

Einige Wasserstands-Beobachtungen im Fluthgebiete des Elbstromes¹⁾

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 anerkannt²⁾ 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.

¹⁾ Erschienen in Hamburg 1842.

²⁾ 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

Inhalt¹⁾

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 Beobachtungspunkte. – 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 Uferpunkte. Correspondirende Ebbe-Höhen	043
*) §. 14. Stromverhältnisse bei Blankenese und Schulau	043

¹⁾ Die mit *) bezeichneten Kapitel sind hier nicht abgedruckt.

Verzeichniss und Erklärung der Tabellen
und Figuren-Tafeln¹⁾)

- | | | | |
|-------|---------|-------|---|
| *) | 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.
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.
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.
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 Ortkaathen bis Altengamm. Nach Beobachtungen desselben Tages, aus Tabelle I.
Fig. 10 ^a . Profil der Elbe bei Geesthacht oberhalb der Fluthgrenze, gemessen im Jahre 1839.
Fig. 10 ^b . Profil der Elbe bei Fährmannssand, gemessen im Jahre 1841.
Fig. 13 bis 15. Profile der Elbe bei Geesthacht, aus einer Elbkarte vom Jahre 1773. |

¹⁾ 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.¹⁾ – 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.²⁾

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 Fluthstrom 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.¹⁾

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.²⁾

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 Fluthgebietes³⁾, 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.⁴⁾

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

¹⁾ 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.

²⁾ 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.

³⁾ S. BLOHM Erörterung der Mittel etc. p. 36 seqq.

⁴⁾ 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.¹⁾

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,²⁾ 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.¹⁾

Dass die zweite Methode auch in grossen Strömen genaue Resultate liefern könne, beweisen unter andern die Messungen von BRÜNNINGS, 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.

¹⁾ 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.¹⁾ 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

¹⁾ 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.¹⁾

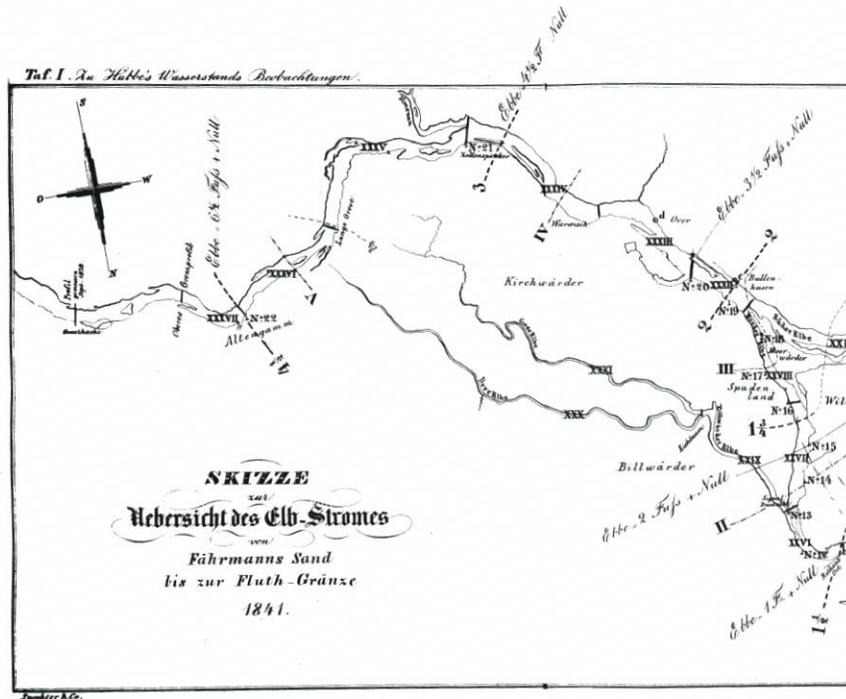
§. 5.

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-

¹⁾ 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 *conca*v. – 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.

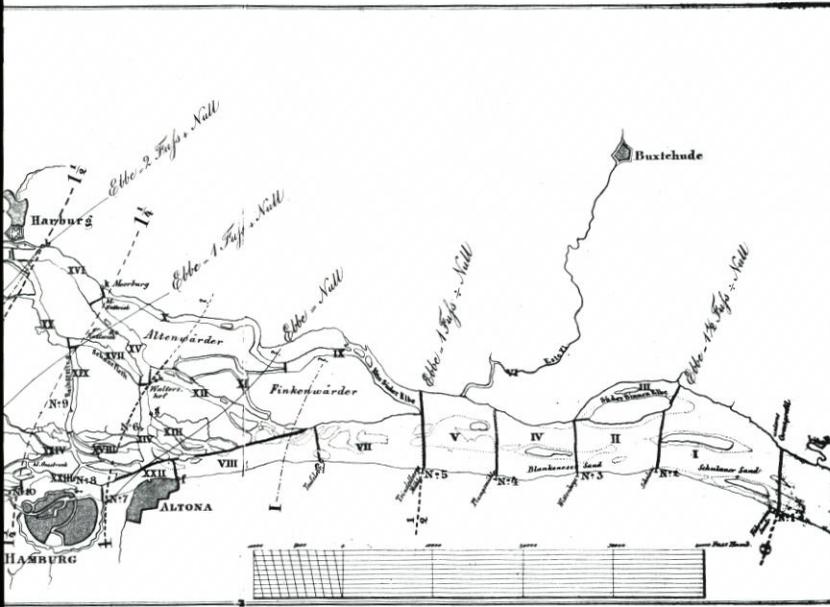
Es kommt demnach darauf an, nach bekannten Beobachtungen zu ermitteln, wie weit man wohl ohne Nachtheil die Krümmung dieser Curve vernachlässigen könne, um darnach die Entfernung dieser Beobachtungspuncte passend zu bestimmen.

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.¹⁾

¹⁾ Dies ist eine ziemlich bekannte Wahrnehmung. Vergl. z. B. TETENS 60sten Brief. LUBBOCK führt folgende hierher gehörige Aeussereung 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,¹⁾ 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 hiefür 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.

¹⁾ 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.¹⁾

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.

¹⁾ 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 Uebergehung 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, 1861

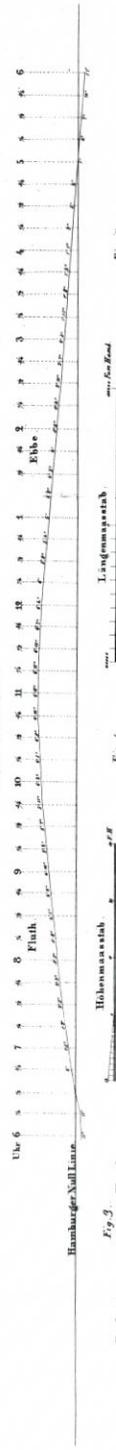


Fig. 2
Beobachtungen zu Hamburg
Dec. 26, 1861

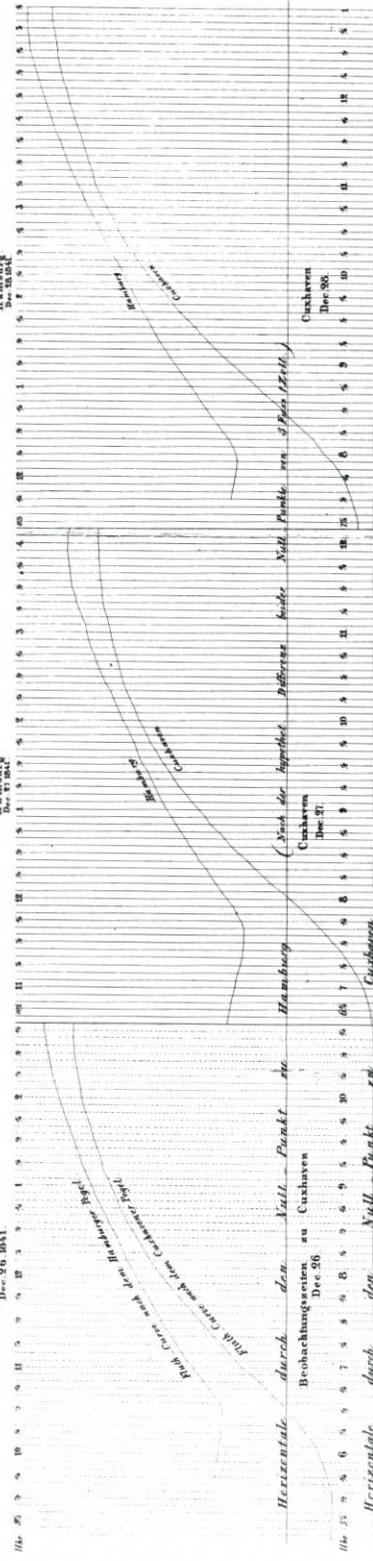


Fig. 3
Beobachtungen zu Cuxhaven
Dec. 26



Fig. 4
Beobachtungen zu Cuxhaven
Dec. 27



Fig. 5
Beobachtungen zu Cuxhaven
Dec. 28



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.¹⁾

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

¹⁾ 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,¹⁾ 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 ist²⁾, und andere Fälle sind bekannt, in denen eine *Erhebung*³⁾, so wie wieder andere, in denen eine *Depression* der Fluthwelle ausser allem Zweifel steht.⁴⁾

¹⁾ 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.

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

³⁾ 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 beigefügt 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.

⁴⁾ 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.¹⁾

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-

¹⁾ 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 betrug¹⁾, 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

¹⁾ Tab. V Pegel No. 5. 4 Uhr bis 4¼ Uhr Nachmittags.

1841. 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. 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 " 5 "	" "	9 " 9½ "	" "	2 " 6½ "	" "	SW do.
	11 " 9½ "	" "	9 " 3 "	" "	3 " 0 "	" "	SW mässig.
" 17	11 " 7 "	" "	8 " 7 "	" "	2 " 9½ "	" "	W lebhaft.
	11 " 7½ "	" "	8 " 10 "	" "	2 " 10 "	" "	SW stürmisch.
" 18	13 " 10 "	" "	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.	
"	—	—	7	5½				
"	9	5	6	11	2	6	NO do.	
"	8	4	—	—	1	3	NO do.	
"	—	—	7	1				
"	10	4	8	0	2	4	NNO do.	
"	8	11	—	—	2	4½	NO do.	
"	—	—	6	6½				
"	9	3½	6	4	2	11½	O lebhaft.	
"	fehlt.		4	0	—	—	O do.	
"	7	6½	4	3	3	3½	O do.	
"	9	0	5	10½	3	1½	O lebhaft.	
"	9	8	6	11	2	9	O mässig.	

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.¹⁾ – 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

¹⁾ 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 Quadratfuss¹⁾, 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.

¹⁾ 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 müssen¹⁾, 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.²⁾

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

²⁾ 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 Schaulau 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 Vordercolumne stehen die mit der Karte (Taf. I) übereinstimmenden Bezeichnungen der Pegel.

(Hieher 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.*
Besch. 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 geringer²⁾ 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 verhalten³⁾, 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

¹⁾ Vergl. MINARD Cours de Construct. Paris 1841. p. 6.

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

³⁾ 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.