

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

Von HEINRICH HÜBBE

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

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

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

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

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Es sei nun für eine beliebige Maaß-Einheit:

$P$  das absolute Gewicht der Mischung,

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

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

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

so ist

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

Nun ist aber nach dem Vorstehenden:

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

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

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

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

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

und

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

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

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

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

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

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

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

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

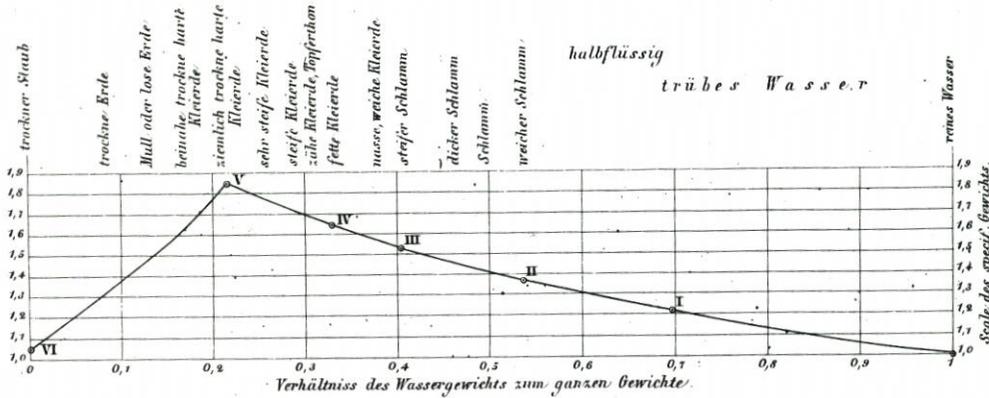
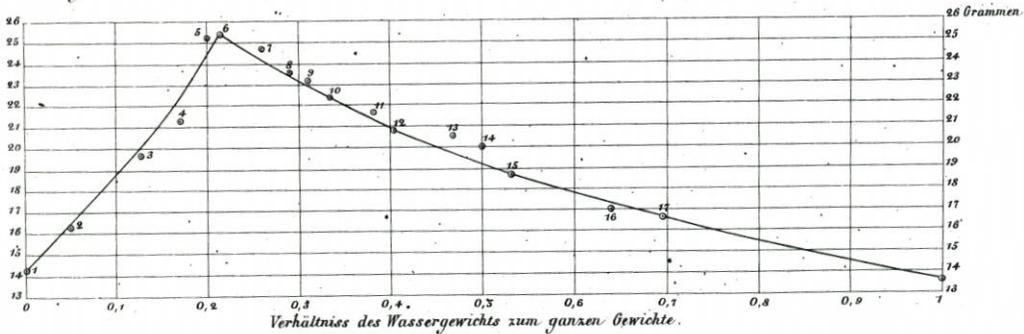


Fig. 2. Absolutes Gewicht von 1 Cubikzoll Hamb. = 0,761 Cubikzoll preufs. in Grammen.



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

In derselben ist:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Die Anwendung dieser Formel auf jeden gegebenen Fall ist höchst einfach. Es enthalte z. B. ein Gewässer in 100 000 Gewichttheilen Wasser 5 Gewichttheile suspendirter Stoffe, und es werde in einem damit verbundenen Hafenbassin mit jeder der 707 im Laufe des Jahres eintretenden Fluthen eine Wassersäule von 7 Fuß Höhe erneuert und im Innern des Bassins vollständig abgeklärt, so erhält man die Höhe der jährlichen Ablagerung in den Formen der dichtesten Kleierde, des Töpferthons, des steifen Schlammes und des frischen, weichen Schlammes, wenn man die diesen Formen entsprechenden Werthe von  $n$  und  $G$  aus vorstehender Tabelle in die obige Formel setzt, und die gefundenen Werthe von  $H$  mit dem Factor  $\frac{5 \times 707 \times 7}{100} = 247,45$ , wofür zu setzen 247, multiplicirt. Auf diese Weise ergibt sich unter den

hier angenommenen Bedingungen

für die Form der dichtesten Kleierde	$247 H = 0,170$ Fuß,
für die Form des Töpferthons	$= 0,212$ Fuß,
für die Form des steifen Schlammes	$= 0,269$ Fuß,
für die Form des frischen Schlammes	$= 0,348$ Fuß,

als die Höhe der jährlichen Ablagerung der suspendirten Stoffe.

Es bedarf keiner weitern Erläuterung, daß andere verwandte Aufgaben der Praxis sich auf Grundlage der obigen Daten in ähnlicher Weise behandeln lassen, und dieselben werden in allen Fällen, wo es nur auf die Größe der Ablagerung der *s u s p e n d i r t e n* Schlicktheilchen abgesehen ist, dadurch vollständig gelöst.

Zur Bestimmung der Größe des Schlickgehaltes in einem den wechselnden Naturzuständen unterworfenen Gewässer, also in einem Flusse, Strome oder Meerbusen, genügt es nicht, daß man einzelne Proben des Wassers auf seinen Schlickgehalt untersuche, sondern es sind größere Beobachtungsreihen erforderlich, um durch Ausgleichung zufälliger oder periodischer Schwankungen Mittelzahlen als brauchbare Daten zu erhalten. Die nachfolgende Untersuchung, welche den Schlickgehalt der Elbe betrifft, dürfte theils als Beispiel, wie die Sache zweckmäßig zu behandeln ist, theils insofern durch dieselbe neue, zuverlässige Daten über die natürliche Beschaffenheit eines der größten deutschen Ströme festgestellt sind, von Interesse sein. Bevor ich indeß zur Darlegung der, einen Zeitraum von 18 Monaten umfassenden Beobachtungen schreite, mögen einige ältere Angaben über den Schlickgehalt der Elbe nebst darauf bezüglichen Bemerkungen hier aufgenommen werden.

Die ältesten bekannten Untersuchungen dieses Gegenstandes finden sich in TETENS, Reisen in die Marschländer der Nordsee (7ter Brief), der nach einem, allerdings recht mangelhaften Verfahren den Schlickgehalt an der holsteinischen Küste der Unter-Elbe (bei Brunsbüttel) folgendermaßen angiebt:

Mittel aus 3 Beobachtungen, bei stillem Wetter  $\frac{1}{787}$

Mittel aus 3 Beobachtungen, bei starkem Winde  $\frac{1}{210}$

Eine Beobachtung bei aufstehendem Sturme  $\frac{1}{168}$ .

Diese Verhältnisse sollen nach dem Rauminhalt dergestalt verstanden werden, daß respective auf 787, 210 und 168 Raumtheile Wasser 1 Raumtheil Schlick zu rechnen sei. Ich will nicht bestreiten, daß die untersuchten Proben wirklich diese Resultate gegeben haben, aber dann müssen sie dicht an dem dortigen Kleiufer und im Bereiche der Abspülung desselben, um die Zeit des Eintrittes der Fluth geschöpft sein, und selbst unter dieser Voraussetzung repräsentiren die TETENS'schen Zahlen noch einen enorm großen Schlickgehalt. Im Strome selbst kommt niemals ein ähnliches Verhältnis vor, nicht einmal annähernd ist eine solche Schlickmasse dem Elbwasser beigemischt. TETENS giebt a. a. O. an, daß WOLTMAN für Cuxhaven den Mittelwerth  $\frac{1}{532}$  gefunden habe; das ist ebenfalls für den Strom viel zu groß, und ist es zu bemerken, daß in WOLTMAN's Schriften, obgleich er (Beitr. II, §. 56) ausführlich von diesem Gegenstande redet, sich keine Bestätigung für TETENS' Angaben findet.

Nach Untersuchungen des Wasserbau-Directors CHRISTENSEN in Glückstadt ward der Schlickgehalt der Elbe folgendermaßen gefunden:

	Maximum	Minimum	Mittel
bei Altona	$\frac{1}{11\ 700}$	$\frac{1}{147\ 000}$ ; aus 13 Proben	$\frac{1}{65\ 800}$
bei Glückstadt	$\frac{1}{2600}$	$\frac{1}{81\ 700}$ ; aus 20 Proben	$\frac{1}{28\ 100}$
bei Brunsbüttel	$\frac{1}{3100}$	$\frac{1}{43\ 300}$ ; aus 24 Proben	$\frac{1}{17\ 000}$
bei Cuxhaven	$\frac{1}{10\ 400}$	$\frac{1}{735\ 300}$ ; aus 8 Proben	$\frac{1}{122\ 400}$

Diese Zahlen beziehen sich, ebenso wie die von TETENS, auf das Raumverhältnis, sie sind aber nicht durch Messung des Niederschlags ermittelt, sondern durch Wägung und Rechnung nach Filtration des Wassers, wobei das specifische Gewicht des Schlicks = 1,541 angenommen ist. Obwohl die Resultate dieser Untersuchungen ohne Zweifel der Wahrheit näher kommen als die von TETENS, so haben doch auch sie nur die Bedeutung einzelner Fälle, die übrigens schon darthun, wie ungemein schwankend der Schlickgehalt in dem unteren, von der Meeresfluth beherrschten Theile des Stromgebietes ist.

Eine Untersuchung des Elbwassers aus neuerer Zeit findet sich in BISCHOF's Handbuch der Geologie (II, 6, S. 1587). Die Probe ward am 1. Juni 1852 bei Hamburg geschöpft; sie enthielt in 100 000 Gewichttheilen Wasser 0,891 Theile schwebende Stoffe und 12,69 Theile aufgelöste Stoffe. Das Verhältnis des Schlicks zum Wasser war also nach Gewicht =  $\frac{1}{112233}$ , ein Werth, der noch bedeutend kleiner ist als das Minimum, welches CHRISTENSEN (nach Raumverhältnis) für das Hamburg benachbarte Altona angibt. Abermals eine Bestätigung für die Unzulänglichkeit allgemeiner Folgerungen aus vereinzelt Untersuchungen.

Endlich ist noch die Angabe des hannov. Bauraths BLOHM (die Fahrbahn der Elbe und ihre Verbesserung, Hamburg 1841) zu erwähnen, welcher seine an der Elbe gemachten Beobachtungsergebnisse mit denen anderer Flüsse, namentlich den italiänischen vergleicht, und darüber bemerkt, daß durch eine große Anzahl sorgfältig geführter Untersuchungen sich herausgestellt habe, daß die Elbe auch zur Zeit ihrer höchsten Anschwellungen ungleich weniger mit trüben Stoffen geschwängert sei als der Po. Das Elbwasser pflegte in der Stromgegend unterhalb der Mündung der Ilmenau (Lüneburg) bei starken Anschwellungen nicht mehr als  $\frac{1}{6000}$  seines Volumens an schwimmenden Schlamm- und Erdtheilchen zu

enthalten. Dieses Resultat ist aber durch Abdampfung des Wassers gefunden, es sind mithin nicht bloß die suspendirt gewesenen, sondern auch die chemisch aufgelöst im Wasser enthaltenen Stoffe in das gefundene Verhältnis eingeschlossen, so daß eine Anwendung in Bezug auf Ablagerung nicht davon zu machen ist<sup>1)</sup>.

Meine Untersuchungen umfassen die Zeit vom 21. Februar 1854 bis zum 31. Juli 1855; über die Art, wie sie ausgeführt, und über die Resultate, welche dadurch gewonnen wurden, erlaube ich mir Folgendes hier aufzunehmen und daran zugleich die entsprechenden Erörterungen aus einem allgemeinen Gesichtspunkt zu knüpfen.

Von Wichtigkeit ist es bei allen derartigen Untersuchungen, daß der Ort, an welchem die Wasserproben geschöpft werden, in geeigneter Weise gewählt sei. Kommt es darauf an – wie ich es mir in diesem Falle vorgesetzt hatte – einen Beitrag zur Charakteristik des ganzen Stromes zu liefern, so müssen die Proben in der Stromgegend geschöpft werden, wo bei mittlerem Wasserstande des oberen Stromes die letzten Spuren eines Aufstaus durch die Meeresfluth verschwinden. Man kann diesen Punkt als die eigentliche Mündung des Flusses in einen von der Meeresfluth beherrschten Meerbusen betrachten, wenn man vom gewöhnlichen Sprachgebrauche absieht. In dieser Gegend der Elbe (bei Geesthacht) ist während des erwähnten Zeitraumes täglich eine etwa 700 Grammen haltende Flasche Wasser im Stromstriche nahe der Oberfläche geschöpft, und wöchentlich eine solche Flasche aus größerer Tiefe, etwa 2 Fuß über dem Grunde. Die Füllung ward stets von demselben Manne ausgeführt, der die Flaschen sofort versiegelte, mit dem Datum versah und an das Bureau der Schifffahrt- und Hafen-Deputation in Hamburg abliefern. Da es sich bei der nachherigen Untersuchung bald herausstellte, daß unter gewöhnlichen Umständen die gefundenen Werthe des Schlickgehaltes eine genugsam regelmäßige Curve bilden, zu deren Festlegung man keiner täglichen Beobachtung bedarf, so konnte ein Theil der Flaschen zurückgestellt werden, um vorkommenden Falls zu nachträglichen Untersuchungen zu dienen, wenn solches zur Prüfung der gefundenen Resultate erfordert werden sollte. Es ist aber die Füllung der Flaschen niemals unterbrochen worden, so daß die Reihe der Proben ganz vollständig zur Disposition stand.

Bei der Untersuchung war das Augenmerk darauf gerichtet, Gleichförmigkeit des Verfahrens bei allen Versuchen mit thunlichster Vereinfachung der Arbeit bei jedem derselben zu vereinigen. Dies geschah auf folgende Weise: Jede der zu untersuchenden Flaschen erhielt auf der Außenseite ein Zeichen, welches genau die Füllungshöhe angab; dann ward mittelst eines Hebers das klare Wasser bis auf etwa 7 Zoll über dem Boden der Flasche abgezogen, der Rest ward filtrirt. Für jedes Experiment steckten 2 Filtra, die vorher bei 80° R. getrocknet, genau gleich von Gewicht gemacht und numerirt waren, in einander. Indem durch diese das Wasser durchfloß, wurden beide gleichmäßig vom Wasser und von den aufgelösten Stoffen afficirt, während die suspendirt gewesenen Stoffe in dem innern Filtrum zurückblieben und demnach das äußere Filtrum vollkommen schlickfrei war. Nach beendigter Filtration wurden beide Filtra getrocknet (80° R.) und dann so oft wiederholt gegen einander gewogen, bis die Gewichts-differenz nach jedesmaliger Hineinlegung in den Trockenapparat constant blieb. Die so gefundene Gewichts-differenz der beiden Filtra ist als das wirkliche Schlickgewicht angenommen. Die gebrauchte Waage gibt bei 15 Grammen Belastung auf jeder

<sup>1)</sup> Nach neueren, von Herrn ULEX in Hamburg mit großer Genauigkeit ausgeführten Untersuchungen, welche über einen 18 monatlichen Zeitraum vertheilt waren und mit hohen, mittleren und niedrigen Wasserständen zusammentrafen, hat sich die Quantität der im Elbwasser aufgelöst befindlichen Mineralien beinahe constant und im Mittel = 23,75 Gewichttheile auf 100000 Theile Wasser ergeben.

Schaale, mit 1 Milligr. Uebergewicht, noch einen Ausschlag und zieht bei dieser Belastung mit 2 Milligr. Uebergewicht noch sehr merklich, ihre Empfindlichkeit ist also ausgedrückt durch  $\frac{1}{30000}$ . Die Schlickgewichte sind auf diese Weise gewiß so genau gefunden worden, als es für den vorliegenden Zweck nur gewünscht werden kann. Vielleicht möchte Jemand Bedenken gegen das Abhebern des klaren Wassers haben und es vorziehen, stets den ganzen Inhalt der Flasche zu filtriren; ich habe mich durch eigends darauf gerichtete Experimente davon überzeugt, daß das Resultat hierdurch nicht verändert werden würde, während es natürlich die Arbeit ungemein vermehrt. Uebrigens ließ ich dennoch, um jedem Zweifel vorzubeugen, von Zeit zu Zeit die ganze Flasche durchfiltern und dies in der Tabelle der Versuche anmerken.

Das mit dem Schlickgewicht zu vergleichende Wassergewicht ward gefunden, indem jede Flasche bis an das oben erwähnte Zeichen ihrer Füllhöhe wieder mit Elbwasser gefüllt, und dann in eine scalarite Maaßflasche, an welcher das Gewicht in Grammen ohne Weiteres abgelesen werden konnte, umgegossen ward.

Es ist klar, daß hiermit das Verhältniß des Wassergewichts zum Schlickgewicht für den Tag, dessen Datum die untersuchte Flasche trug, gegeben war. Die Anzahl der Experimente ist 483, von denen 428 in der Nähe der Oberfläche, 55 in der Nähe des Grundes geschöpft sind; die gefundenen Werthe der ersteren bilden eine zusammenhängende Reihe, die einen 1½jährigen Zeitraum umfaßt und sich in Form einer Curve – die Schlickcurve könnte man sie nennen – darstellen läßt. Ich theile hier nur einige besonders bemerkenswerthe Partien derselben mit, da das Format die Aufnahme der ganzen Zeichnung nicht gestattet.

Die Discussion dieser Untersuchung führt zu folgenden Ergebnissen:

1. Der Durchschnittswerth des Schlickgehalts aus sämtlichen 428 an der Oberfläche genommenen Proben ist: 3,17 Gewichttheile Schlick auf 100 000 Gewichttheile Wasser.

2. Das Jahresmittel vom 1. März 1854 bis 28. Februar 1855 ist: 3,12 Gewichttheile Schlick auf 100 000 Gewichttheile Wasser; vom 1. Juli 1854 bis 30. Juni 1855: 2,80 Gewichttheile Schlick auf 100 000 Gewichttheile Wasser.

3. Die Monatsmittel des Schlickgehalts in Verbindung mit den entsprechenden Monatsmitteln des Wasserstandes sind folgende, wobei zu bemerken, daß der Wasserstand des Stromes an dem oberhalb der Beobachtungsstelle des Schlickgehalts belegenen öffentlichen Elbpegel zu Artlenburg, an welchem der mittlere Wasserstand nach 12jähriger Beobachtungen (1843 bis 1854) = 5 Fuß 4,24 Zoll hannov. M. über Null beträgt, notirt worden ist.

Die Formen der nach diesen Monatsmitteln gezogenen Curven in der Zeichnung Fig. 3 lassen noch keine deutliche Regel in Betreff der Beziehungen zwischen Wasserstand und Schlickgehalt durchblicken, jedoch sieht man schon so viel mit Bestimmtheit, daß keinesweges die höchsten Wasserstände mit dem größten Schlickgehalte zusammenfallen.

4. Werden die Experimente in der Weise gruppirt, daß man die bei steigendem, bei beharrendem und bei fallendem Wasserstande gemachten jede für sich gesondert zusammenfaßt, so ergibt sich Folgendes:

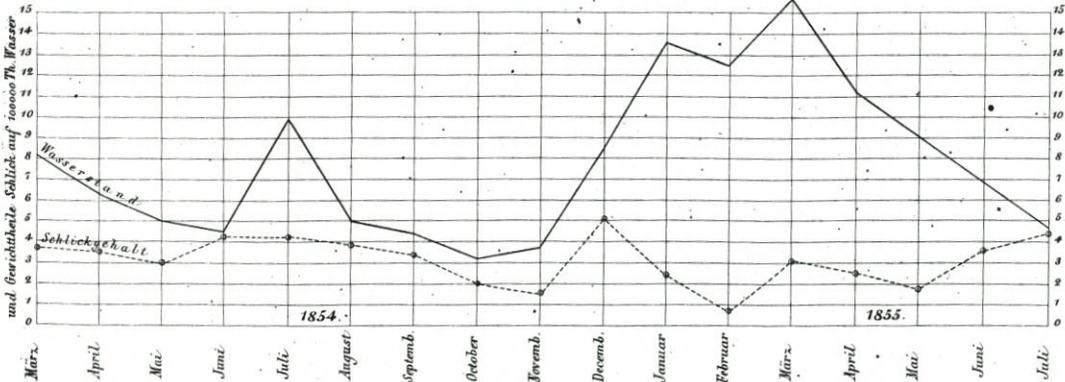
121 Experimente bei steigendem Wasser geben im Mittel 3,83 Gewichttheile Schlick,  
156 Experimente bei beharrendem Wasser geben im Mittel 2,77 Gewichttheile Schlick,  
151 Experimente bei fallendem Wasser geben im Mittel 3,02 Gewichttheile Schlick  
auf 100 000 Gewichttheile Wasser.

Es zeigt sich hieraus, daß der kleinste Durchschnittswerth bei den Beharrungsständen des Stromes stattfindet.

5. Das Maximum des Schlickgehalts fand sich bei dem Versuche am 19. December 1854,

		Wasserstand.		Anzahl der Expe- rimente.	Schlick- gehalt. Monats- mittel.
		Monatsmittel.			
1854.	Februar . .	—		7	—
	März . . . .	8 Fufs	2,92 Zoll	28	3,76
	April . . . .	6 -	3,93 -	26	3,52
	Mai . . . . .	4 -	11,82 -	25	3,00
	Juni . . . . .	4 -	6,70 -	27	4,23
	Juli . . . . .	10 -	0,05 -	26	4,21
	August . . . .	5 -	0,53 -	27	3,97
	September . .	4 -	5,13 -	23	3,28
	October . . . .	3 -	1,77 -	24	2,02
	November . . .	3 -	8,62 -	24	1,45
	December . . .	8 -	2,60 -	28	5,18
1855.	Januar . . . .	13 -	6,13 -	23	2,24
	Februar . . . .	12 -	4,55 -	21	0,55
	März . . . . .	15 -	8,64 -	25	3,02
	April . . . . .	11 -	0,87 -	24	2,37
	Mai . . . . .	9 -	2,10 -	23	1,73
	Juni . . . . .	6 -	10,48 -	25	3,63
	Juli . . . . .	4 -	9,32 -	22	4,42

Fig. 3. Monatsmittel.



nämlich 10,94 Gewichttheile Schlick auf 100 000 Gewichttheile Wasser. Die stärkste Trübung des Wassers hielt 6 Tage (18. bis 23. December) an, woraus das Mittel 10,12 Gewichttheile Schlick auf 100 000 Gewichttheile Wasser gab. Der Wasserstand in Artlenburg war  $7\frac{3}{4}$  Fuß über Null und steigend, der Strom war im Begriff, aus seinen Ufern zu treten und sich über die Vorländer auszubreiten. Es folgte hierauf die große Hochfluth der ersten Monate von 1855.

Nur noch einmal erreichte während der Dauer dieser Beobachtungen der Schlickgehalt eine ähnliche Höhe, jedoch nur für einen Tag (3. Juli 1854), wo auf 100 000 Theile Wasser 9,58 Theile Schlick kamen. Faßt man auch in diesem Falle 6 Tage zusammen, so erhält man deren Mittelwerth = 7,95 Theile Schlick auf 100 000 Theile Wasser. Der Wasserstand war  $7\frac{1}{2}$  Fuß über Null und steigend.

6. Das Minimum des Schlickgehalts fand am 8. Februar 1855 statt, wo auf 100 000 Theile Wasser nur 0,16 Theile Schlick kamen. Der Wasserstand hatte damals anhaltend die

bedeutende Höhe von 12 bis 13 Fuß über Null, der Strom war bei beständigem Frostwetter mit einer festen Eisdecke belegt; schon 2 Monate lang waren alle Vorländer überfluthet gewesen. Unter solchen Umständen muß eine fast vollständige Klärung des Wassers erfolgen.

7. Ordnet man die Experimente nach der Höhe des Wasserstandes in drei Gruppen, nämlich:

- a) diejenigen von dem niedrigsten bis zum mittleren Stande,
- b) diejenigen von dem mittleren Stande bis zum Eintritt der vollständigen Ueberfluthung der Vorländer,
- c) diejenigen bei noch höheren Wasserständen,

so werden die Ursachen, durch welche das Steigen und Fallen der Schlickcurve bedingt ist, deutlich erkennbar.

Die Höhe des mittleren Wasserstandes an dem genannten Pegel ist 5 Fuß  $\frac{3}{4}$  Zoll über Null; die Inundation der Vorländer kann bei einem etwa 4 Fuß höheren Stande, also bei circa 9 Fuß über Null, für vollständig angenommen werden. Daraus ergibt sich folgende Gruppierung:

- a) Schlickgehalt bei Wasserständen unter dem mittleren:

162 Versuche, im Mittel 2,92 Theile Schlick auf 100 000 Theile Wasser;

- b) Schlickgehalt bei Wasserständen von dem mittleren bis zur Ueberfluthung der Vorländer:

128 Versuche, im Mittel 4,17 Theile Schlick auf 100 000 Theile Wasser;

- c) Schlickgehalt bei höheren Wasserständen nach Ueberfluthung der Vorländer:

138 Versuche, im Mittel 2,52 Theile Schlick auf 100 000 Theile Wasser.

Man sieht hieraus, daß der Strom am trübsten ist, wenn er über seinem mittleren Stande steht, aber sich noch nicht oder nicht mehr bedeutend über das eigentliche Ufer erhebt; daß ferner die klarste Beschaffenheit mit den niedrigsten und höchsten Ständen verbunden ist.

Die allgemeine Regel, an welche die Natur bei dem Prozesse der Trübung und Abklärung der Ströme gebunden zu sein scheint, läßt sich durch speciellere Discussion der vorliegenden Versuche noch weiter enthüllen.

Es ist nämlich auffallend, daß gerade dann, wenn die Wasserstandcurve sich über den mittleren Stand erhebt, und der Strom aus seinen Ufern zu treten beginnt, die *Maxima der Schlickcurve* vorkommen; die Figuren 4, 5 und 6, welche einer weiteren Erläuterung nicht bedürfen, zeigen dies deutlich, am 17. März, 3. Juli und 19. December 1854 und den anliegenden Tagen.

Bei noch höherer Anschwellung des Stromes sinkt die Schlickcurve, wie dieselben Figuren zeigen; dann aber hebt sie sich wieder zu einem zwar minder stark ausgeprägten, aber doch erkennbaren Maximum, sobald bei fallendem Wasser der Strom in seine Ufer zurückkehrt; vergl. Fig. 5 den 29. bis 31. Juli.

Andeutungen desselben Gesetzes findet man auch in anderen Theilen der Curve, aber sie werden durch mitwirkende Nebenumstände, welche sich der Beobachtung entziehen, zuweilen verhüllt und modificirt, wenn nicht die Hauptursache, nämlich das Herrannahen oder Verlaufen einer Stromanschwellung besonders kräftig in die betreffenden Verhältnisse eingreift. Die Erklärung des hier obwaltenden Naturgesetzes hat keine Schwierigkeit. Wenn aus den oberen Stromgegenden die mit Schlick beladenen Gewässer einer herrannahenden Hochfluth sich im Strombette abwärts bewegen, so muß aller Orten der Schlickgehalt so lange zunehmen, als der Strom in seinen gewöhnlichen Ufern zusammengehalten bleibt, wo er keine Ruhe zum Fallenlassen der mitgeführten Sinkstoffe findet, und aus allen Nebenzuflüssen noch eine Vermehrung dieses Materials erhält. Wenn aber die Vorländer überfluthet sind, so findet auf ihnen die allbekannte Ablagerung des Schlicks, mithin die Klärung des Wassers statt, nach

Fig. 4.

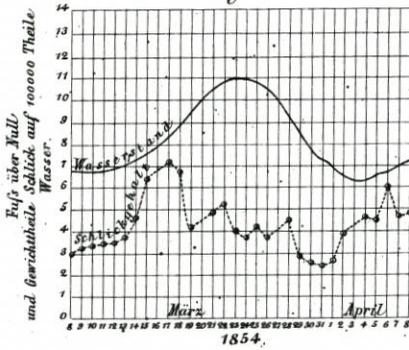


Fig. 5.

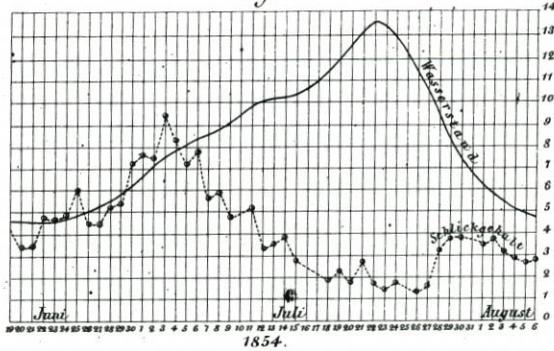
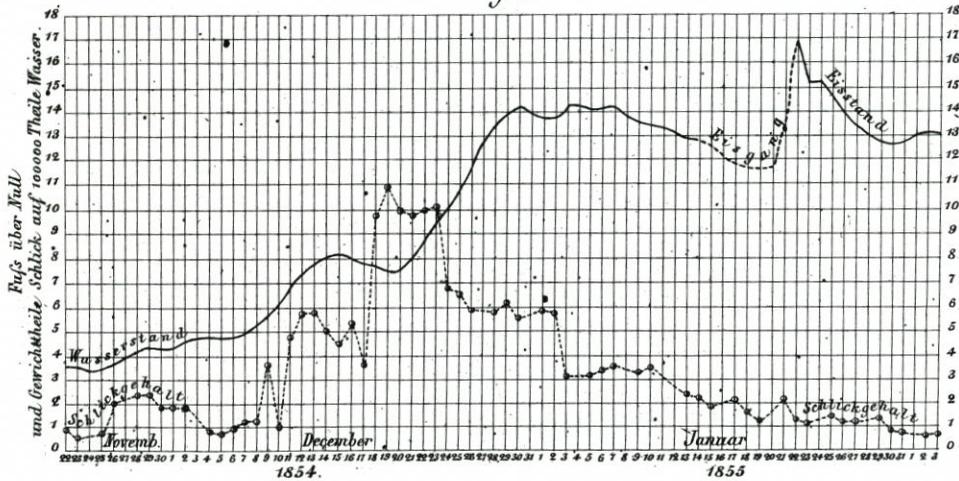


Fig. 6.



welcher bei anhaltenden, sehr hohen Anschwellungen dasselbe fast vollkommen klar durch den Hauptstrom abwärts geführt wird. Treten dann, nach vorübergegangener Hochfluth, die überschwemmt gewesenen Vorländer nach und nach zu Tage, so sind dieselben mit einer halbflüssigen Decke von frisch gefallenem Schlick überzogen, und das von ihnen oft mit starkem Gefälle abfließende, in einzelnen Rinnen, Prieln und alten Stromarmen sich zusammenziehende Wasser muß, indem es viele Schlicktheile wieder aufnimmt und mit sich fortreißt, den Hauptstrom merklich trüben.

Von großem Interesse ist es, dieses Gesetz durch Beobachtungen bestätigt zu sehen, welche HAGEN an der Jade angestellt und in den Monatsberichten der Königl. Preuß. Akademie der Wissenschaften (Juni 1856) veröffentlicht hat. Der Jade-Meerbusen ist ein Gewässer, welches aus dem Binnenlande nur unbedeutende, vollkommen klare Zuflüsse empfängt; die Veränderungen des Schlickgehalts seines Wassers sind allen denjenigen Ursachen zuzuschreiben, welche mit der täglich zweimal wiederkehrenden Fluthbewegung im Zusammenhange stehen. Hier sind demnach die Verhältnisse einfacher und regelmäßiger, die Perioden vom Maximum zum Minimum sind viel kürzer, die Wiederholung des Wechsels ist viel häufiger, als dies bei dem großen binnenländischen Strome, auf den die vorhergehende Untersuchung sich bezieht, der Fall ist. Im Uebrigen aber finden in Bezug auf die vorliegende Frage in beiden Fällen ähnliche Umstände und Bedingungen, und in Folge dessen auch

ähnliche Erscheinungen statt. Auch im Jade-Meerbusen sind, wie bei der Elbe, wenn der Spiegel niedrig ist, die Gewässer in engeren, tief ausgefurchten Rinnsalen vereinigt, und breiten sich, sobald sie ein gewisses Niveau überstiegen haben, über weite, ebene Flächenräume aus; auch hier lassen sie, nach Ueberfluthung dieser Flächen, die in Suspension gehaltenen Schlicktheilchen fallen, und führen einen Theil derselben wieder mit sich fort, wenn der Wasserspiegel wieder so weit gesunken ist, daß der Strom sich in den engeren Rinnsalen zusammenzieht, und auch hier ist das Wasser am stärksten mit Schlicktheilchen beladen, wenn die steigende Fluth sich über die bei der Ebbe wasserfrei gewordenen weiten Bodenflächen auszubreiten beginnt. Die Häufigkeit und große Regelmäßigkeit des Processes der abwechselnden Trübung und Klärung des Wassers in der Jade macht es dort möglich, durch Wiederholung der Beobachtung Mittelzahlen zu erhalten, in denen, durch Eliminirung alles Zufälligen, Störenden, die allgemeine Regel sich klar ausprägt.

Man erkennt darin auf den ersten Blick die Analogie mit der Form der Schlickcurve bei den Hochfluthen der Ober-Elbe (Fig. 4 bis 6), ungeachtet der bei letzterer unmöglich zu eliminirenden, störenden Nebeneinwirkungen. HAGEN hat in der erwähnten Abhandlung das gefundene Schlickverhältniß auf Raumtheile in der Form von Töpferthon reducirt; nach Gewicht ausgedrückt, läßt sich dasselbe bequemer mit den obigen, die Elbe betreffenden Resultaten vergleichen, weshalb ich, unter Annahme des der Form von Töpferthon entsprechenden specifischen Gewichts = 1,7, die Zahlen für Gewichtsverhältniß gebe.

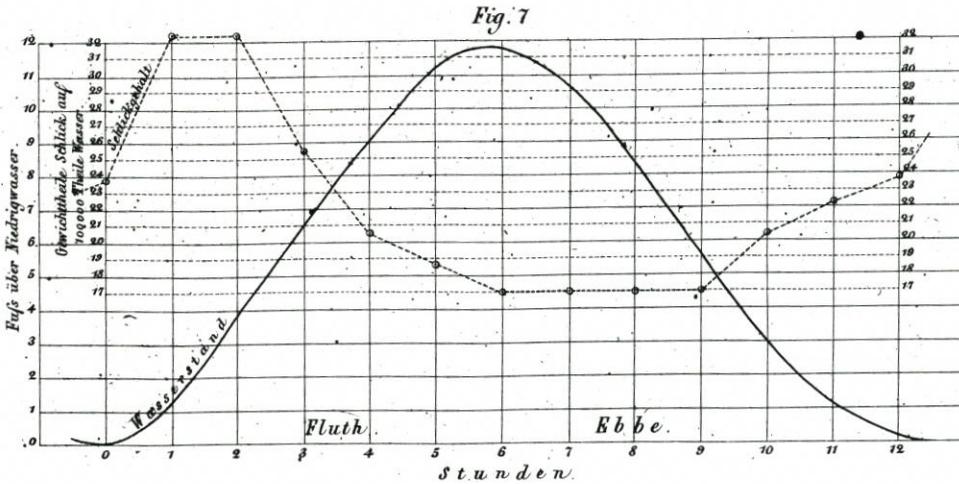
Der Schlickgehalt des Jade-Wassers war auf 100 000 Gewichttheile Wasser:

bei Niedrigwasser	23,8	Theile	Schlick,
- 1 Stunde Fluth	32,3	-	-
- 2 - -	32,3	-	-
- 3 - -	25,5	-	-
- 4 - -	20,4	-	-
- 5 - -	18,7	-	-
- Hochwasser	17,0	-	-
- 1 Stunde Ebbe	17,0	-	-
- 2 - -	17,0	-	-
- 3 - -	17,0	-	-
- 4 - -	20,4	-	-
- 5 - -	22,1	-	-
- Niedrigwasser	23,8	-	-

Die Figur 7 zeigt diese Schlickcurve nebst der zugehörigen Wasserstandscurve. Gewiß ist dies in Betreff des obwaltenden Gesetzes unverkennbar übereinstimmende Ergebnis zweier Untersuchungen, die völlig unabhängig von einander, in ganz verschiedenen Lokalitäten, zu verschiedenen Zwecken und auf verschiedene Weise ausgeführt sind, von um so größerem Interesse, je weniger man vermuthen konnte, daß in reinen Meeresfluthverhältnissen dasselbe Gesetz hervortreten würde, welches den Schlickgehalt des oberen Stromes regiert.

Auch nach Untersuchungen, welche im Januar 1859 im Hafen zu Cuxhaven an der Mündung der Elbe angestellt sind, zeigen sich analoge Erscheinungen; es ist indeß die Zahl der Experimente nicht ausreichend, um das dortige Gesetz durch eine Curve darzustellen. Das Maximum des daselbst beobachteten Schlickgehalts war auf 100 000 Gewichttheile Wasser 20,1 Theile Schlick bald nach Niedrigwasser; das Minimum, um die Zeit des Hochwassers, betrug auf 100 000 Gewichttheile Wasser nur 1,7 Gewichttheile Schlick.

Die Wahrnehmung, daß im Bereiche der Meeresfluth sich in Strommündungen oft ein weit größerer Schlickgehalt zeigt, als in dem oberen binnenländischen Strome, fand ich noch durch einen Versuch bestätigt, den ich im September 1854 ausführte. Ich ließ nämlich mitten



im Fahrwasser der Unter-Elbe, bei stürmischer Witterung und starkem Wellenschlage, eine große Korbflasche mit Wasser füllen. Die 9732 Grammen Wasser, welche dieselbe enthielt, gaben 1,683 Grammen trocknen Schlick, d.h. auf 100 000 Gewichttheile Wasser 17,29 Gewichttheile Schlick, beinahe doppelt so viel als das während eines anderthalbjährigen Zeitraumes an der Ober-Elbe beobachtete Maximum.

8. Die Beobachtungen des Schlickgehalts in der Nähe des Grundes geben, nach meinen Versuchen, kein constantes Verhältniß zu denen nahe an der Oberfläche. In meiner Versuchsreihe kommen 53 Doppelexperimente vor, die eine solche Vergleichung gestatten; von diesen geben 31 einen größeren Schlickgehalt in der Nähe des Grundes, 22 einen größeren in der Nähe der Oberfläche; der Durchschnitt aus allen würde in der Nähe des Grundes etwa 5pCt. des durchschnittlichen Schlickgehalts mehr geben als in der Nähe der Oberfläche.

HAGEN fand an der Jade den Schlickgehalt in der Nähe des Grundes um  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{5}$  größer als an der Oberfläche.

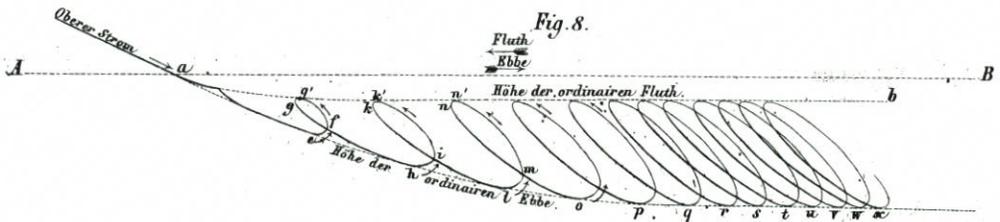
Es scheint mir, daß unweit des Grundes eine zu große Menge zufälliger Umstände auf die mehr oder minder vollkommene Vermischung des Schlicks mit dem Wasser einwirkt (ich erinnere nur an die inneren Bewegungen und Wirbel im Wasser), als daß eine gute Harmonie der Resultate erwartet werden dürfte, außer wenn eine sehr große Zahl von Beobachtungen mit Beachtung aller Nebenumstände speciell für diesen Zwecken arrangirt ist.

Die Bewegung der Schlicktheilchen kann, wie die aller übrigen Sinkstoffe, durch strömendes Wasser auf zweierlei Art bewirkt werden, nämlich entweder, indem sie mit dem Wasser vermenget und darin schwebend (in Suspension) sind, oder indem sie am Boden des Strombettes liegen und von dem darüber in Bewegung befindlichen Wasser fortgewälzt oder geschoben werden. Selten oder nie sehen wir Schlicktheilchen anders als schwebend fortbewegt, wenigstens ist es mir nicht gelungen, Experimente so anzuordnen, daß sie das Wälzen oder Schieben – welches beim Sande leicht darzustellen ist – auch beim Schlick zur Anschauung bringen. Dies rührt von der ungemein leichten Beweglichkeit der Schlicktheilchen her, vermöge welcher schon die kleinsten Wirbelbewegungen des Wassers Parteien davon aufnehmen und wolkenähnlich mit dem Strome fortführen, wodurch das Wasser stark getrübt und der Anblick des Bodens dem Beobachter entzogen wird. Mittelst des Mikroskops kann man sich leicht eine recht interessante Anschauung von dem verschiedenen Grade der Beweglichkeit der Theilchen verschaffen, wenn man etwas schlickhaltigen Sand unter eine

mäßige Vergrößerung bringt und denselben mit einem Tropfen Wasser benetzt; man sieht dann, wie die feinsten Schlicktheilchen mit der größten Geschwindigkeit an den kleinen Wellenbewegungen des Wassers, die sich leicht erzeugen lassen, Theil nehmen, diesen folgen die Bruchstücke von Thierschaalen und dergl.; langsamer, jedoch ebenfalls leicht im Wasser schwebend, bewegen sich Glimmerblättchen, Quarzkörner aber bleiben am Boden liegen und werden, wenn sie klein genug sind, langsam verschoben oder umgekantet; ich habe mir diesen interessanten Anblick wiederholt verschafft, und empfehle das Experiment Jedem, der auf unmittelbare Naturanschauung Werth legt.

Eine, in Verbindung mit andern auf die Bewegung des Sandes im Strombette bezüglichen Experimenten, im Jahre 1853 gemachten Beobachtung<sup>1)</sup> zeigte auf der Oberfläche einer bei der Elbe frei kommenden, frischen Schlickablagerung sehr feine Wellenformen. Es waren in jenem Falle auf einem abhängigen Schlickwatte 3 Rechtecke, *A*, *B*, *C* ausgegraben und dann mit hochrothem Sande, der sich auch in einzelnen Körnern unter der Schlickmasse erkennen ließ, zu gleicher Höhe mit der Umgebung wieder ausgefüllt. Nachdem zwei Fluthen darüber gegangen waren, wurden folgende Bemerkungen gemacht. In dem am niedrigsten belegenen Rechtecke *A* waren einige wenige Sandkörner sowohl in der Richtung der Ebbe als auch der Fluth bis zu 1 Fuß Entfernung fortbewegt, und die ganze Fläche war  $\frac{1}{4}$  Zoll hoch mit Schlick bedeckt, durch welchen man die rothe Farbe des Sandes nicht durchscheinen sehen konnte. In dem mittleren Rechtecke *B* war die Bewegung der Sandkörner geringer, auch die Schlickdecke dünner, und man konnte am oberen Ende der Fläche etwas von der röthlichen Färbung durchschimmern sehen. In dem am höchsten belegenen Rechteck *C* waren keine Sandkörner bewegt, und durch die sehr dünne Schlicklage, welche den Sand bedeckte, schien dieser deutlich durch; es war aber die in regelmäßigen Formen ungleiche Dicke der Schlicklage daran zu erkennen, daß die durchscheinende rothe Färbung sich in feinen geregelten Querstreifen schattirte. Hier waren also ohne Zweifel Schlickwellen vorhanden, die auf analoge Vorgänge schließen lassen, wie diejenigen, welche bei der wälzenden Sandbewegung vorkommen und von DUBUAT und HAGEN (Handb. II, 1. § 56) beschrieben sind.

Die Bewegung der in Suspension befindlichen Wassertheilchen ist, so lange dieselben vom Strome fortgetragen werden, nicht verschieden von der Bewegung der Wassertheilchen selbst; sie werden also, sobald sie in denjenigen Theil des Stromgebietes gelangt sind, auf welchen die Meeresfluth einwirkt, abwechselnd aufwärts und abwärts geführt, und erreichen erst nach langem Hin- und Herschwanen den Ausfluß in das Meer, falls sie überall dahin gelangen und nicht vorher vom Strome abgelagert werden. Es ist von Interesse, den Weg, welchen ein schwimmendes Schlicktheilchen im Bereiche der Meeresfluth zurückzulegen hat, genauer zu betrachten. Sei in Figur 8 die Linie *AB* eine Horizontale durch denjenigen Punkt des Stromspiegels, an welchem das Abwärtsfließen des Stromes zum erstenmale eine Verzögerung durch Rückstau von der Meeresfluth erleidet. Ferner sei *ba* diejenige Linie, welche der Gipfel der Fluthwelle vom Meere bis zum oberen Strom beschreibt, oder mit anderen



<sup>1)</sup> Ausgeführt von dem Wasser-Bauinspector DALMANN.

Worten die Höhe der ordinären Fluth, und  $ac$  sei diejenige Linie, welche der Fuß der Fluthwelle beschreibt, oder die Höhe der ordinären Ebbe längs des ganzen Fluthgebietes dieses Stroms. Das Schlicktheilchen, dessen Weg nun genau verfolgt werden soll, befinde sich zu Anfang der Betrachtung in dem Punkte  $a$ , wo es durch Rückstau einen kurzen Aufenthalt erfährt, dann aber alsbald seinen Weg seewärts wieder fortsetzt. So gelangt es nach ungefähr 6 Stunden an einen Punkt  $e$ , welcher in einer Gegend liegt, wo nicht blos Aufstau, sondern auch wirklicher Rückstrom durch die Fluth erzeugt wird; aber schon vor dem Eintritte des Rückstromes beginnt der Wasserspiegel sich zu heben, das Schlicktheilchen schreitet also noch eine zeitlang mit allmählig verzögerter Bewegung seewärts fort, während der Wasserspiegel und das Theilchen selbst schon im Steigen begriffen ist; dann wird es bei  $f$  durch den Fluthstrom umgelenkt und schwebt langsam eine Strecke rückwärts, etwa bis  $g$ . Der Culminationspunkt der Curve liegt aber zwischen  $f$  und  $g$ , etwa in  $g'$ , weil auch das Fallen des Wasserspiegels früher eintritt als der Stromwechsel<sup>1)</sup>. Es beginnt nun von  $g$  an wieder eine etwa 6stündige Passage seewärts, bis die nächste Fluth erst bei  $h$  die Hebung dann bei  $i$  die völlige Umlenkung des Schlicktheilchens bewirkt; dieses wird dann durch den Fluthstrom aufwärts bis  $k$  geführt, und dieselbe Reihenfolge der Erscheinungen wiederholt sich noch unzählige Male, bevor die offene See erreicht wird. Hierbei ist nun Folgendes zu bemerken: Bei jeder einzelnen Wiederholung gelangt das Schlicktheilchen etwas weiter seewärts, als es das vorhergehende Mal gekommen, aber die Größe dieses Fortschrittes, in der Figur durch die Entfernungen  $ch$ ,  $hl$ ,  $lo$ ,  $op$ ,  $pq$  dargestellt, ist abnehmend, und müßte zuletzt verschwindend klein werden, wenn die Fluthwellen alle gleich groß wären und alle ungestört verliefen. Dies ist jedoch bekanntlich nicht der Fall, so daß von einer Berechnung der einzelnen Fälle nicht die Rede sein kann, und in diesen bald die ausgehende, bald die eingehende Strömung das Uebergewicht hat; selbstverständlich aber muß die algebraische Summe vieler Passagen einen Ueberschuß der Bewegung seewärts geben. Die Größe dieses Ueberschusses läßt sich für jeden einzelnen Ort berechnen, wenn man die Größe des Stromprofils an diesem Orte genau und die jährliche Wassermenge des oberen Stromes annähernd kennt. Die auf diese Berechnung sich gründenden wichtigen Folgerungen, in Betreff der wälzenden oder schiebenden Bewegung der Sinkstoffe, können nur im Zusammenhange mit Beobachtungen der Bewegung des *Sand's* vorgetragen werden, die zu umfangreich sind, um sie hier einzuschalten. Die im Strome suspendirten Sinkstoffe gebrauchen, wenn sie nicht vorher abgelagert werden, einen etwa zweimonatlichen Zeitraum, um den circa 18 Meilen langen Weg vom oberen Ende des Fluthgebietes der Elbe bis in die See zurückzulegen.

Aber nicht die ganze Schlickmenge, welche der Strom herabführt, gelangt bis in das Meer, bei weitem der größere Theil derselben wird durch periodische Anschwellungen des Stromes in die Einbuchten, Häfen und anderen Einschnitte der Ufer geführt, oder auf überflutheten Niederungen abgelagert. Die dadurch bewirkte Bodenerhöhung, *Aufschlickung* genannt, wird bekanntlich von dem Landmanne, dem sie willkommenen Gewinn bringt, so viel als möglich durch geeignete Beihülfe gefördert, dagegen aber aus dem Gesichtspunkte der Interessen des Schiffsverkehrs, also namentlich in den Häfen, als eine schädliche Naturwirkung betrachtet, die man auf jede thunliche Weise aufzuheben sucht, wenn man ihr nicht ganz vorbeugen kann. Die Aufschlickung hat indeß auch auf diesem

<sup>1)</sup> Die Ursache dieser bekannten Erscheinungen ist das Beharrungsvermögen der Wassermasse, deren Bewegung nicht sofort die entgegengesetzte Richtung annimmt, wenn die Neigung des Spiegels verändert wird, wozu noch der Umstand hinzukommt, daß beim Uebergange vom Steigen zum Fallen, und umgekehrt, auch das Gefälle nicht sofort in das entgegengesetzte verwandelt wird, sondern dazu einige Zeit gehört.

Gebiete, nämlich im Interesse der Schiffbarkeit großer Ströme bei ihrem Uebergange in das Meer, eine wohlthuende, unermesslich wichtige Bedeutung, indem durch die ununterbrochen stattfindende Aufschlickung zur Seite des Hauptstromes eine regelmäßig fortschreitende Einengung der Strombahn bewirkt wird, welcher wir die Erhaltung der Fahrtiefe in solchen Strömen größtentheils zu verdanken haben. Ein Strom, dessen Gewässer nur Sand mit sich führten, würde im Bereiche der Meeresfluth in nicht langer Zeit völlig unschiffbar werden.

Die Art und Weise, in welcher die Aufschlickung vor sich geht, und das Maaß ihres Fortschreitens, kann bei gleichem Schlickgehalte des in Rede stehenden Gewässers sehr verschieden sein, je nach Beschaffenheit der betreffenden Lokalität. Am einfachsten ist die Beurtheilung der Sache in solchen Fällen, wo nur die Ablagerung der in Suspension befindlichen Schlicktheilchen zur Erhöhung des Bodens beiträgt; die Aufschlickung wird alsdann auch Schlickfall genannt, und läßt sich nach der vorhin speciell erörterten Methode berechnen. Vorzugsweise ist dieser Gesichtspunkt anwendbar auf Colmationsanlagen und auf geschlossene Häfen, wenn diese zeitweilig durch ihre engen, im Vergleich zum Flußbette hochliegenden Schleusen trübes Wasser empfangen.

Anders verhält sich die Sache in offenen Häfen, deren Inneres durch die weite Hafenmündung im Zusammenhange mit dem Stromspiegel außerhalb des Hafens steht, und an den Schwankungen des letzteren freien Antheil nimmt. Hier ist es nicht allein der Schlickfall, sondern auch die am Boden des Strombettes stattfindende Schlickbewegung durch Wälzen oder Schieben, wodurch die Aufschlickung bewirkt wird, sobald nämlich das Strombette und der Wattgrund in der Gegend des Hafengrundes schlickhaltig und die Hafentiefe nicht sehr viel geringer ist als die Stromtiefe. Noch anders muß die Aufschlickung im Innern von Spühlbassins beurtheilt werden, die bei weitem langsamer als offene Häfen und Colmationsanlagen aufschlickten, wengleich sie an einem Gewässer von gleichem Schlickgehalte belegen sein mögen. In ganz eigenthümlicher, von den vorhergehenden Fällen völlig verschiedener Weise gestaltet sich endlich die Aufschlickung im freien Strome, wo dieselbe auch Marschbildung oder Landbildung genannt wird.

In Betreff der verschiedenen Eigenthümlichkeiten der drei zuletzt erwähnten Fälle, nämlich der offenen Häfen, der Spühlbassins und der freien Ströme, erlaube ich mir noch Folgendes zu bemerken. Soll ein offener Hafen von der oben beschriebenen Beschaffenheit in Betreff seiner Aufschlickung beurtheilt werden, so kommt es allerdings zunächst auf die Bestimmung der Größe des daselbst anzunehmenden Schlickfalls an, d. h. auf die Menge der im strömenden Wasser enthaltenen suspendirten, im Innern des Hafens abzulagernden Schlicktheilchen. Diese nach dem vorhin Mitgetheilten leicht zu ermittelnde Raumgröße ist gleichsam als das erste Glied einer algebraischen Summe zu betrachten, durch welche letztere die ganze Wirkung der Aufschlickung ausgedrückt gedacht wird. Als das zweite Glied derselben hat man sich den zusammengesetzten Effect der durch die Hafenmündung aus- und eingehenden Strömungen zu denken, dergestalt, daß dieses positiv ist, wenn der eingehende, und negativ, wenn der ausgehende Strom eine stärkere Wirkung auf das Grundbette ausübt. Die Geschwindigkeiten dieser Strombewegungen sind allerdings in den meisten Fällen sehr klein, es ist aber auch nur eine sehr geringe Bewegung des Wassers erforderlich, um Schlicktheilchen in wälzende Bewegung zu versetzen. Die Art, wie in jedem einzelnen Falle die Stromgeschwindigkeit in der Hafenmündung gefunden wird, darf ich als bekannt voraussetzen; durch genaue Discussion des gegebenen Falles, namentlich der Form der Fluthcurve, der veränderlichen Größe des Stromprofils und der ebenfalls veränderlichen Größe der inneren Wasserfläche, soweit dieselbe an den Schwankungen des Hauptstromes Theil nimmt, muß man das Maximum der Stromgeschwindigkeit für die Periode des Steigens (der Fluth), sowie auch für die Periode des Fallens (der Ebbe) ermitteln, und dann diese beiden

Maxima mit einander vergleichen. Ist das Maximum bei der Fluth größer, so überwiegt die Wirkung des eingehenden Stromes, das zweite Glied wird positiv, die Aufschlickung wird größer als der Schlickfall; wenn aber das Maximum der Stromgeschwindigkeit bei der Ebbe größer ist, so überwiegt die Wirkung des ausgehenden Stromes, das zweite Glied wird negativ und die Aufschlickung ist geringer als der Schlickfall. Dies letztere Verhältniß herbeizuführen, wo die Natur dasselbe versagt, ist der Hauptzweck künstlicher Spühlanstalten.

Um von dem Verhalten der Aufschlickung im Innern eines Spühlbassins eine deutliche Vorstellung zu erhalten, ist zu beachten, daß solche Bassins durch enge Einlaßöffnungen während der Fluth langsam gefüllt werden, daß alsdann, sobald nach Hochwasser die Schleusenthore geschlossen sind, ein Zeitraum eintritt, während dessen das Wasser im Innern derselben stille steht, sofern es nicht vom Winde in Wellenbewegung gehalten wird, und daß endlich, sobald gegen die Zeit des Niedrigwassers die Spühschleusen geöffnet werden, in dem bis dahin horizontal aufgestaut gewesenen Gewässer des Bassins sich starke Gefälle und große Stromgeschwindigkeiten ausbilden.

Die Folge dieser Eigenthümlichkeiten ist, daß nur suspendirte Schlicktheilchen mit dem Füllungswasser in das Bassin gelangen können, daß dieselben zwar während des Stillstandes fast vollständig im Bassin abgelagert, daß sie aber alsdann während der Zeit der Spülung von den Strömungen, die sich im Innern des Bassins bilden, größtentheils wieder in Bewegung gesetzt und fortgeführt werden. Den Beweis hierfür liefern Beobachtungen des Schlickgehalts, welche in derselben Weise, wie die vorhin beschriebenen von der Ober-Elbe, im Jahre 1859 zu Cuxhaven ausgeführt sind; nach denselben enthielt das zur Füllung des Spühlbassins durch den Hafen einströmende Wasser auf 100 000 Gewichttheile Wasser 4 bis 7 Theile Schlick; dasselbe klärte sich nach geschlossenem Spühlbassin im Innern des letzteren so weit ab, daß es auf 100 000 Theile Wasser nur noch 1 Theil Schlick enthielt, und nahm dann nach Oeffnung der Schleuse eine so starke Trübung im Innern des Bassins an, daß auf 100 000 Theile Wasser 13 Theile Schlick gefunden wurden, ein Verhältniß, welches möglicherweise noch gesteigert worden wäre, wenn man nicht die Beobachtungen vor völliger Beendigung der Spülung abgebrochen hätte. Man kann sich ein Spühlbassin so gestaltet denken, daß sämtliche Querprofile in jedem einzelnen Stromlauf, Canal oder Graben des ganzen Bassins diejenige Form und Größe haben, bei welcher die Stromgeschwindigkeit während des Abflusses gerade genügt, um die Erdtheilchen vollständig wieder aufzunehmen, die in der eben vorhergegangenen Tiede abgelagert wurden. Könnte ein solcher Zustand für alle Theile eines Spühlbassins gleichzeitig herbeigeführt werden, so befände dasselbe sich im Beharrungszustande, wäre gar keiner Aufschlickung unterworfen, und in dieser Hinsicht vollkommen. Allein dies ist, obwohl danach gestrebt werden muß, dennoch in Wirklichkeit nicht erreichbar, sondern es bleibt in einer oder der andern von der Schleuse entfernten Gegend des Bassins ein kleiner Theil des abgelagerten Schlicks liegen, und dies wirkt auf die näher bei der Schleuse liegenden Bassintheile in der Art ein, daß dort die durchströmende Wassermenge, mithin das ausscheuernde Vermögen nach und nach abnimmt. So wird der etwa künstlich hervorgebrachte Zustand des Gleichgewichts zwischen Aufschlickung und Aufscheuerung bald wieder gestört, und weil die Wirkung der störenden Ursachen sich unaufhörlich wiederholt, so schlickten die Spühlbassins allmählig auf. Es ist aber dabei der Umstand von Wichtigkeit, daß dies viel langsamer von statten geht, als der nach dem Schlickgehalte des Wassers berechnete Schlickfall, daß mithin Verlandungen, wie sie bei offenen Wattflächen schon nach wenigen Jahrzehnten bemerkbar werden, bei Spühlbassins, unter zweckmäßig geleiteten Verhältnissen, erst nach Jahrhunderten zu erwarten sind. Die Rücksicht sowohl auf die Erhaltung des Spühlbassins als auch auf die Hafentiefe erheischt, daß die Füllung des Bassins, wenn irgend thunlich, nicht durch die Spühschleuse, sondern durch eine außerhalb des Hafens belegene

Einlaßschleuse stattfindet; die Gründe dieser Regel sind nach dem Vorhergehenden leicht zu erkennen.

Bei Beobachtung von partiellen Ausgrabungen und deren Wiederaufschlickungen im Innern von Spühlbassins kann man leicht in den Irrthum verfallen, als ob die Aufschlickung des Bassins im Allgemeinen viel rascher vor sich gehe, als dies in Wirklichkeit der Fall ist. Es werden nämlich in solche ausgegrabene Tiefen allemal beträchtliche Schlickmengen aus dem benachbarten höheren Theil des Bassins hinabgespült, und die Folge davon ist, daß die vertieften Stellen gleichsam mit Riesenschritten wieder aufschlickten. Diese Erscheinung, die in Wahrheit nichts weiter ist, als eine Planirung des Bassins durch die im Innern desselben bei jeder Spülung entstehenden Strömungen, hat mit dem von außen in dasselbe hineindringenden Schlick nichts gemein, und darf nicht als ein Erfahrungsmaßstab für die Aufschlickung des Bassins im Ganzen angesehen werden.

In Betreff der Aufschlickung in den Stromschläuchen und Rinnen des freien Stromes selbst sind folgende Eigenthümlichkeiten zu bemerken. Im tiefsten Rinnsal oder dem Thalwege eines Stromes lagert sich in der Regel kein Schlick ab; wenn aber irgendwo im Strombette, etwa durch Sandbewegung, angeschwemmte Moorstücke oder dergl., eine Erhöhung des Strombodens entstanden ist, welche die Höhe der halben Fluth erreicht oder übersteigt, so pflegt solches durch die den Strom und die Wellen mäßigende Wirkung dem Schlick eine Lagerstätte darzubieten. Es geht indeß Anfangs damit sehr langsam, unter häufigen Störungen und Unterbrechungen, bis durch ein meist zufälliges Zusammentreffen begünstigender Umstände, oder durch künstliche Nachhülfe die Schlickablagerung eine solche Höhe erreicht, daß die Vegetation sich dieser Grundlage bemächtigen kann. Von diesem Zeitpunkte an geht es sehr rasch bis zur Höhe der ordinären Fluth, auch wohl noch etwas darüber hinaus; dann erfolgt die weitere Erhöhung wieder langsamer, ganz nach Art der Colmationen, zu denen sie nun gerechnet werden muß. Diese Erscheinungen lassen sich an jedem trüben Strome leicht beobachten; es ist auch die ganze Praxis bei Beförderung von Anwachs und Erhöhung der Außendeiche durch Begrüppung, Buschpflanzung u. s. w. darauf gerichtet, so schnell als möglich einige Vegetation hervorzurufen, um dadurch Strömung und Wellenbewegung über dem zu erhöhenden Boden zu mäßigen, und somit eine möglichst vollständige Abklärung des Wassers zu bewirken. Wo dieser Zweck erreicht wird, da fördern Alluvion und Vegetation sich gegenseitig in kräftiger Wechselwirkung.

Es knüpft sich an diese Betrachtung eine hier noch kurz zu berührende Frage von geologischem Interesse, welche die ausgedehnten, im Fluthgebiete unserer Ströme befindlichen, offenbar durch Alluvion gebildeten Marschlande betrifft. Sollen wir der Vorstellung Raum geben, daß diese alten Marschen (deren Flächengröße an der Elbe mehr als 30 Quadratmeilen, über die Hälfte des ehemaligen Meerbusens beträgt) in ganz ähnlicher Weise wie die jetzt vor unseren Augen aufwachsenden Inseln und Außendeiche nur nach der Wirkung zufällig zusammentreffender Umstände sich stückweise über das Wasser erhoben, und dann nach und nach mittelst Ausfüllung der Zwischenräume an einander angeschlossen haben, oder ist hier ein einmaliger, gleichsam das Ganze beherrschender, rascherer Bildungsprozeß der Natur anzunehmen? Die Antwort ist unter Berücksichtigung der großen Waldmoorschichten, auf denen unsere alten Flußmarschen ruhen, nicht schwierig. Es leidet nämlich zwar keinen Zweifel, daß diese Ueberreste zerstörter Waldungen schwimmend gewesen seien, so lange noch keine sie beschwerende Schlickmassen darauf abgelagert waren, aber nur kurze Zeit wird erfordert, um eine derartige Schicht von Vegetabilien zum Sinken zu bringen, wenn schlickhaltiges Wasser sie zu wiederholten Malen durchdringt und nach Zurücklassung des Schlicks wieder daraus zurückzieht. Dies beweist in den schlickreichsten Gegenden unserer Ströme ein Verfahren der Bühnenmeister, welche die aus Faschinen

gebildeten Sinkstücke einige Tage lang dem Durchzuge des schlickhaltigen Wassers auszusetzen pflegen und sie dadurch so mit Schlick anfüllen, daß sie beim Senken nur noch wenig Beschwerungsmaterial hinzuzufügen brauchen. Ein solches Sinkstück hat, abgesehen von den Dimensionen, die größte Aehnlichkeit mit den Waldmooren, die unter unsern Flußmarschen liegen. In dieser theils schwimmenden, theils den Grund berührenden Masse, welche den Ebbespiegel größtentheils überragte und von der täglichen Fluth mehr oder minder bedeckt ward, war sofort in weiter Ausdehnung eine Grundlage für neue Vegetation gegeben, als die Schlickablagerung sie zu überziehen begonnen hatte. Ein anderer die Schlickablagerung fördernder Umstand kam hinzu, nämlich das Zusammendrücken der Moorschicht bei zunehmender Belastung. In Folge dieses Umstandes haben lange Zeit hindurch jene großen sumpfigen Flächen nur an Festigkeit, nicht an Höhe zugenommen, so daß es wohl anzunehmen ist, daß die Fluthen Jahrtausende hindurch immer neue Schlickmassen darauf niederlegten, ohne in ihrer oberflächlichen Ausbreitung erheblich dadurch eingeschränkt zu werden. Unter solchen Bedingungen mußte im Anfange der Marschbildung eine fast vollständige Abklärung des trüben Flußwassers im Innern der alten Meerbusen stattfinden, und nur ein sehr geringes Schlickquantum mag damals bis in die See gelangt sein.

Der Uebergang von den so eben geschilderten frühesten Verhältnissen der Landbildung zu denjenigen, welche wir gegenwärtig vor uns sehen, ist wie alle Bildungen, die sich naturgemäß im Fluthgebiete gestalten, ein allmäliger, stetiger, und es waltet dabei das Gesetz ob, daß die im Fluthgebiete zurückbleibende Schlickmasse jährlich abnimmt, dagegen aber die in See hinausgelangende in stetiger Zunahme begriffen ist. Ablagerungen der feinsten geschlammten Schlickmassen erstrecken sich, zu unserer Zeit, vor den Mündungen der großen Ströme meilenweit in die See hinaus, und sind den Seefahrern unter dem Namen „Stickgrund“ bekannt.

Werden die beiden Thatsachen gleichzeitig ins Auge gefaßt, daß der größte Theil der vom oberen Strome herabgeführten Schlickmasse im Laufe des Jahres mit zwei oder drei Hochfluthen gleichsam stoßweise im Fluthgebiete anlangt, daß aber die Ablagerung des Schlicks sowie dessen Hinausführung in das Meer sich in einem ziemlich gleichmäßigen Verhältnisse über das ganze Jahr vertheilt, so folgt daraus, daß es im Fluthgebiete eine gewisse Gegend geben müsse, die gleichsam ein Schlickreservoir bildet, in welchem die großen Schlickmassen bei ihrer Ankunft von oben einstweilen aufgenommen werden und schwebend auf- und abfluthen, bis sie allmählig abgelagert oder dem Meere zugeführt werden können. Eine solche Stromgegend muß sich der Natur der Sache nach dadurch bemerkbar machen, daß daselbst das Wasser in der Regel schlickhaltiger ist als oberhalb und unterhalb derselben. In der That zeigen unsere Ströme dem Auge des Beobachters diese Schlickregion sehr deutlich. Wer z. B. die Elbe von Hamburg abwärts befährt, wird einige Meilen unterhalb dieser Stadt eine zunehmende Trübung des Wassers bemerken, sodann in der Gegend zwischen Stade und Glückstadt den stärksten Schlickgehalt in sehr auffallender Weise wahrnehmen, von da an weiter seewärts aber nach und nach immer klares Wasser antreffen, bis dasselbe vor der Mündung in vollkommen klares Seewasser übergeht. Aehnliche Wahrnehmungen habe ich an der Weser, der Themse, dem Humber und andern trüben Strömen gemacht. Diese Gegend des größten Schlickgehalts ist naturgemäß die Gegend des größten Schlickfalles; die Wattgründe sind hier bei der Ebbe mit weichen Schichten frisch abgelagerten Schlicks bedeckt, der bei steigender Fluth durch Strömung und Wellenbewegung zum Theil wieder aufgenommen und mit dem Wasser vermenget wird. Der Schlickgehalt ist deshalb hier viel veränderlicher als im oberen Strome, die größere oder geringere Wellenbewegung, die Nähe oder Entfernung des Ufers, die Zeit vor oder nach Hochwasser, und manche andere Umstände üben den größten Einfluß darauf aus. Nur daraus lassen sich die aus einzelnen Beobachtungen abgeleiteten älteren

Annahmen eines sehr großen Schlickgehaltes (s. oben TETENS), sowie die sehr verbreitete Ansicht, daß der Schlickgehalt des oberen Stromes im Durchschnitt eine Größe habe, welche in der That von dem wahren Durchschnittswerthe sehr stark abweicht, erklären.

Weiter eingehende, auf Grundlage von Beobachtungen über die Bewegung des Sandes im Strombette geführte Untersuchungen zeigen, daß die Schlickregion eines Stromes nicht unveränderlich an eine bestimmte Gegend gefesselt ist, sondern daß sie allmählig seewärts vorrückt. Hier kann diese Thatsache nur erwähnt werden, da wie gesagt, die Sandbewegung zuvor discutirt sein müßte, um sie specieller nachweisen zu können. Die bisher gewonnenen Resultate geben uns übrigens schon ein ziemlich vollständiges Bild von dem Prozesse, der in den alten Meerbusen, welche große Ströme des Binnenlandes aufnehmen, seit Jahrtausenden stattgefunden hat und noch jetzt seinen gesetzmäßigen, unaufhaltsamen Verlauf nimmt; wir können denselben als die fortschreitende Umwandlung weit ausgedehnter, die Ränder der hohen Geest bespühlender flachen Gewässer in tiefe, von Marschländern eingeengte, mit festen Uferlinien versehene Strombahnen bezeichnen. Dieser Proceß ist von unermeßlicher Wichtigkeit, sowohl für die Uferstaaten und ihre Bewohner wegen der neu entstehenden, werthvollen Marschen, als auch für das allgemeine Schiffahrt-Interesse, wegen der nur durch ihn erhaltenen und nur unter seiner Mitwirkung durch Stromcorrectionen zu verbessernden normalen Fahrtiefe in den unteren Stromgegenden.

*Ergänzende Anmerkungen zu HÜBBES Aufsatz „Ueber die Eigenschaften und das Verhalten des Schlicks“*

(von Dr.-Ing. HERMANN CHRISTIANSEN, Hamburg)

Einen Aufsatz über ein Thema zu lesen, das bereits vor weit über 100 Jahren aktuell war und uns heute immer noch beschäftigt, ist außerordentlich reizvoll. Worin besteht dieser Reiz eigentlich? Gewiß nicht darin, vielleicht erkennen zu müssen, daß wir heute immer noch nicht viel weiter sind. Auch mag es nur von schwachem Reiz sein, festzustellen, daß sich gar so vieles in den letzten 130 Jahren auch nicht geändert hat. Wahrscheinlich ist es einfach die Faszination darüber, wie wir mit Hochachtung feststellen dürfen, daß es von den alten Fachkollegen doch noch eine ganze Menge zu lernen gibt. „HÜBBE besaß“, wie ein Zeitgenosse es formulierte, „für die Aufstellungen von Beobachtungen auf den Gebieten der Physik, Meteorologie und Technik eine große Gabe. Sein Ziel war es dabei immer, Erkenntnisse in praktisch brauchbare Formen umzusetzen.“

HÜBBE hat in seiner Arbeit ganz grundlegende Erkenntnisse über Schlick und Schwebstoffe niedergeschrieben. Natürlich sind dabei einige Lücken geblieben, die es wert sind, von unserer Generation gefüllt zu werden. Mit Interesse sollten wir dabei einmal nachlesen, wie gradlinig und klar Hübbe bei seinen Problemlösungen vorgegangen ist.

Die Sachlichkeit der Darstellung zeigt, mit welcher Selbstdisziplin sich HÜBBE der Beschreibung seiner noch im aktiven Dienst gewonnenen Untersuchungen gewidmet haben muß. Erfrischend wirkt in diesem Zusammenhang, mit welcher Geradlinigkeit und Präzision er harte Kritik an der „Unzulänglichkeit allgemeiner Folgerungen aus vereinzelt Untersuchungen“ bei einigen Fachkollegen übt.

HÜBBE stand diese Kritik zu, denn seine Arbeiten zeichnet ein hohes Maß an Gründlichkeit aus, verbunden mit dem Bemühen, die Untersuchungen an der Elbe im Vergleich z. B. mit Jade, Weser, Humber oder Themse zu betrachten.

Was HÜBBE seinerzeit nicht ahnen konnte, ist, daß es später einmal Fachkollegen geben wird, die sehr wenig Zeit haben und sich deshalb gern erst einmal durch Überfliegen einer

Gliederung von der Notwendigkeit überzeugen wollen, ob denn ein Aufsatz insgesamt für sie lesenswert sei. Hätte er es geahnt, so hätte er wahrscheinlich die einzelnen Kapitel in folgender Weise überschrieben:

- Was ist Schlick, woher kommt er?
- Beziehung zwischen Gewichts- und Raumverhältnis von Schlick
- Konsistenzformen des Schlicks
- Sedimentationsraten suspendierter Stoffe
- Bisher bekannte Schwebstoffgehalte in Gewässern (Darstellung, Kritik)
- Schwebstoffmessungen bei Geesthacht vom Februar 1854 bis Juli 1855
- Beschreibung der Ergebnisse
  - Mittelwerte
  - Ganglinien
  - Beziehung zu Wasserständen aus Monatsmitteln
  - Beziehung zu täglichen Wasserständen beim Durchlauf von Hochwasserwellen, z. T. in Verbindung mit Eisgang
- Vergleich mit Ergebnissen von einem Tidezyklus an der Jade
- Experimente an der Elbemündung
- Das Phänomen von „Schlickwellen“
- Weg-Zeitdiagramm von Schwebstoffteilchen unter Tideeinfluß
- Schlickfall in offenen Tidehäfen und Möglichkeit der Freihaltung durch Spülbassins
- Schlickfall im Seitenbereich des Hauptstromes und deren Vorteil bei der Stabilisierung der Fahrrinne

Insgesamt vermittelt die Arbeit von HÜBBE ein Grundlagenwissen, das für jeden, der sich mit Schwebstoff und Schlick beschäftigt, zur Pflichtlektüre gehören sollte.