  | 849             | 739                     | 647  | 201  | 163  | 136  | 154    | 1,00360 |
| 14. " "                              | "          | 140                             | 124                        | 150  | 380  | 703  | 823  | 923             | 1004                    | 900  | 679  | 394  | 210  | 140    | 1,00496 |
| 15. " "                              | "          | 133                             | 74                         | 178  | 276  | 511  | 574  | 635             | 739                     | 760  | 499  | 348  | 247  | 215    | 1,00395 |
| Mittel                               | "          | 144                             | 107                        | 209  | 446  | 670  | 796  | 878             | 934                     | 867  | 577  | 347  | 262  | 210    | 1,00488 |
| 9. bis 15. April                     | "          | 144                             | 107                        | 209  | 446  | 670  | 796  | 878             | 934                     | 867  | 577  | 347  | 262  | 210    | 1,00488 |

Um die Zahlen dieser Tabelle zu finden, sind die Messungen zunächst aufgetragen und die einzelnen Punkte durch gerade Linien verbunden, wie die Abbildungen 8 b und 8 c für die Tage 31. Juli 1885 und 12. April 1886 zeigen. Dann ist auf der Zeichnung Abb. 8 die Tide in 25 gleiche Theile getheilt, für jeden Theilpunkt ist das spezifische Gewicht auf der Zeichnung abgemessen und der mittlere Werth aus sämtlichen Theilpunkten ist als „Mittel“ in die letzte Spalte der Tabelle eingetragen. Das spezifische Gewicht in den anderen Spalten ist gefunden worden, indem die beiden nächstgelegenen der 25 Theilpunkte durch eine gerade Linie

verbunden sind und der daraus für die bezügliche Spalte sich ergebende Werth durch Rechnung bestimmt wurde.

Die vier Tage, an denen die Messungen in den verschiedenen Tiefen angestellt wurden, zeigten gewöhnliche Witterungsverhältnisse. Hochwasser fiel beziehungsweise auf 4 U. 40 M., 3 U. 20 M., 1 U. 20 M. und 6 U. 5 M. Nm., die Wasserstände waren mittlere und der Wind mäßig. Der Stand der Oberelbe war an den drei ersten Tagen ziemlich niedrig, am letzten Tage und in dem ganzen Zeitraum des Monats April 1886 ein ungewöhnlich hoher.

Die aus den erwähnten 25 Theilpunkten gefundenen Mittelwerthe der vier Tage sind in Abb. 8 d aufgezeichnet; die Mittelwerthe der sieben Apriltage für die Oberfläche ebenso in Abb. 8 e.

Aus den Zahlen der Tabelle und aus den Zeichnungen ergibt sich, daß das spezifische Gewicht des Wassers im allgemeinen mit der Tiefe wächst. Im Durchschnitt der vier Tage ist es in der Tiefe von 7 m um 0,00088 und in der Tiefe von 14 m um 0,00148 größer als an der Oberfläche. In einzelnen Fällen ist es in der Tiefe von 7 m größer als in der Tiefe von 14 m, und ein einziges Mal – am 31. Juli 1885 – 1 St. 40 M. nach Niedrigwasser – kommt es vor, daß das spezifische Gewicht an der Oberfläche am größten ist. Dies war aber so vorübergehend und dem Maße nach so unbedeutend, daß es nur in Abb. 8 b, aber nicht in den Zahlen der Tabelle ersichtlich ist.

Der Unterschied im spezifischen Gewicht an der Oberfläche und in der Tiefe ist am größten am 12. April und erreicht an diesem Tage seinen höchsten Werth 3 St. 11 M. nach Hochwasser; um diese Zeit war das spezifische Gewicht in 7 m Tiefe um 0,00390 und in 14 m Tiefe um 0,00655 größer als an der Oberfläche. Diese großen Unterschiede hängen zusammen mit dem sehr hohen Stande der Oberelbe, dessen Einfluß überhaupt nunmehr näher untersucht werden soll.

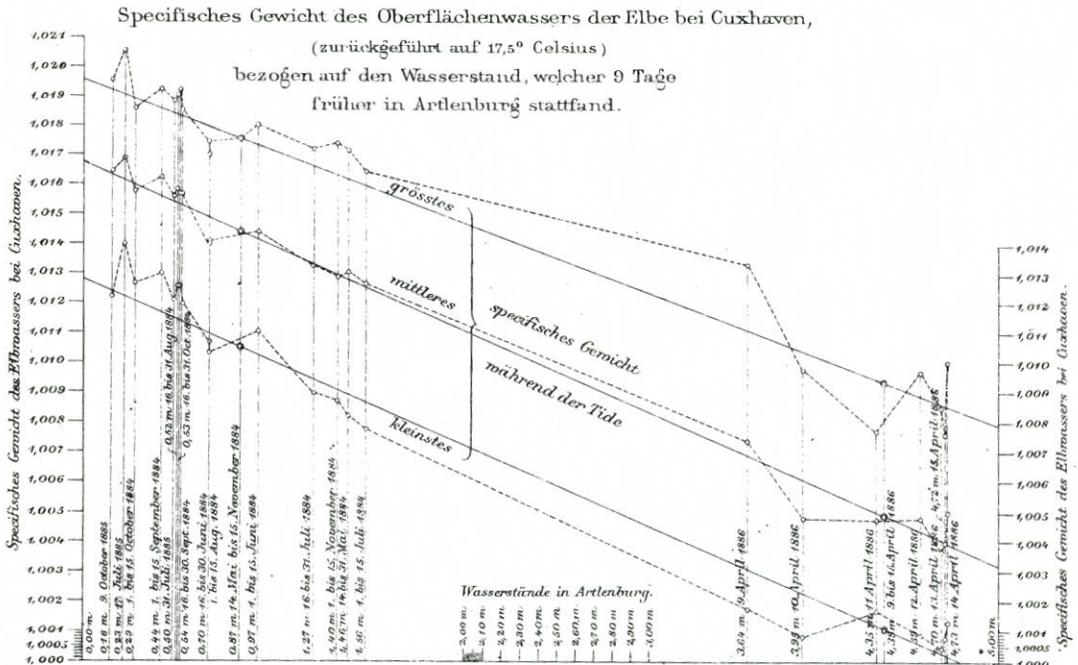
Der erste, seit einer Reihe von Jahren beobachtete Pegel oberhalb der Fluthgrenze liegt bei Artlenburg in der Provinz Hannover. Er ist 16 km von der gewöhnlichen Fluthgrenze und 153 km von Cuxhaven entfernt. Die Schwankungen des Artlenburger Wasserstandes machen sich in den Cuxhavener Wasserständen unter keinen Umständen bemerkbar, und selbst bei dem 71 km weiter stromaufwärts gelegenen Brunshausen sind sie nur aus langen Beobachtungsreihen durch sorgfältige Untersuchungen nachzuweisen. Anders ist es mit dem Salzgehalt des Wassers. Da vom oberen Strome sehr wechselnde Wassermengen abgeführt werden und da der Regel nach unten mit der Ebbe ebensoviel abfließen muß, wie oben während einer Tide dem Fluthgebiet zugeführt wird, so muß auch das Wasser bei Cuxhaven bald mehr, bald weniger Flußwasser enthalten. Die Mengen des zugeführten Oberwassers wechseln innerhalb weiter Grenzen. Bei dem höchsten Wasserstande in Artlenburg fließt etwa die Hälfte,<sup>1)</sup> bei dem niedrigsten Wasserstande nicht viel über ein Zwanzigstel derjenigen Wassermasse zu, welche durch den Cuxhavener Elbarm abfließt, und in diesem muß dadurch die Mischung zwischen Seewasser und Süßwasser sehr verschieden ausfallen, wie dies auch die mitgetheilten Zahlen sehr deutlich erkennen lassen. Selbstverständlich können die Wirkungen des Artlenburger Wasserstandes sich nicht unmittelbar in Cuxhaven fühlbar machen, denn das mit der Fluth stets wieder rückströmende Wasser vermag nur mit Unterbrechungen und allmählich sich der See zu nähern. Auch wird es nicht immer denselben Zeitraum gebrauchen, um den Weg durch das Fluthgebiet zurückzulegen, denn je nachdem höhere oder niedrigere Tiden aufeinander folgen oder miteinander abwechseln, wird seine Geschwindigkeit verzögert oder beschleunigt. Die Bestimmung der mittleren oder gewöhnlichen Dauer dieses Zeitraumes ist

<sup>1)</sup> Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins in Hannover. Jahrgang 1882. „Wassermengen in der Elbe bei Altengamm oberhalb Hamburg.“

deshalb schwierig, und erst nach mehreren mißlungenen Versuchen, die nur Widersprüche zu Tage förderten, gelang es auf folgende Weise.

Nach sehr rohen Schätzungen der Stromgeschwindigkeiten gebraucht ein schwimmender Körper sieben Tage, um den Weg von Artlenburg nach Cuxhaven zurückzulegen, und es war zu vermuten, daß nach einer Zwischenzeit von ähnlicher Dauer der Artlenburger Wasserstand in Cuxhaven zu spüren sein werde. Es wurde nun nacheinander angenommen, die Zwischenzeit betrage 3, 4, 5 usw. bis 15 Tage, und für jede dieser Annahmen wurde eine Zeichnung gefertigt, wie sie in Abb. 9 beispielsweise für neun Tage in kleinerem Maßstabe

Abb. 9.



wiedergegeben ist. Auf derselben sind die Abscissen die Artlenburger Wasserstände, die Ordinaten die spezifischen Gewichte des Oberflächenwassers bei Cuxhaven. Die Abscissen sind gefunden, indem für jeden Tag, an dem das spezifische Gewicht gemessen worden war, der um neun Tage zurückliegende Artlenburger Wasserstand gesucht wurde, und die zugehörigen Ordinaten konnten unmittelbar aus den Tabellen auf Seite 224 und 226 entnommen werden. Dann wurde der mittlere Artlenburger Wasserstand mit den zugehörigen spezifischen Gewichten für zwei zusammenfassende Zeiträume aufgetragen: für die sechs Monate des Jahres 1884 und für die sieben Apriltage des Jahres 1886. Die spezifischen Gewichte für diese beiden Zeiträume sind durch doppelt umkreiste Punkte in der Zeichnung hervorgehoben, und unter der Voraussetzung, daß die spezifischen Gewichte in geradem Verhältnisse mit dem Artlenburger Wasserstande wachsen und abnehmen, müßten die geraden Linien zwischen den doppelt umkreisten Punkten die spezifischen Gewichte für die einzelnen Tage bzw. Halbmonats-Zeiträume ergeben. Die Zeichnung zeigt, daß dies nur annähernd der Fall ist, denn die spezifischen Gewichte der einzelnen Tage und Zeitabschnitte weichen fast sämtlich mehr oder weniger von den geraden Linien ab. Da die „größten und kleinsten spezifischen Gewichte während der Tide“ aus einer einzigen oder einer geringen Zahl von Beobachtungen abgeleitet

sind, ist auf diese nicht weiter Rücksicht genommen, und nur die Abweichungen der „mittleren“ spezifischen Gewichte von der geraden Linie sind auf der Zeichnung gemessen und tabellarisch zusammengeschrieben worden. In der untenstehenden Zusammenstellung folgen die Abweichungen, je nachdem die Dauer der fraglichen Zwischenzeit zu 7, 8, 9 oder 10 Tagen angenommen ist.

| Zeitraum                | Mittleres spezifisches Gewicht | Anzahl der Beobachtungstage | Mittlerer Wasserstand in Artlenburg, um nachstehende Anzahl Tage früher: |        |        |        | Abweichungen des spec. Gewichts der Zeitabschnitte in Hunderttausendstel von der geraden Linie. |     |     |     |     |     |      |     |
|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--|--------|--------|--------|---|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
|                         |                                |                             | 7  | 8      | 9      | 10     | Artlenburger Wasserstand um Tage früher:  |     |     |     |     |     |      |     |
|                         |                                |                             | m  | m      | m      | m      | +   | -   | +   | -   | +   | -   | +    | -   |
| <b>1884</b>             |                                |                             |  |        |        |        |   |     |     |     |     |     |      |     |
| 14. bis 31. Mai . . .   | 1,01300                        | 15                          | 1,45   | 1,46   | 1,46   | 1,47   | 2   | —   | 8   | —   | 16  | —   | 27   | —   |
| 1. bis 15. Juni . . .   | 1,01440                        | 10                          | 0,87   | 0,92   | 0,97   | 1,03   | —   | 10  | 5   | —   | 23  | —   | 40   | —   |
| 16. bis 30. „ . . .     | 1,01410                        | 11                          | 0,73   | 0,71   | 0,70   | 0,69   | —   | 75  | —   | 80  | —   | 81  | —    | 87  |
| 1. bis 15. Juli . . .   | 1,01260                        | 13                          | 1,68   | 1,62   | 1,56   | 1,46   | 21  | —   | 10  | —   | 3   | —   | —    | 17  |
| 16. bis 31. „ . . .     | 1,01330                        | 14                          | 1,14   | 1,20   | 1,27   | 1,34   | —   | 49  | —   | 31  | —   | 6   | 19   | —   |
| 1. bis 15. August . . . | 1,01400                        | 13                          | 0,68   | 0,69   | 0,70   | 0,70   | —   | 98  | —   | 94  | —   | 91  | —    | 94  |
| 16. bis 31. „ . . .     | 1,01580                        | 13                          | 0,47   | 0,49   | 0,52   | 0,54   | 29  | —   | 33  | —   | 41  | —   | 40   | —   |
| 1. bis 15. September    | 1,01620                        | 12                          | 0,44   | 0,44   | 0,44   | 0,43   | 60  | —   | 60  | —   | 57  | —   | 50   | —   |
| 16. bis 30. „ . . .     | 1,01570                        | 13                          | 0,55   | 0,54   | 0,54   | 0,53   | 40  | —   | 36  | —   | 35  | —   | 29   | —   |
| 1. bis 15. October . .  | 1,01580                        | 13                          | 0,25   | 0,27   | 0,29   | 0,31   | —   | 28  | —   | 25  | —   | 22  | —    | 25  |
| 16. bis 31. „ . . .     | 1,01570                        | 14                          | 0,61   | 0,57   | 0,53   | 0,50   | 54  | —   | 45  | —   | 32  | —   | 19   | —   |
| 1. bis 15. November     | 1,01290                        | 13                          | 1,53   | 1,47   | 1,40   | 1,33   | 12  | —   | 1   | —   | —   | 10  | —    | 25  |
| Mittel                  | 1,01445                        | 13                          | 0,88   | 0,88   | 0,87   | 0,87   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —    | —   |
|                         |                                |                             | Summen der 12 Halbmonats-Zeiträume                                       |        |        |        | 218   | 260 | 198 | 230 | 207 | 210 | 224  | 248 |
|                         |                                |                             |  |        |        |        | 478   |     | 428 |     | 417 |     | 472  |     |
| <b>1885</b>             |                                |                             |  |        |        |        |   |     |     |     |     |     |      |     |
| 17. Juli . . . . .      | 1,01688                        | 1                           | 0,26   | 0,24   | 0,23   | 0,24   | 83  | —   | 74  | —   | 68  | —   | 63   | —   |
| 31. „ . . . . .         | 1,01566                        | 1                           | 0,42   | 0,47   | 0,50   | 0,50   | 2   | —   | 13  | —   | 21  | —   | 15   | —   |
| 9. October . . . . .    | 1,01647                        | 1                           | (0,13)   | (0,14) | (0,16) | (0,16) | 7   | —   | 9   | —   | 9   | —   | —    | 2   |
| <b>1886</b>             |                                |                             |  |        |        |        |   |     |     |     |     |     |      |     |
| 9. April . . . . .      | 1,00734                        | 1                           | 4,35   | 3,95   | 3,64   | 3,55   | 182   | —   | 97  | —   | 43  | —   | 55   | —   |
| 10. „ . . . . .         | 1,00481                        | 1                           | 4,59   | 4,35   | 3,95   | 3,64   | —   | 10  | —   | 52  | —   | 125 | —    | 171 |
| 11. „ . . . . .         | 1,00473                        | 1                           | 4,70   | 4,59   | 4,35   | 3,95   | 11  | —   | 3   | —   | —   | 24  | —    | 91  |
| 12. „ . . . . .         | 1,00478                        | 1                           | 4,73   | 4,70   | 4,59   | 4,35   | 23  | —   | 37  | —   | 47  | —   | 28   | —   |
| 13. „ . . . . .         | 1,00360                        | 1                           | 4,72   | 4,73   | 4,70   | 4,59   | —   | 98  | —   | 74  | —   | 42  | —    | 21  |
| 14. „ . . . . .         | 1,00496                        | 1                           | 4,60   | 4,72   | 4,73   | 4,70   | 8   | —   | 60  | —   | 102 | —   | 146  | —   |
| 15. „ . . . . .         | 1,00395                        | 1                           | 4,53   | 4,60   | 4,72   | 4,73   | —   | 111 | —   | 72  | —   | 1   | —    | 54  |
| Mittel 9. bis 15. April | 1,00488                        | 1                           | 4,60   | 4,52   | 4,38   | 4,22   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —    | —   |
|                         |                                |                             | Summen der sämtlichen 22 Zeiträume                                       |        |        |        | 534   | 479 | 491 | 428 | 497 | 402 | 585  | 533 |
|                         |                                |                             |  |        |        |        | 1013  |     | 919 |     | 899 |     | 1118 |     |

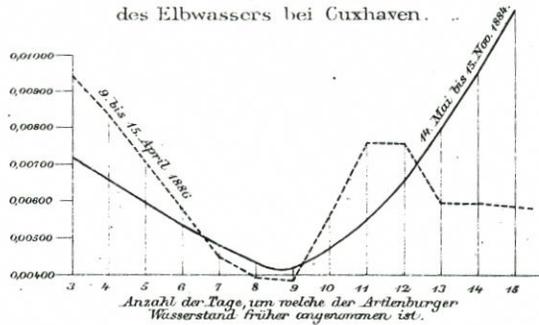
| Zeitraum                                      | Abweichungs-Summen in Hunderttausendstel, wenn der Artlenburger Wasserstand um die nachstehende Anzahl von Tagen früher angenommen wird: |      |      |      |      |     |     |      |      |      |      |      |      |
|---|--|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
|   | 3  | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 9   | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 14. Mai bis 15. November 1884 . . . . .       | 716  | 659  | 596  | 532  | 478  | 428 | 417 | 472  | 543  | 655  | 796  | 955  | 1123 |
| 17. Juli, 31. Juli, 9. October 1885 . . . . . | 230  | 166  | 137  | 107  | 92   | 96  | 98  | 80   | 79   | 88   | 82   | 104  | 117  |
| 9. bis 15. April 1886 . . . . .               | 941  | 838  | 707  | 584  | 443  | 395 | 384 | 566  | 757  | 757  | 593  | 597  | 590  |
| Zusammen . . . . .                            | 1887   | 1663 | 1440 | 1223 | 1013 | 919 | 899 | 1118 | 1379 | 1500 | 1471 | 1656 | 1830 |

Es ergibt sich aus dieser Tabelle, daß die Summe der Abweichungen für die zwölf Halbmonats-Zeiträume allein und auch für die 22 Zeiträume zusammen für den neunten Tag am kleinsten ist, obwohl dies für die einzelnen Zeiträume größtentheils nicht zutrifft. Der gesetzliche Verlauf der Abweichungssummen zeigt sich ebenfalls, wenn man sie in der nächstfolgenden Zusammenstellung in der obigen Tabelle für die sämtlichen untersuchten Zwischenzeiten von drei bis zu fünfzehn Tagen überblickt.

Die drei einzelnen Tage des Jahres 1885 liefern – vermuthlich weil die Anzahl der auf sie treffenden Beobachtungen zu gering ist, um die erforderliche Ausgleichung herbeizuführen –

zwar kein bestimmtes Ergebnis, dagegen fallen und steigen die Abweichungssummen für die beiden anderen Zeitabschnitte innerhalb gewisser Grenzen durchaus stetig, wie die graphische Darstellung der Abb. 10 noch deutlicher erkennen läßt.

Abb. 10.  
Summen der Abweichungen des spezifischen Gewichts  
des Elbwassers bei Cuxhaven.



Die Unterbrechung in der Stetigkeit der Linie für die Apriltage 1886, welche mit dem elften Tage beginnt, ist durch den bis zum 28. März dauernden Eisstand des Stromes veranlaßt und dadurch erklärt. Die Quadrate der Abweichungssummen, welche für den achten und neunten Tag untersucht sind, werden für die zwölf Halbmonats-Zeiträume am kleinsten für den neunten, für die sieben Apriltage aber für den achten Tag, und man kann deshalb mit völliger Sicherheit schließen, daß die Höhe des Artlenburger Wasserstandes sich a c h t b i s n e u n T a g e später in der Zusammensetzung des Wassers bei Cuxhaven zu erkennen giebt. Läßt man den neunten Tag gelten, so wird man aus dem Artlenburger Wasserstande das mittlere spezifische Gewicht des Oberflächenwassers bei Cuxhaven bis auf ein Tausendstel genau und aus dem spezifischen Gewicht des Wassers bei Cuxhaven die Höhe des Artlenburger Wasserstandes bis auf 0,3 m genau berechnen können.

Für einige bemerkenswerthe Wasserstände in Artlenburg findet man das spezifische Gewicht und, indem man die Größe desselben rechts vom Komma mit 131 multiplicirt, den Salzgehalt des Wassers an der Oberfläche bei Cuxhaven wie folgt:

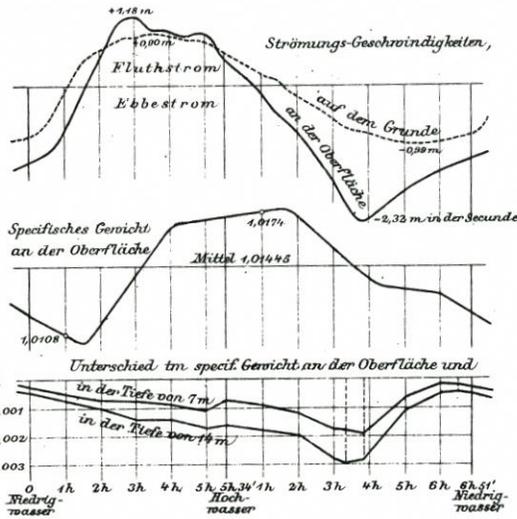
| Wasserstand<br>in Artlenburg                                  | Des Oberflächenwassers der Elbe<br>bei Cuxhaven: |                         |                 |
|---|--|-------------------------|-----------------|
|   | während<br>der Tide                              | spezifisches<br>Gewicht | Salzgehalt<br>‰ |
| Jahresmittel<br>1843 bis 1879 + 1,39 m                        | größter Werth                                    | 1.0164                  | 2.15            |
|   | mittlerer "                                      | 1.0131                  | 1.72            |
|   | kleinster "                                      | 1.0092                  | 1.21            |
| Juli, August u. September<br>Mittel 1843 bis 1879<br>+ 0,70 m | größter "  | 1.0179                  | 2.34            |
|   | mittlerer "                                      | 1.0149                  | 1.95            |
|   | kleinster "                                      | 1.0110                  | 1.44            |
| Höchstes Monatsmittel<br>März 1876 + 5,02 m                   | größter "  | 1.0080                  | 1.05            |
|   | mittlerer "                                      | 1.0033                  | 0.43            |
|   | kleinster "                                      | 1.0000                  | 0.00            |
| Niedrigstes Monatsmittel<br>October 1874 - 0,24 m             | größter "  | 1.0201                  | 2.63            |
|   | mittlerer "                                      | 1.0174                  | 2.28            |
|   | kleinster "                                      | 1.0135                  | 1.77            |

Diese Zahlen werden um so ungenauer sein, je weiter die Wasserstände, für welche sie gelten sollen, von den mittleren abweichen, namentlich, da die Möglichkeit vorliegt, daß das spezifische Gewicht des Wassers bei Cuxhaven nicht durchweg in geradem Verhältnisse mit den Artlenburger Wasserständen zu- und abnimmt.

### 3. Vergleich zwischen den Strömungen und den spezifischen Gewichten

Wenn man zum Zwecke des Vergleichs die Strömungen an der Oberfläche und auf dem Grunde mit dem spezifischen Gewichte des Wassers an der Oberfläche und mit den Unterschieden des spezifischen Gewichtes an der Oberfläche und in den verschiedenen Tiefen zusammengestellt (Abb. 11), so schwindet die Hoffnung, Beziehungen zwischen den eigenthümlichen Strömungsverhältnissen und den spezifischen Gewichten des Wassers in den verschiedenen Tiefen zu entdecken. Das spezifische Gewicht des Wassers an der Oberfläche ist am kleinsten bei dem Stromwechsel nach Niedrigwasser und am größten bei dem Stromwechsel nach Hochwasser, weil, wie schon vorhin angedeutet, in diesen Zeitpunkten die größten Mengen Fluß- bzw. Seewasser sich im Strome befinden müssen. In dem Verhältnisse der Oberflächenströmung zur Strömung auf dem Grunde treten aber diese Zeitpunkte in keiner Weise hervor, und es ist deshalb durchaus nicht anzunehmen, daß sie damit irgendwie im Zusammenhange stehen. Ebenso wenig zeichnen sich die Biegungen in der Linie des spezifischen Gewichtes des Oberflächenwassers, welche vier Stunden nach Niedrigwasser und vier bzw. sechs Stunden nach Hochwasser ersichtlich sind, in den Strömungsverhältnissen aus, sodaß sich ein Einfluß des spezifischen Gewichtes des Oberflächenwassers auf das Verhalten der Unter- und Oberströmungen zu einander überhaupt nicht nachweisen läßt.

Abb. 11.  
Des Wassers der Elbe vor Cuxhaven.



Das spezifische Gewicht in den Tiefen von 7 m und 14 m im Verhältnis zum spezifischen Gewicht des Oberflächenwassers ist in Abb. 11 in der Weise dargestellt, daß letzteres gleich Null angenommen ist und die überschießende Größe des spezifischen Gewichtes für die genannten Tiefen nach der Tabelle auf Seite 226 im Durchschnitt der vier Tage 17. Juli, 31. Juli, 9. October 1885 und 12. April 1886 von der geraden Linie abgesetzt wurde. Die beiden dadurch entstehenden Linien verlaufen ziemlich gleichmäßig, und beide zeigen nur zwei Wendepunkte: ein Maximum etwa 3½ Stunden nach Hochwasser und ein Minimum 6½

Stunden nach Hochwasser oder eine halbe Stunde vor Niedrigwasser. Das Maximum trifft freilich mit dem Augenblicke zusammen, in welchem auch der Unterschied zwischen der Ebbeströmung an der Oberfläche und auf dem Grunde am größten ist, aber es ist zu vermuthen, daß dieser große Unterschied in den Strömungen ebenfalls denjenigen im specifischen Gewicht hervorbringt und nicht umgekehrt, denn da während der Ebbeströmung das specifische Gewicht im allgemeinen sich vermindert, so wird es sich wegen der stärkeren Strömung an der Oberfläche dort auch schneller vermindern als auf dem Grunde, wodurch der Unterschied im specifischen Gewicht des Wassers auf diesen Stellen wachsen muß. Wenn es nicht so wäre, so müßte auch das Minimum in den Unterschieden der specifischen Gewichte sich in den Strömungsverhältnissen bemerkbar machen, oder die auf  $2\frac{1}{4}$  und  $5\frac{1}{4}$  Stunden nach Niedrigwasser fallenden Kreuzungspunkte der Ober- mit der Unterströmung müßten sich in den specifischen Gewichten kennzeichnen, was doch beides keineswegs zutrifft.

Das so wechselnde, vielleicht auch mit dem Oberwasserstande sich ändernde Verhältniß der Strömung auf dem Grunde zur Strömung an der Oberfläche ist demnächst aus dem specifischen Gewicht des Wassers in den verschiedenen Tiefen nicht zu erklären, und es muß späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, den Schleier zu lüften, welcher diese bisher so wenig erforschten Vorgänge zur Zeit noch räthselhaft erscheinen läßt.

*Ergänzende Anmerkungen zum Aufsatz von HUGO LENTZ über „Strömung und Salzgehalt der Elbe bei Cuxhaven“*

*(von Dr.-Ing. HEINZ WISMER, Kiel)*

Die von LENTZ in der Elbe bei Cuxhaven durchgeführte Untersuchung über die während einer Tide in verschiedenen Tiefenstufen auftretenden Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten und des spezifischen Gewichtes des Elbewassers beeindruckt durch die sorgfältige Ausführung des Meßvorganges. Es ist auch heute noch aufwendig und nicht einfach, die Strömungsgeschwindigkeiten in verschiedenen Tiefenpunkten einer 15 m tiefen Lotrechten mit Geschwindigkeiten bis zu 2 m/s zuverlässig zu messen. Mit der 1884 verfügbaren Meßtechnik waren die Schwierigkeiten sicherlich größer. Das wird u. a. aus der Darstellung ersichtlich, die LENTZ zur richtigen Zuordnung und Bewertung der Umdrehungszahlen gibt, die er mit dem WOLTMANSCHEN Flügel – „dessen Flügel durch eine kleine Schiffsschraube ersetzt sind“ – erhält. Es zeigt sich auch an seiner Darlegung der Fehlermöglichkeiten.

Bei den von LENTZ anhand früherer Messungen angestellten Überlegungen, wie die Meßergebnisse an dem gewählten Meßort in die Strömungsvorgänge der Elbemündung einzuordnen waren, überrascht, daß bereits 1883 über Monate – zeitweilig halbstündlich – auf Feuerschiffen die Strömungsgeschwindigkeiten an der Oberfläche bestimmt und nach ihren Werten die unterschiedlichen Durchflußverhältnisse in den verschiedenen Flußbereichen beurteilt wurden.

Die Auswertung der Geschwindigkeitsmessungen in den verschiedenen Tiefenpunkten ist in der Untersuchung so angelegt, daß ein eindeutiges Bild der Unterschiede zwischen Ebbe- und Flutstromverlauf an Oberfläche und Sohle entsteht. Spätere Untersuchungen anderer haben keine bessere Darstellung geliefert.

Das Bemühen, zuverlässige Aussagen zu erhalten, wird auch aus den Messungen des spezifischen Gewichtes ersichtlich, die bei verschiedenen Oberwasserführungen z. T. in stündlichem Abstand in drei Tiefenstufen im Fahrwasser durchgeführt wurden. Bemerkenswert ist, daß 1886 der Eisstand in der Oberelbe bis zum 28. März dauerte. Die Wintermonate konnten nicht für Messungen herangezogen werden.

Aus der Änderung des spezifischen Gewichtes in Abhängigkeit von den Oberwasserständen in Artlenburg ermittelt LENTZ, daß „die Höhe des Artlenburger Wasserstandes sich acht bis neun Tage später in der Zusammensetzung des Wassers bei Cuxhaven zu erkennen gibt“ (bei mittleren Verhältnissen). Er kommt damit zu einem Zeitunterschied, der weniger als die Hälfte der Laufzeit des Oberwassers beträgt, mit der heute größenordnungsmäßig gerechnet wird.

Einen Anteil der oberwasserbedingten Änderung des spezifischen Gewichtes bei Cuxhaven an den dortigen Unterschieden der Strömungsgeschwindigkeiten zwischen Oberfläche und Sohle vermag LENTZ nicht nachzuweisen. Er stellt abschließend fest, daß „das so wechselnde, vielleicht auch mit dem Oberwasserstande sich ändernde Verhältnis der Strömung auf dem Grunde zur Strömung an der Oberfläche demnach aus dem spezifischen Gewicht des Wassers in verschiedenen Tiefen nicht zu erklären ist“. Soweit bekannt, – das sei hierzu angemerkt – ist die Größe eines derartigen Anteils durch Naturmessungen bis heute für die Elbemündung noch nicht bestimmt worden.

Die Untersuchung gibt den guten Kenntnisstand wieder, der damals bereits vorlag. LENTZ zeigt, mit welcher Gründlichkeit unsere Vorfahren Fragen der Gewässerkunde anfaßten und dabei zu Ergebnissen kamen, die auch heute noch ihren Wert haben.