

Untersuchungen über den Einfluß des geplanten Dammbaues zwischen dem Festlande und der Insel Sylt auf die Wasserverhältnisse am Damm und der anschließenden Festlandküste

Von Regierungs- und Baurat Pfeiffer in Husum

Von der Technischen Hochschule Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation

Berichterstatter: Geheimer Hofrat Professor Dr.-Ing. M. Möller

Mitberichterstatter: Professor Dipl.-Ing. Dr. Schlink

Eingereicht am 11. Mai 1920

Inhalt

A. Allgemeines*)	2
B. Kurze Beschreibung des Gegenstandes der Untersuchung eines Ansteigens des Hochwasserspiegels gegen die Küste hin	
1. Hebung des Scheitels der anlaufenden Flutwelle bei Abnahme ihres Stromquerschnittes	4
2. Hebung des Wasserspiegels infolge der unmittelbaren Wirkung des Windes — genannt die Steigung	5
3. Umfang der zu lösenden Aufgabe	5
C. Beschreibung der örtlichen Gestaltung des Wattenmeeres	
1. Allgemeines über die Tiefs (Stromrinnen), die in das Wattenmeer führen	6
2. Flutgröße in den Einlauftiefs	9
3. Mittlere Hochwasserstände	9
4. Abfluß von Wassermengen über die Dammlinie von Süden nach Norden	12
5. Strömungsverhältnisse zwischen Föhr und Festland	15
6. Strömungsverhältnisse zwischen Röm und Festland	15
7. Die bei normaler Flut südlich des Dammes einströmenden, die Füllung des Beckens bewirkenden Wassermengen	15
8. Bei normaler Flut nördlich des Dammes einströmende Wassermengen	16
9. Ansteigen der Flutwelle zwischen Sylt und Festland	17
10. Aufstellung der mathematischen Bedingungen, unter welchen sich das Ansteigen der Flutwellen vom offenen Meer von Hörnum bis zur Dammachse vollzieht	17
D. Ableitung der zu erwartenden Veränderung der Hochwasserverhältnisse	
1. Gew. Hochwasser ohne Einfluß des Windes südlich am Damm	21
2. Gew. Hochwasser ohne Einwirkung des Windes nördlich am Damm	23
3. Hochwasser unter dem Einfluß des Windes (Sturmfluthöhen)	25
E. Vorschläge betreffend Anstellung von Beobachtungen und von praktischen Untersuchungen, um die in Abschnitt B erörterten Ursachen des Ansteigens der Flutwelle klarer erkennen zu lassen	31
F. Ergebnis	32
Literaturverzeichnis	33

*) Vermerk der Schriftleitung: Infolge des schlechten Erhaltungszustandes der alten Lichtpauze können bei ihrer Rekonstruktion (Diagr. 2a—2e) kleine Abweichungen von der Größenordnung einiger Zeitminuten entstanden sein.

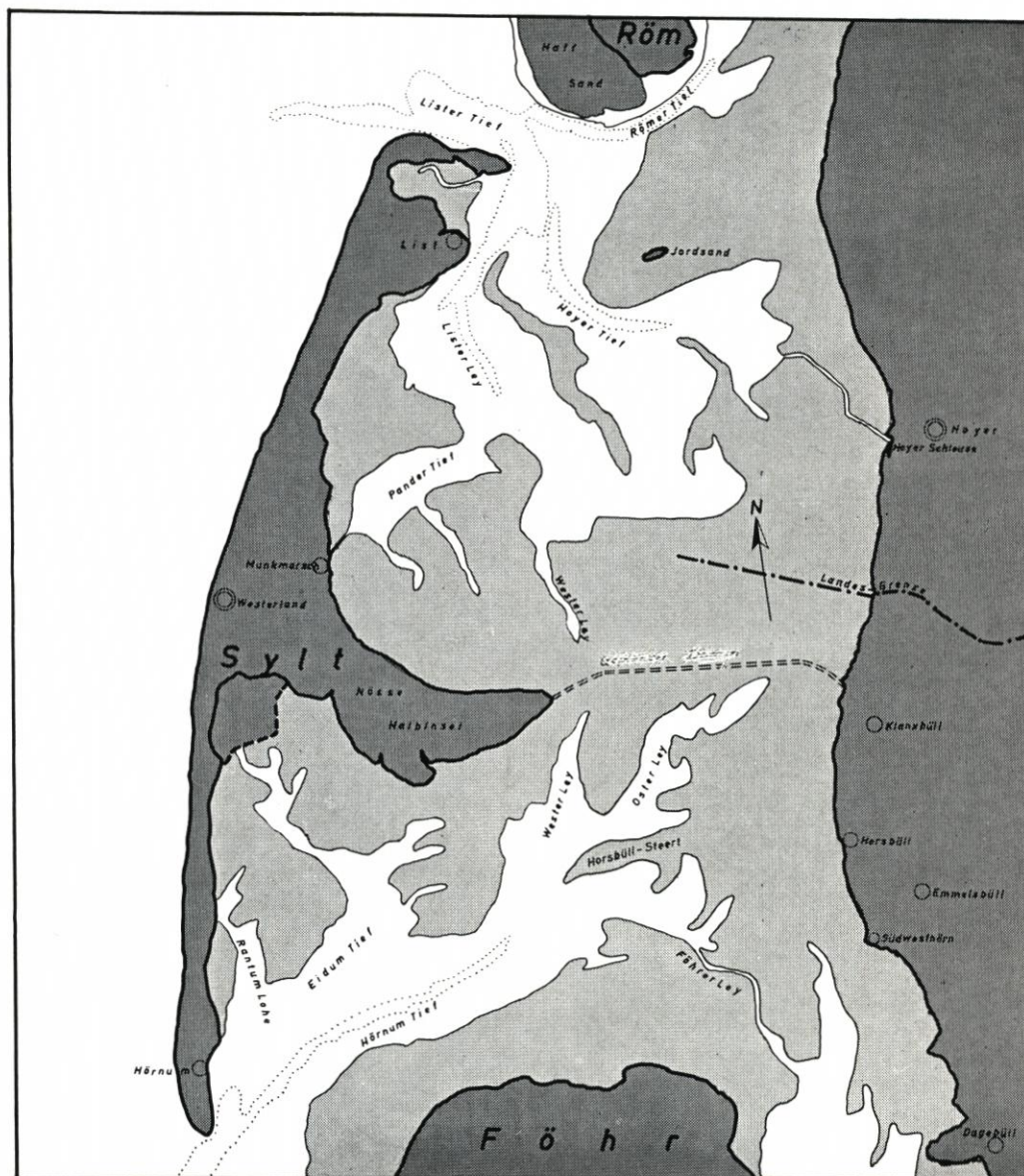


Abb. 1

A. Allgemeines

Die an der Westküste Schleswigs gelegene Insel Sylt hat etwa 5000 Einwohner und hatte vor dem Weltkriege 1914 einen jährlichen Bäderbesuch von 25 000 Personen.

Die Entfernung der von Süden nach Norden 38 km langgestreckten, schmalen Insel vom Festlande, also die Breite des Wattenmeeres, ist etwa 20 km. In der Mitte der Insel springt die Halbinsel Nösse rd. 9 km in das Wattenmeer nach Osten hinein, so daß die Entfernung der

Spitze von Nösse von dem Festlande rd. 11 km beträgt (siehe Abb. 1).

Der Verkehr vom Festlande nach der Insel wird in der Hauptsache durch eine Dampferverbindung von Hoyerschleuse nach Munkmarsch bewältigt.

Die beiden genannten Häfen sind offene Tidehäfen, die bei Niedrigwasser (Ebbe) einschl. der Zufahrtsrinnen trocken fallen. Der Schiffsverkehr kann nur zur Zeit des Hochwassers (Flut) stattfinden.

Die Dampfer fahren je nach dem Einsetzen der Flut mit fast täglich wechselnden Abfahrtszeiten, und die Eisenbahnverwaltung sieht sich im Sommer genötigt, die Bäderzüge nach Hoyerschleuse ebenfalls nach einem wechselnden Fahrplan laufen zu lassen.

Bei östlichen Winden, die niedrige Wasserstände im Wattenmeer mit sich bringen, treten gelegentlich unliebsame Verzögerungen und Störungen im Schiffsverkehr ein, und im Winter, wenn im Wattenmeer sich starke Eismassen zusammenschieben, ist der Schiffsverkehr öfter wochenlang unterbrochen.

Um die bestehenden Verkehrsschwierigkeiten zu beheben und eine sichere und schnellere Verkehrsverbindung mit dem Festlande zu schaffen, ist geplant, die Insel durch einen sturmflutfreien Eisenbahndamm mit dem Festlande zu verbinden, so daß die Eisenbahnzüge direkt nach Westerland geführt werden können.

Der Bahndamm ist an der schmalsten und zugleich flachsten Stelle des Wattenmeeres zwischen der Halbinsel Nösse und dem Festlande in westöstlicher Richtung geplant (vgl. Übersichtsplan Abb. 1).

Durch die Erbauung des Dammes wird gleichzeitig die Möglichkeit geschaffen, in seinem Schutze großzügige Landgewinnungsarbeiten im Wattenmeer auszuführen, so daß im Laufe der Zeit nördlich und südlich des Dammes große fruchtbare Marschflächen wieder gewonnen werden können, die im Laufe der letzten Jahrtausende infolge der jährlich etwa 2—3 mm betragenden Küstensenkung und durch das tiefe Einreißen der Wattenströme verlorengegangen sind.

Querschnitt des Dammes

Festland - Sylt.

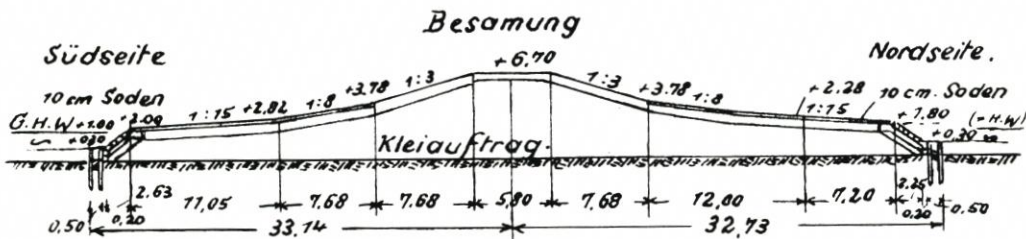


Abb. 2

Näheres hierüber ist in dem Werk von Professor MÜLLER: „Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste“ (6) und in einer Abhandlung von Regierungs- und Baurat KREY im Zentralblatt der Bauverwaltung 1918 (5) enthalten.

Ein Querschnitt des geplanten hochwasserfreien Dammes ist nebenstehend skizziert (Abb. 2).

Der geplante Damm zerlegt hernach den Raum des Wattenmeeres in einen nördlichen und einen südlichen Teil. Er verhindert später den Übertritt von Wasser aus dem einen in das andere Gebiet, und es können sich unter seinem Einfluß daher die Flutverhältnisse ändern.

Insbesondere kann der Dammbau dahin wirken, die Flutgröße zeitweise und örtlich zu steigern.

Sämtliche für die vorliegende Untersuchung erforderlichen Vorarbeiten, wie Anordnung der selbstzeichnenden Pegel, Ausführung der Wassergeschwindigkeitsmessungen, Berechnung der Wassermengen, Beobachtung der Wasserstände und Flutkurven sind unter Leitung des Verfassers ausgeführt. Für die Bearbeitung sind ferner die Wasserstandsbeobachtungen des Wasserbauamts Husum benutzt worden.

B. Kurze Beschreibung des Gegenstandes der Untersuchung eines Ansteigens des Hochwasserspiegels gegen die Küste hin

1. Hebung des Scheitels der anlaufenden Flutwelle bei Abnahme ihres Strömungsquerschnittes

a) Der Vorgang bei vollkommener Reflexion der Welle.

Es ist bekannt, daß die mittlere Fluthöhe in freier See im Ozean weit niedriger ist als an den Küsten. Es erhebt sich die Flutwelle von den Azoren nach Lissabon bekanntlich von 1,2 m auf 3,9 m bei Springtide; von der Insel St. Helena nach Angra Pequena von 1,0 auf 2,4 m von der Insel Ascension im Atlantischen Ozean nach der Mündung des Kongoflusses von 0,6 auf 1,8 m; von der gleichen Insel nach Pernambuco von 0,6 auf 2,5 m.

Die Fluthöhe steigt dort an, wo die Sohle des Meeres gegen die Küste hin ansteigt, so daß aus diesem Grunde ein Zusammendrängen der anströmenden Flutmassen bei dem Übergange auf kleinere Querschnitte stattfindet. Insbesondere steigt die Fluthöhe außerdem, wenn die Küste Trichterform annimmt, so daß auch von den Seiten her die Wassermassen der Trichterspitze zgedrängt werden.

Bekanntlich steigt so die Fluthöhe im Englischen Kanal auf 12 m, in der Fundy Bai vom Eingang bis zur Trichterspitze von 2,7 m auf über 15 m an.

Die mathematisch physikalischen Beziehungen, welche dem Ansteigen der Flutwellen in solchen Fällen zugrunde liegen, sind von Professor MÖLLER (1), Braunschweig, in seiner Abhandlung „Ein Beitrag zur Berechnung der Wellen und der Flut- und Ebbebewegung des Wassers“ — Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen Hannover 1896 — gegeben.

Es ist dort gezeigt, daß der Scheitel der Fluthöhe bei Übertritt der Welle auf Strecken abnehmender Flutstromquerschnitte so lange ansteigt, als im Scheitel der Welle noch Flutströmung herrscht, d. h. eine im Sinne fortschreitender Bewegung gerichtete Wasserbewegung besteht.

Die von Professor MÖLLER gegebenen Unterlagen ermöglichen es für den vorliegenden Sonderfall, die mathematischen Bedingungen aufzustellen, unter welchen sich das Ansteigen der Flutwellen vom offenen Meere her bis zur Achse des geplanten Dammes bei fehlendem Winde und fehlender Reibung vollzieht.

b) Der vorliegende Fall unvollkommener Reflexion der Welle.

Im vorliegenden Falle besteht am Ort, wo der Damm gebaut werden soll, im Scheitel der Welle noch eine Strömung in Richtung der Wellenfortpflanzung, und zwar von Süd nach Nord,

so daß der Vorgang der Scheitelerhebung der Welle bei abnehmendem Flutstromquerschnitt noch nicht voll zum Austrag gekommen ist. Nach Herstellung des Dammes ist die Flutströmung abgeschnitten. Es gilt nun zu untersuchen, wie das auf die Hebung der Welle, bedingt durch die unter B 1 a genannten Ursachen, wirkt.

2. Hebung des Wasserspiegels infolge der unmittelbaren Wirkung des Windes — genannt die Steigung

Außerdem steigt bekanntlich die Wasseroberfläche gegen eine Küste, auf welche der Wind gerichtet ist, an.

Bisher ist es noch nicht gelungen, auf Grund der Theorie oder der Beobachtung allgemein gültige Regeln für das Verhältnis zwischen der Höhe des Ansteigens der Wasseroberfläche und der Richtung und Stärke des Windes aufzustellen, und zwar hauptsächlich wohl deshalb, weil außer jenen Ursachen noch die Form der Küsten, die Gestaltung des Meeresgrundes und die Wassertiefe von Einfluß sind.

Hier ist für die Beurteilung der Verhältnisse Beobachtungsmaterial gesammelt und verwertet.

3. Umfang der zu lösenden Aufgabe

Nach Vorstehendem umfaßt die zu lösende Aufgabe:

a) Rechnerische Ermittlung des Wertes einer Erhöhung des gewöhnlichen Hochwassers, also bei Windstille bezeichnet $\Delta\Delta h$, durch die vorn unter 1 a) und b) erörterten Verhältnisse bedingt. Die Ursache der Erhöhung der Flutwelle ist dabei durch die lebendige Kraft der Flutströmung gegeben. (Siehe Abschnitt C 10 bis D 1 b.)

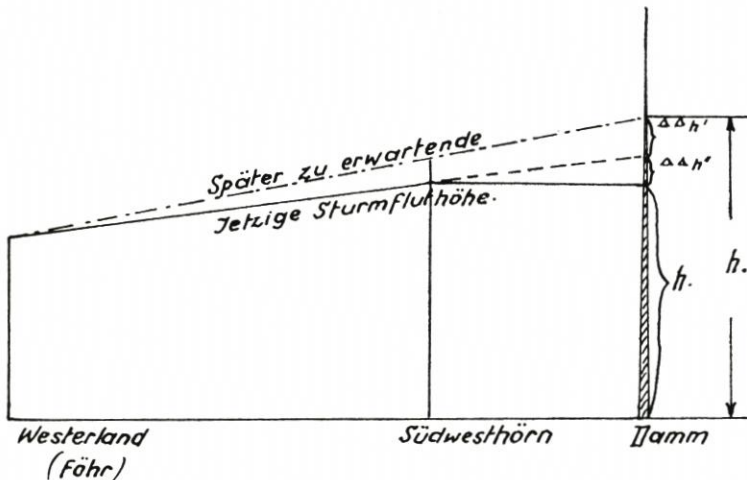


Abb. 3

b) Schätzungsweise Ermittlung einer Steigerung dieses Wertes bei Sturm auf den Betrag $\Delta\Delta h'$ durch die dann vergrößerten Geschwindigkeiten des einlaufenden Flutstromes und der Wellenfortpflanzung bedingt. (Siehe Abschnitt D 3 b.)

c) Zunahme der durch Sturm bedingten Steigung um einen Betrag $\Delta\Delta h''$ durch den Umstand veranlaßt, daß der Damm hernach einen Abschluß bildet und die Steigung sich dann bei SW-Sturm bis zu ihm hin fortsetzt. (Siehe Abschnitt D 3 c.)

d) Ermittlung der Höhe h' des zukünftigen höchsten Wasserstandes, gefunden aus der gegenwärtig am Ort des zukünftigen Dammschlusses an das Festland beobachteten höchsten Hochwasserhöhe h , vermehrt um die unter b und c ermittelten Zunahmen der Hochwasserhöhe. Es wird:

$$h' = h + \Delta\Delta h' + \Delta\Delta h''$$

(Siehe Abschnitt D 3 d und Abb. 3.)

C. Beschreibung der örtlichen Gestaltung des Wattenmeeres

1. Allgemeines über die Tiefs (Stromrinnen), die in das Wattenmeer führen

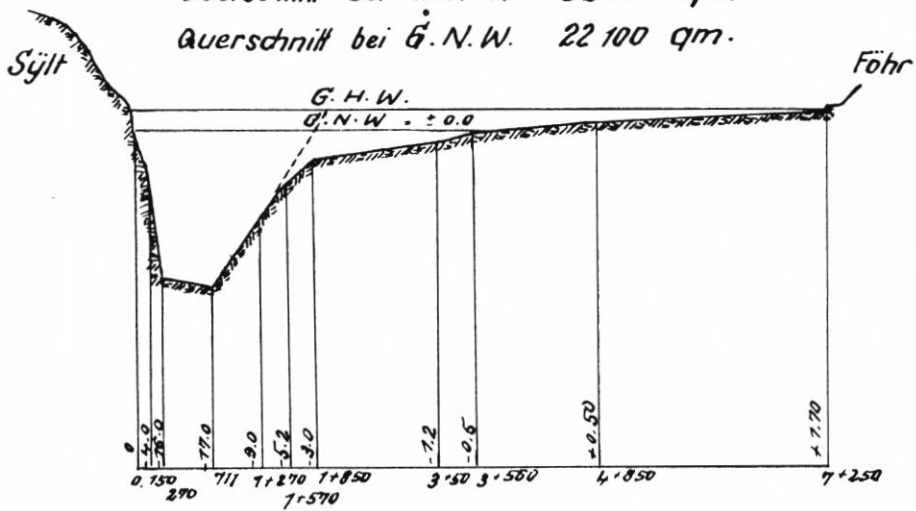
Das Wattenmeer zwischen der Insel Sylt und dem Festlande bildet ein annähernd rechteckiges Becken, dessen Langseiten im Westen durch die Insel Sylt, im Osten durch die Festlandsküste begrenzt werden. Im Süden ist die Insel Föhr, im Norden die Insel Röm vorgelagert.

Das betrachtete Becken steht durch 4 Öffnungen mit der Nordsee in Verbindung (vgl. Abb. 1).

Querschnitt des Vortrapptiefs bei Hörnum

Querschnitt bei G.H.W. 32000 qm

Querschnitt bei G.N.W. 22100 qm.



Längen 1: 100 000

Höhen 1: 1000

Die Höhen sind auf G.N.W. = ± 0,0 bezogen.

Abb. 4

Diese bilden

im Süden:

1. Das Vortrapptief, in seiner Verlängerung Hörnumtief genannt, zwischen den Inseln Sylt und Föhr;
2. das Föhrer Ley, Verlängerung der Norderaue zwischen Föhr und Festland;

im Norden:

3. das Lister Tief zwischen den Inseln Sylt und Röm;
4. das Römer Tief zwischen Röm und Festland.

Der Wechsel der Wasserstände in dem Becken wird durch die Tiden der Nordsee hervorgerufen.

Die Nordsee fluten strömen durch die Öffnungen ein und füllen das Wattenmeer mit Seewasser. Bei Einsetzen der Ebbe fließen die Wassermengen wieder ab, so daß ein großer Teil des Wattenmeeres zwischen Festland und Sylt bei Niedrigwasser trocken fällt.

Von den genannten 4 Öffnungen bilden im Süden das Vortrapptief, im Norden das Lister Tief die Haupteinströmungsöffnungen, da sie in erheblicher Breite und Tiefe weit in das Wattenmeer hineinführen und somit das Einlaufen der von der offenen Nordsee kommenden Flutwellen ermöglichen. Das Vortrapptief hat bei Hörnum bei Gew. HW etwa 32 000 qm, bei Gew. NW etwa 22 100 qm Querschnitt (vgl. Abb. 4)¹⁾.

Das Lister Tief hat zwischen Ellenbogen und Röm bei Gew. HW etwa 35 600 qm, bei Gew. NW etwa 31 000 qm Querschnitt (vgl. Abb. 5).

Das Föhrer Ley hat nur in einer schmalen Fahrwinne (Priel) 1,8 m Tiefe bei Gew. HW, während der übrige Teil Wattflächen bildet (vgl. Abb. 6). — Der Wasserquerschnitt bei Gew. HW ist etwa 17 600 qm. Bei Niedrigwasser fällt das Föhrer Ley zum größten Teil trocken. Das Föhrer Ley kommt daher für die Einströmung der Flutwellen von der Nordsee erst in zweiter Linie in Betracht.

Zwischen Röm und Festland sind hohe Wattflächen ohne durchlaufenden Priel vorhanden. Das Römer Tief kommt, wie später ausgeführt wird, für die Einströmung der Flutwellen von Norden her nicht in Frage.

2. Flutgröße an den Einlauftiefs

Die Flutwellen wandern in der offenen Nordsee an der schleswigischen Westküste von Süden nach Norden, wie durch Strömungsbeobachtungen westlich von Sylt festgestellt und durch Schiffer allgemein bestätigt ist.

¹⁾ Anmerkung der Schriftleitung: Für die in diesem Aufsatz und im älteren wasserbaulichen Schrifttum gebräuchlichen Begriffe sind heute exaktere im Gebrauch:

Früher: Gew. HW	heute: MThW (mittl. Tidehochwasser)
„ Fluthöhe	„ MThW (mittl. Tidehochwasser)
„ ord. Flut	„ MThW (mittl. Tidehochwasser)
„ Hochwasser	„ ThW (Tidehochwasser)
„ Flutgröße	„ Tidehub
„ Flutkurve	„ Tidekurve
„ Niedrigwasser	„ Tideniedrigwasser
„ Gew. NW	„ Mittl. Tideniedrigwasser
„ Wassergeschwindigkeit	„ Strömungsgeschwindigkeit
„ Stromgeschwindigkeit bei HW	„ Strömungsgeschwindigkeit bei ThW

Die Flutgröße der von der Nordsee durch die Einstromungsöffnungen einlaufenden Flutwellen ist im Süden der schleswigschen Westküste größer als im Norden.

Die gemittelte Flutgröße beträgt nach den Aufzeichnungen von selbstzeichnenden Pegeln bei

Wittdün (Amrum)	2,33 m
Hörnum (Sylt — Süden)	1,72 m
List (Sylt — Norden)	1,59 m

Nach den Beobachtungen des Ingenieurs BRUUNS (2) (vgl. Zeitschrift des Hannoverschen Architekten-Vereins 1877) fällt die Flutgröße weiter nach Norden an der Westküste Jütlands am Nissum-Fjord auf 0,63 m bei Springtide.

Die von Süden durch das Vortrappief in das Wattenmeer zwischen Sylt und Festland einströmende Flutwelle ist nach Vorstehendem im Mittel 13 cm höher als die von Norden durch das Lister Tief einströmende.

Die von Süden kommende Flutwelle hat also ein größeres Arbeitsvermögen als die von Norden kommende.

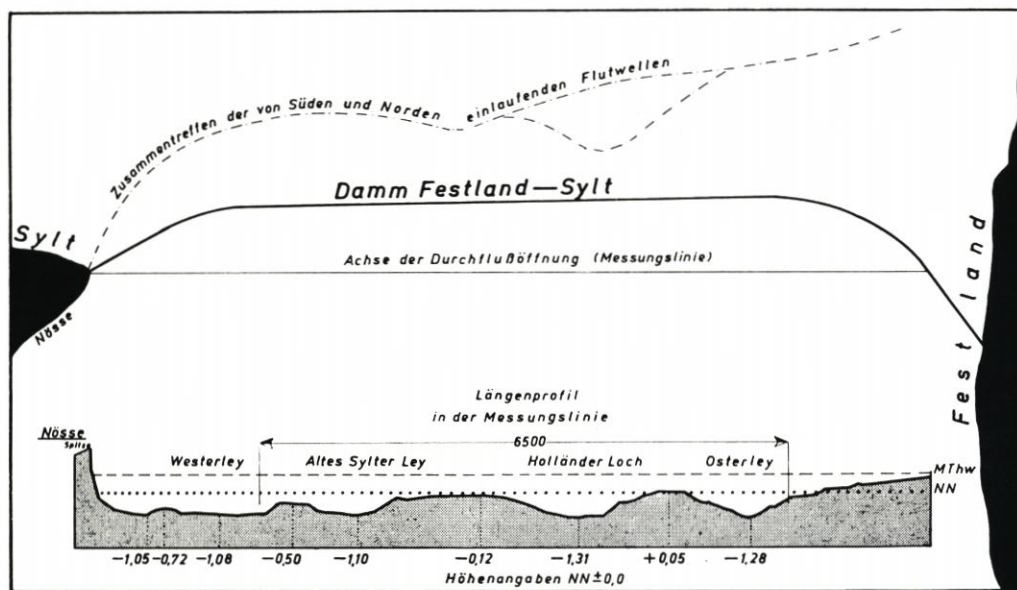


Diagramm 1. Oben: Der Treffpunkt der südlichen und nördlichen Flutwelle nördlich der geplanten Dammlinie an verschiedenen Tagen

Unten: Die Tiefenverhältnisse in der Messungslinie vor dem Dammbau

3. Mittlere Hochwasserstände

Die mittleren Hochwasserstände in dem Wattenmeer sind nach den Beobachtungen die folgenden:

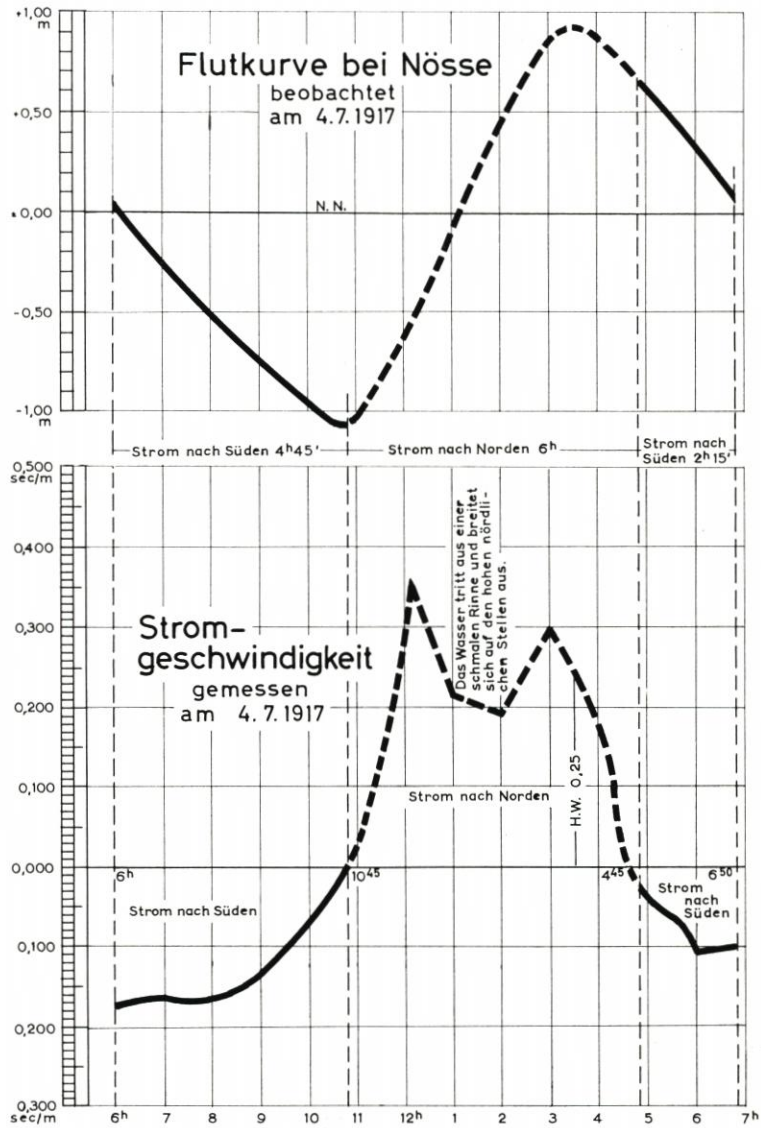


Diagramm 2a

- an der Westseite (Ostseite der Insel Sylt)
- in Hörnum + 0,65 NN
- in List + 0,51 NN
- an der Ostseite (Festlandküste)
- in Husum an der Festlandküste 35 km südlich von Dagebüll + 1,29 NN
- in Dagebüll + 0,99 NN
- in Südwesthörn + 0,95 NN
- in Hoyerschleuse + 0,75 NN

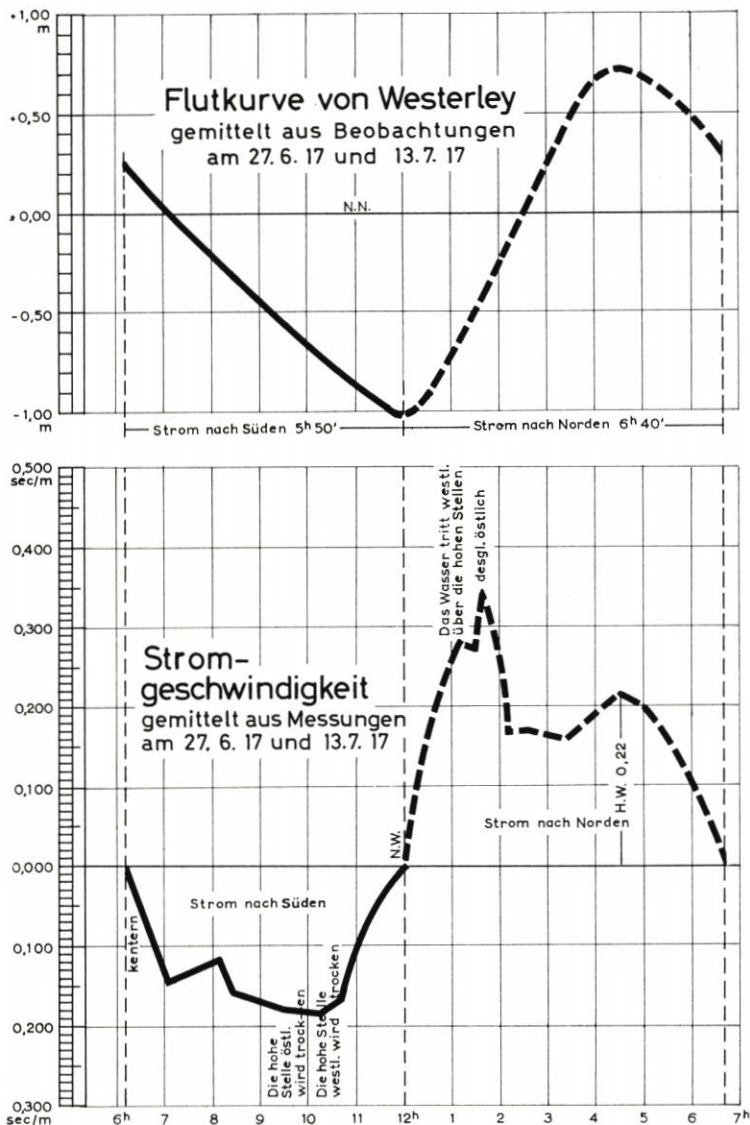


Diagramm 2b

Aus den vorstehenden Zahlen folgt:

1. Der mittlere Hochwasserstand steigt von der Insel Sylt nach dem Festland zu an. — Es wird also auch hier durch die Beobachtung bestätigt, daß die Höhe der Flutwelle nach der Küste hin zunimmt.
2. Der mittlere Hochwasserstand fällt, sowohl bei der Insel Sylt wie an der Festlandsküste von Süden nach Norden hin allmählich ab.

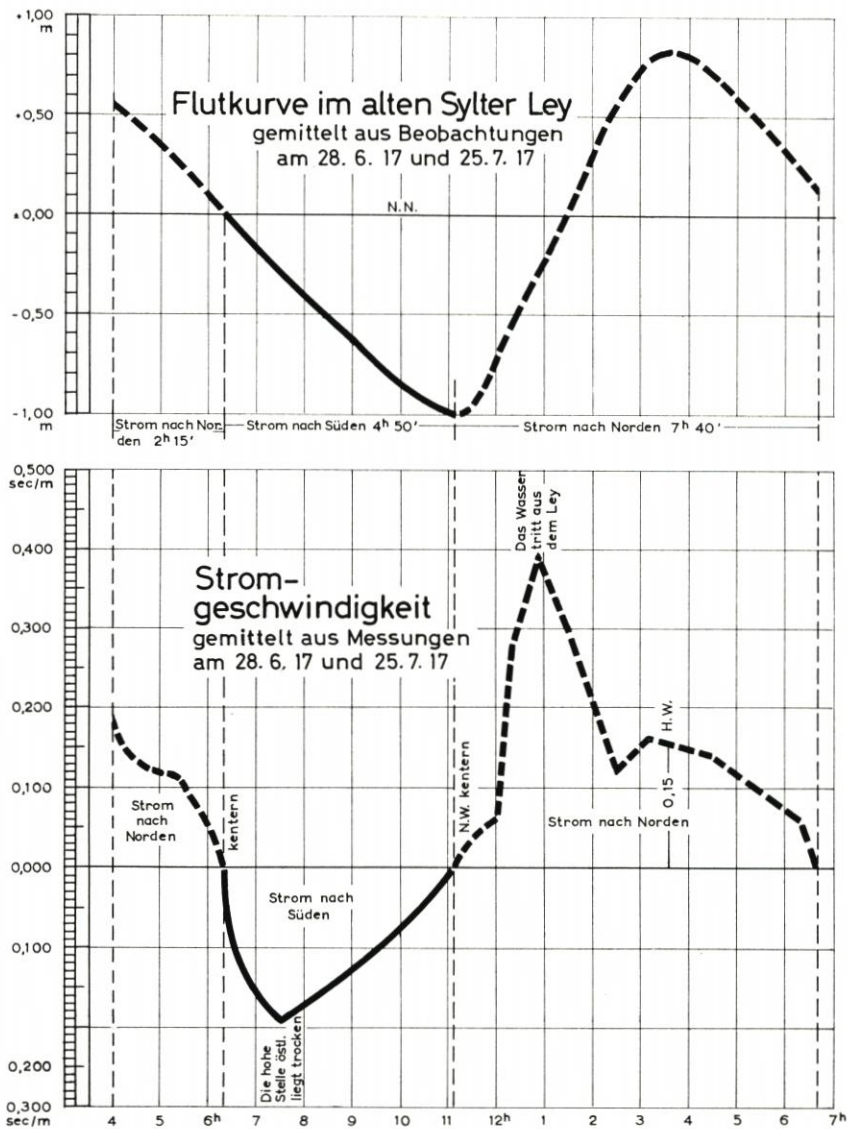


Diagramm 2c

4. Abfluß von Wassermengen über die Dammlinie von Süden nach Norden

Aus den vorstehenden Ausführungen ist zu schließen, daß zwischen Sylt und dem Festland keine vollkommene Wasserscheide bestehen kann, die sonst an der schmalsten und flachsten Stelle, also in der Nähe der geplanten Dammlinie zu vermuten wäre.

Da die von Süden kommende Flutwelle höhere Flutgröße, also auch größere Stoßkraft und größere Höhe bei Gew. HW hat, wird sie Wassermengen, die im Süden in das betrachtete Becken einfließen, nach Norden herauszudrücken versuchen.

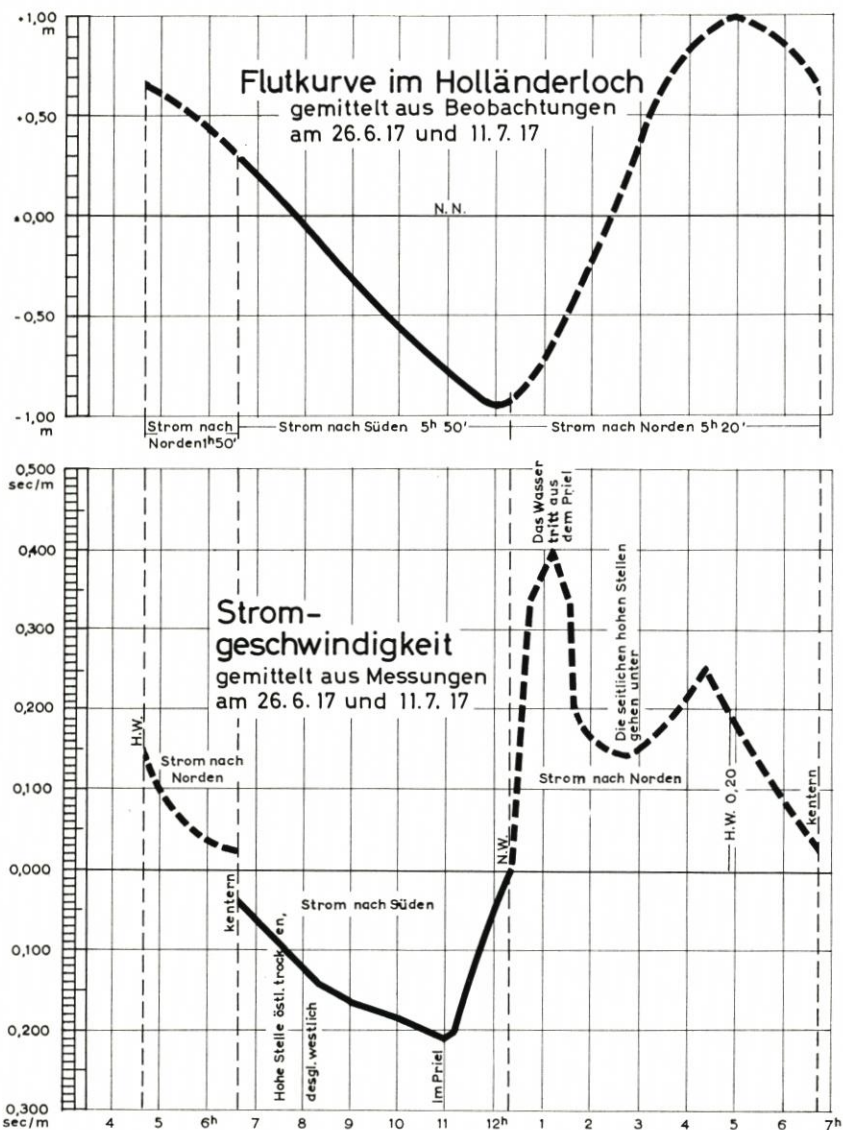


Diagramm 2d

Die vorstehende Schlußfolgerung wird durch Strömungs- und Wassermessungen, die an der schmalsten Stelle zwischen der Halbinsel Nösse und dem Festland ausgeführt sind (vgl. die strichpunktierte Linie Diagramm 1 und 2), bestätigt. Diese Beobachtungen und Messungen haben folgendes ergeben:

Nach Eintreten der Flut setzt zunächst in den Prielen, dann nach Überfluten des Wattes in der ganzen Fläche eine Strömung von Süden nach Norden ein. Bei der Überflutung des Wats treffen die von Norden und Süden in das Wattenmeer zwischen Sylt und Festland einlaufenden Flutwellen auf einer etwa 1000—1500 m nördlich der Dammachse gelegenen Linie zusammen. (Vgl. die gestrichelte Linie Lageplan Diagramm 1.)

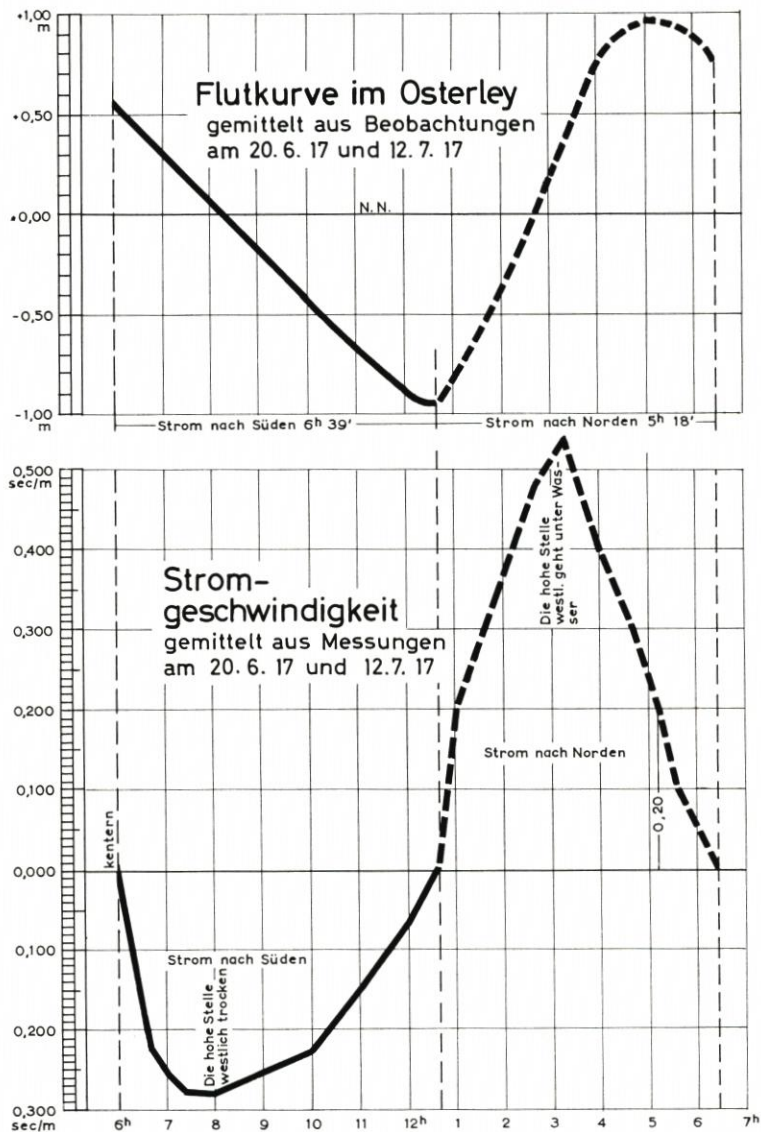


Diagramm 2c

Die nach Norden gerichtete Strömung hält jedoch weiter an, bis etwa 1 $\frac{1}{2}$ bis 3 Stunden nach Hochwasser ein Kentern des Stromes eintritt.

Ein Abfließen nach Süden tritt also nicht gleich nach Hochwasser, sondern erst mehrere Stunden später, kurz bevor das Watt trocken läuft, ein.

Die Messungen sind an 5 Stellen auf der auf Lageplan Diagramm 1 ersichtlichen Achse (siehe die strichpunktierte Linie) ausgeführt. Die beobachteten Flutkurven sind auf Diagramm 2a—2e dargestellt.

Unter den Flutkurven sind die mit Woltmannschem Flügel gemessenen, gemittelten Wassergeschwindigkeiten aufgetragen.

Aus den Wassergeschwindigkeiten sind nach Berechnung der jeweiligen Durchflußöffnung die über die Linie Festland—Nösse in einer Flut strömenden Wassermengen berechnet und nachstehend angegeben:

Von Niedrigwasser bis zum Kentern des Stromes nach Hochwasser nach Norden fließende Wassermenge	38 500 000 cbm
Nach Kentern des Stromes nach Süden zurückfließende Wassermenge	10 500 000 cbm
Demnach Mehrabfluß nach Norden	<u>28 000 000 cbm</u>

Von der gesamten in einer normalen Tide nach Norden fließenden Wassermenge im Betrage von 38,5 Mill. cbm entfallen nach den Berechnungen auf die Zeit von Niedrigwasser bis Hochwasser

27 000 000 cbm	
Von Hochwasser bis zum Kentern des Stromes	11 500 000 cbm
Zusammen:	<u>38 500 000 cbm</u>

Von der über die Messungslinie nach Norden strömenden Wassermenge von 38,5 Mill. cbm fließen bei Ebbe nur 10,5 Mill. cbm nach Süden zurück, das sind rund 27 %.

5. Strömungsverhältnisse zwischen Föhr und Festland

Da die Flutgröße und die Höhe des mittleren Hochwassers an der ganzen schleswigschen Westküste von Süden nach Norden abnehmen, gelten ähnliche Verhältnisse, wie sie bezüglich der Wasserscheide zwischen Nösse und Festland dargelegt sind, auch für das Föhrer Ley und das Römer Ley. Die Flutgröße in der Norderaue bei Wittdün ist wie erwähnt 2,33 m, im Vortrapptief bei Hörnum nur 1,72 m. Die Flutgröße ist also im Süden 0,61 m größer als im Norden.

Dementsprechend haben Wassermengenmessungen, die zwischen Föhr und Südwesthörn (vgl. Abb. 1) ausgeführt sind, ergeben, daß in einer Tide nach Norden strömen

rund	100 000 000 cbm
nach Süden zurück	40 000 000 cbm
Demnach fließen mehr nach Norden rund	<u>60 000 000 cbm</u>

6. Strömungsverhältnisse zwischen Röm und Festland

Messungen, die zwischen Röm und Festland, auf der Linie Havneby—Ballum (Abb. 1) ausgeführt sind, haben ergeben, daß hier in einer Tide nach Norden fließen

rund	57 000 000 cbm
nach Süden zurück rund	30 000 000 cbm
Demnach fließen mehr nach Norden rund	<u>27 000 000 cbm</u>

7. Die bei normaler Flut südlich des Dammes einströmenden, die Füllung des Beckens bewirkenden Wassermengen

Der gegen Süden durch die Linie Hörnum—Föhr—Dagebüll, gegen Norden durch den geplanten Sylter Damm (siehe Abb. 1) begrenzte Teil des Wattenmeeres hat eine Größe von rund 380 qkm, wie durch planimetrische Ermittlung nach der Seekarte festgestellt ist.

Von dieser Fläche sind 250 qkm Wattflächen, die im Mittel 0,5 m über Gew. NW liegen. Die mittlere Flutgröße beträgt 1,7 m, so daß die Wattflächen bei Gew. HW im Mittel 1,7—0,5 = 1,2 m überflutet werden. Den Rest der Gesamtfläche in Größe von 130 qkm bilden die Tiefs, bei denen zwischen Niedrigwasser und Hochwasser die volle Flutgröße zur Geltung kommt.

Die bezeichnete Fläche nimmt infolge Hebung des Wasserspiegels hiernach in einer Tide auf: 250 qkm Wattflächen im Mittel 0,5 m über Niedrigwasser gelegen mit 1,7—0,5 = 1,2 m Flutgröße.

$$250\ 000\ 000 \cdot 1,2 = 300\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

130 qkm Tiefs mit voller Flutgröße von rund 1,7 m

$$130\ 000\ 000 \cdot 1,7 = \text{rund } 220\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

$$\text{zusammen: } 520\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

Durch die südlichen Tiefs sind ferner noch die Wassermengen, welche über die Dammachse nach Norden abfließen zugeströmt mit

$$28\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

Durch das Vortrapptief und das Föhrer Ley zugeströmt sind mithin im ganzen

$$548\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

Da durch das Föhrer Ley nach Maßgabe der Messungen rund 100 000 000 cbm einströmen, strömen demnach durch das Vortrapptief 548 — 100 = 448 Mill. cbm ein. Also reichlich $\frac{4}{5}$ der Wassermengen strömen durch das Vortrapptief, $\frac{1}{5}$ durch das Föhrer Ley ein.

Von der gesamten im Süden einströmenden Wassermenge von 548 Mill. cbm kommen in einer normalen Tide über die Dammachse Festland—Nösse nach Norden rund 28 000 000 cbm zum Abfluß, d. s. $\frac{28}{548} \cdot 100 = 5,1\ \%$.

Das Abfließen aus der südlich des Dammes liegenden Fläche bei Ebbe stellt sich wie folgt: Zwischen Föhr und Festland strömen aus nach Messung

$$40\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

durch das Vortrapptief bei Hörnum strömen aus 548 Mill. cbm

— 28 Mill. cbm

— 40 Mill. cbm =

$$480\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

$$\text{zusammen: } 520\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

8. Bei normaler Flut nördlich des Dammes einströmende Wassermengen

Die Fläche nördlich des geplanten Sylter Dammes bis zur Linie Ellenbogen—Havneby auf Röm-Ballum ist 385 qkm groß; davon sind 260 qkm Wattflächen mit rund 1,1 m Flutgröße, und rund 125 qkm Fläche sind Tiefs mit voller Flutgröße von rund 1,6 m.

Die im ganzen nördlich des geplanten Dammes einströmende Wassermenge beträgt demnach bei einer mittleren Flut zur Füllung des Beckens (Wattflächen)

$$260\ 000\ 000 \cdot 1,1 = 286\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

(Tiefs)

$$125\ 000\ 000 \cdot 1,6 = 200\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

$$486\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

Hierzu kommt noch die Wassermenge, welche zwischen Röm und Festland nach Norden fließt mit

$$57\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

$$\text{zusammen: } 543\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

Abzuziehen ist die von Süden über die Dammlinie einströmende Wassermenge mit

$$28\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

Demnach Einströmung bei List

$$515\ 000\ 000\ \text{cbm}$$

9. Ansteigen der Flutwelle zwischen Sylt und Festland

Wie unter C 3 erwähnt, sind die mittleren Hochwasserstände, dem höheren Auflaufen der Flutwellen an den Seeküsten entsprechend, an der Festlandsküste höher als bei der Insel Sylt.

Westseite des Wattenmeeres

Hörnum	+ 0,65 NN
Morsum Süd	+ 0,75 NN
Morsum Nord	+ 0,68 NN
List	+ 0,51 NN

Ostseite des Wattenmeeres

Dagebüll	+ 0,99 NN
Südwesthörn	+ 0,95 NN
Damm	+ 0,85 NN
Hoyerschleuse	+ 0,75 NN

Bei mittlerem Hochwasserstand ist also zwischen Südwesthörn und Hörnum

$$0,95 - 0,65 = 0,30 \text{ m}$$

zwischen dem Ostende des Dammes und Morsum Süd

$$0,85 - 0,75 = 0,10 \text{ m}$$

zwischen dem Ostende des Dammes und Morsum Nord

$$0,85 - 0,68 = 0,17 \text{ m}$$

zwischen Hoyerschleuse und List

$$0,75 - 0,51 = 0,24 \text{ m}$$

Quergefälle vorhanden.

10. Aufstellung der mathematischen Bedingungen, unter welchen sich das Ansteigen der Flutwellen vom offenen Meer von Hörnum bis zur Dammachse vollzieht

a) Aufhöhung der Flutwelle unter Voraussetzung eines trichterförmigen Stromschlauchs.

In der unter B 1 a genannten Abhandlung hat Professor MÖLLER für die Aufhöhung der Flutwelle in einem trichterförmigen Schlauch ohne Einwirkung der Reibung bei fehlendem Wind folgende Beziehung abgeleitet:

$$\text{Gl. I} \quad \Delta h = \frac{\Delta F}{B_m} \cdot \frac{U_m}{V_m}$$

Δh ist die Aufhöhung der Flutwelle im trichterförmigen Flußquerschnitt.

ΔF der Unterschied des Wasserquerschnittes des Stromschlauchs am Anfang und am Ende der betrachteten Stromstrecke.

$$\Delta F = F_1 - F_2 \text{ (vgl. Abb. 7).}$$

B_m die mittlere Breite des Stromschlauchs.

U_m die mittlere Stromgeschwindigkeit bei HW.

$$U_m = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

V_m die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Scheitels der Flutwelle.

Der Verlauf der von Süden durch das Vortrapptief einströmenden Flutwelle ist in der Hauptsache durch das von Hörnum bis zur Dammlinie vorhandene Tief gekennzeichnet (vgl. Abb. 1).

Die Flutwelle findet zwar kein festbegrenztes Strombett vor, sondern dieses verzweigt sich an den einzelnen Stellen recht erheblich, und die Flutwelle breitet sich nach der Rantumer Bucht bei Sylt über weite Wattflächen aus. Um die mathematischen Bedingungen, unter welchen sich das Ansteigen der Flutwelle von Hörnum bis zur Dammachse vollzieht, aufstellen zu können, wird daher ein den tatsächlichen Verhältnissen möglichst entsprechender Stromschlauch angenommen. Es ist dies nach dem Verlauf des Tiefs ein sich von Hörnum bis zur Dammachse von 7 km auf 6,5 km verengender Stromschlauch, der sich von Hörnum in nordöstlicher Richtung bis zur Dammachse hinzieht. Der Stromschlauch hat die in Abb. 8 skizzierte Form und Größe.

Bei den vorstehenden Annahmen wird die Rechnung einen zu hohen Wert für Δh ergeben, da

1. die Einwirkung der Reibung nicht berücksichtigt ist und Versuche oder Beobachtungen zu deren Ermittlung noch nicht vorliegen,
2. die Flutwelle nicht in einer festen Stromrinne, sondern in einem unregelmäßigen Bett verläuft, sich teilweise verzweigt und über weite Wattflächen ausdehnt.

Die Reibung und die Verzweigung der Flutwelle wirken herabmindernd auf die Aufhöhung der Flutwelle. Die Größe dieser Einflüsse kann, da bisher über derartige Verhältnisse noch keine Untersuchungen vorliegen, nicht berechnet werden.

Andererseits wirkt die Vereinigung mit der vom Föhrer Ley kommenden Flutwelle vergrößernd auf die Aufhöhung der von Hörnum einlaufenden Flutwelle. Auch dieser Einfluß ist rechnerisch nicht zu ermitteln.

Die genannten rechnungsmäßig nicht erfaßbaren Einflüsse heben sich jedoch zum Teil auf. Inwieweit dies der Fall ist, kann aus dem Vergleich der Rechnungsergebnisse mit den bei den jetzigen Verhältnissen (1920) beobachteten Fluthöhen festgestellt werden.

Ermittlung des Wertes mittlerer Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle

Aus den Aufzeichnungen der selbstzeichnenden Pegel bei Hörnum und im Osterley ergibt sich der Eintritt des Hochwassers im Osterley im Mittel 2 Stunden 4 Minuten nach Cuxhaven, bei Hörnum im Mittel 0 Stunden, 15 Minuten nach Cuxhaven.

Der Unterschied der Hochwasserzeit zwischen den beiden Beobachtungsstellen ergibt sich also zu 1^h 49' oder 6540 Sekunden.

Die Entfernung der Pegel voneinander ist 26 000 m, so daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Flutwelle $V_m = \frac{26\,000}{6\,540} = 3,9$ oder $V_m =$ rund 4 m/sek beträgt.

Die Stromgeschwindigkeiten bei Hörnum sind durch Schwimmermessungen ermittelt und in der nebenstehenden Skizze Abb. 9 unter der zugehörigen Flutkurve dargestellt. Zur Zeit des Hochwassers ist die Stromgeschwindigkeit bei Hörnum hiernach 0,35 m/sek.

In der Dammachse ist die Stromgeschwindigkeit an 5 Stellen mit Woltmannschem Flügel gemessen. Die Ergebnisse sind auf Blatt 3 dargestellt.

Die Stromgeschwindigkeit beträgt in der Dammachse an den verschiedenen Meßstellen 0,25, 0,22, 0,16, 0,20, 0,20 m/sek, im Mittel also rund 0,20 m/sek von Süden nach Norden.

Im vorliegenden Fall ist daher $U_m = \frac{0,35 + 0,20}{2} = 0,275$, $U_m =$ rund 0,28 m/sek.

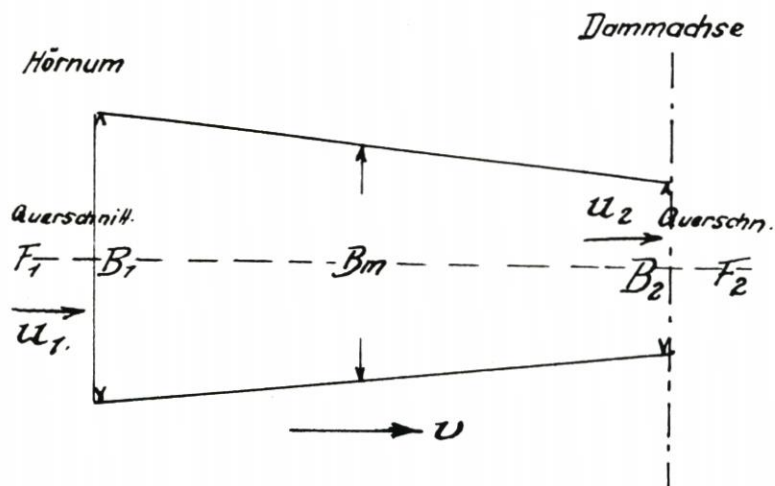


Abb. 7

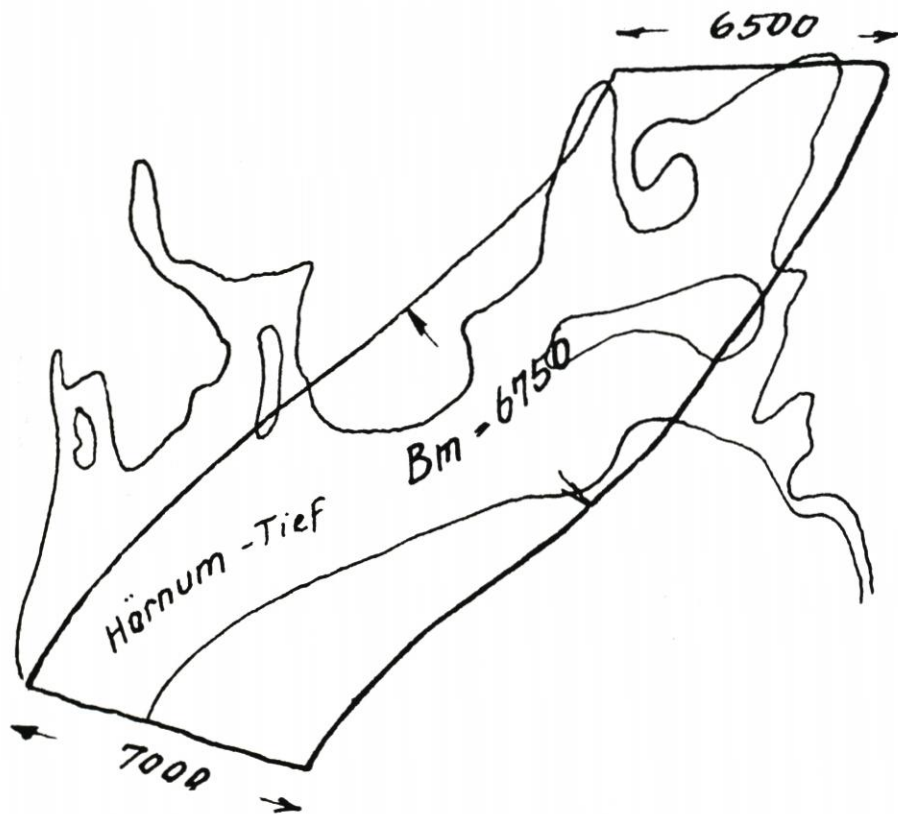


Abb. 8

Der Querschnitt des Stromschlauchs ist bei Hörnum bei HW (s. Abb. 4) $F_1 = 32\,000$ qm bei einer Breite $B_1 =$ rund 7000 m.

An der Dammachse ist die Breite des Stromschlauchs am Auslauf des Tiefs $B_2 = 6500$ m (Abb. 8).

Die mittlere Wassertiefe am Damm bei Gew. HW ist 1,4 m (s. Diagr. 1).

Es ist daher:

$$F_2 = 6500 \cdot 1,4 = 9100 \text{ qm}$$

$$\Delta F = F_1 - F_2$$

$$\Delta F = 32\,000 - 9100 = 22\,900 \text{ qm}$$

$$B_m = \frac{7000 + 6500}{2} = 6750 \text{ m}$$

$$\Delta h_a = \frac{\Delta F \cdot U_m}{B_m \cdot V_m} =$$

$$\Delta h_a = \frac{22\,900 \cdot 0,28}{6\,750 \cdot 4} = 3,39 \cdot 0,07$$

$$\Delta h_a = 0,24 \text{ m.}$$

Die Aufhöhung der Flutwelle von Hörnum bis zur Dammachse beträgt also bei vorstehenden Annahmen 24 cm.

b) Aufhöhung der Flutwelle bei steigender Sohle unter Voraussetzung gleichbleibender Breite der Welle.

Um festzustellen, ob bei einer zweiten möglichen Auffassung der örtlichen Verhältnisse über die Größenverhältnisse der Flutströmung sich andere, und zwar etwa größere Höhenwerte ergeben möchten, ist nachfolgende Untersuchung noch hinzugefügt.

Für die Veränderung der Wellenhöhe bei steigender Sohle hat Professor MÖLLER in der genannten Abhandlung, sofern die Breite keine Veränderung zeigt, folgende Beziehung abgeleitet:

Gl. II

$$\Delta h_b = \Delta t \cdot \frac{U_m}{V_m}, \text{ wo}$$

Δh_b die Aufhöhung der Welle,

Δt die Steigung der Sohle, U_m die Stromgeschwindigkeit zur Zeit des Hochwassers am Beginn der Beobachtungsstrecke (Abb. 10),

V_m die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Scheitels der Flutwelle ist.

Betrachtet man die bei Hörnum einlaufende Flutwelle unter Vernachlässigung der Verzweigung als eine in gleicher Breite bei steigender Sohle bis zur Dammachse fortschreitende Welle, so ergibt sich im vorliegenden Fall:

Mittlere Tiefe t_1 bei Hörnum bei Gew. HW (siehe Abb. 4)

$$\frac{32\,000}{7\,000} = 4,57 \text{ m} = \text{rund } 4,60 \text{ m.}$$

$U_m = 0,28$ m. Mittlere Tiefe in der Dammachse

$$t_2 = 1,4 \text{ m (Diagr. 1)}$$

$$\Delta t = 4,60 - 1,4 = 3,2 \text{ m}$$

$$\Delta h_b = \Delta t \cdot \frac{U_m}{V_m}$$

$$\Delta h_b = 3,2 \cdot \frac{0,28}{4} = 0,224 \text{ m.}$$

Die Aufhöhung der Flutwelle von Hörnum bis zur Dammachse beträgt also bei den letzten Annahmen 22 cm.

In Abbildung 11 sind die bei Hörnum, im Westerley und im Osterley in der Zeit vom 7. und 8. August 1918 beobachteten, annähernd normalen Flutkurven dargestellt. Aus diesen findet sich, daß die Aufhöhung der Flutwellen zwischen Hörnum und der zukünftigen Dammachse am Westteil derselben (Westerley) 16 cm, am Ostteil derselben (Osterley) 19,5 cm beträgt. Am Anschlußpunkt am Festland ist die Aufhöhung 20 cm im Mittel. Letztere Zahl ergibt sich aus dem Umstand, daß am Festland dort das Gew. HW + 0,85 NN (Seite 17) erreicht, bei Hörnum aber nur + 0,65 NN. Die mittlere Aufhöhung der Flutwelle zwischen Hörnum und der Dammachse am Festland beträgt also $0,85 - 0,65 = 0,20$ m.

Die vorliegenden Beobachtungen zeigen eine gute Übereinstimmung mit dem Ergebnis der theoretischen Berechnung. Der gefundene Unterschied (vgl. Abs. 10a) $0,24 - 0,20 = 0,04$ m, oder (vgl. Abs. 10 b) $0,22 - 0,20 = 0,02$ m ist gering.

D. Ableitung der zu erwartenden Veränderung der Hochwasserverhältnisse

1. Gew. HW ohne Einfluß des Windes südlich am Damm

Im Scheitel der Flutwelle, also zur Zeit des Hochwassers, besteht in der Dammachse noch eine Stromgeschwindigkeit $U_2 = 0,2$ m/sek von Süden nach Norden. Der Vorgang der Scheitelerhebung wäre also bei abnehmendem Querschnitt der Stromrinne noch nicht abgeschlossen.

Infolge der nördlich der Dammachse eintretenden Profilerweiterung wird nun aber bei den jetzigen Verhältnissen keine Aufhöhung, sondern ein Fallen des gewöhnlichen Hochwasserstandes beobachtet.

Durch die Erbauung des Dammes wird die von dem Vortrapptief kommende Flutwelle gezwungen werden, am Damm haltzumachen; sie muß dort die Geschwindigkeit $U = 0$ annehmen.

Bei dem Anlaufen der Flutwellen gegen den Damm wird diese eine gegenüber den unter C 10 a und b betrachteten Werten vermehrte Aufhöhung erfahren. Die sich hier abspielenden Vorgänge sind außerordentlich verwickelt, da die vor dem Damm entstehenden Hebungen auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Flutwelle und die Stromgeschwindigkeit zurückwirken.

Diese Vorgänge sind im einzelnen wissenschaftlich noch nicht erforscht.

Eine Wiederholung der vorstehenden unter C 10 gegebenen Berechnungen, dabei am Damm nun aber Wassertiefe, Stromgeschwindigkeit und Stromquerschnitt zu Null eingesetzt, führt im Falle a zu nachfolgend ermitteltem Wert $\Delta h'a$:

$$\begin{aligned} \text{a) Es ist } F_1 &= 32\,000 \text{ qm} \\ F_2 &= 0 \\ \Delta F &= 32\,000 \text{ qm} \\ U_1 &= 0,35 \text{ m/sek} \\ U_m &= \frac{0,35}{2} = 0,18 \text{ m/sek} \end{aligned}$$

$$B_m = 6750 \text{ m (s. Abb. 8).}$$

Die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle sei wieder zu $V_m = 4,0$ m/sek angenommen, wobei aber zu beachten ist, daß dieselbe durch den Dammbau eine kleine Änderung erfahren kann.

Es wird nun:

$$\Delta h'_a = \frac{\Delta F}{B_m} \cdot \frac{U_m}{V_m} = \frac{32\,000}{6\,750} \cdot \frac{0,18}{4}$$

$$\Delta h'_a = 0,21 \text{ m.}$$

Zuvor unter C 10 a war gefunden:

$\Delta h_a = 0,24 \text{ m}$, mithin $0,24 - 0,21 = 0,03 \text{ m}$ mehr, während eine Abweichung in entgegengesetztem Sinne zu erwarten ist.

Nach Angabe von Professor MÖLLER führt die Art der Bildung des Mittelwertes U_m zu jenem nicht brauchbaren Ergebnis. Die Strömungsgeschwindigkeit U wird nach Errichtung des Dammes nur auf kurzer Strecke vor demselben auf Null abnehmen, so daß der Mittelwert U_m durch den Dammbau eine nur geringe Abnahme erfährt. Setzt man aber wieder $U_m = 0,28 \text{ m}$ ein, wie zuvor geschah, dann ergibt sich:

$$\Delta h'_a = \frac{\Delta F}{B_m} \cdot \frac{U_m}{V_m} = \frac{32\,000}{6\,750} \cdot \frac{0,28}{4} = 0,33 \text{ m und}$$

$$\Delta \Delta h = \Delta h'_a - \Delta h_a = 0,33 - 0,24 = 0,09 \text{ m.}$$

Dieser Wert bildet nach Vorstehendem nur die obere mögliche Grenze einer Erhebung des Gew. HW nach Errichtung des Dammes über die zuvor bestehende Höhe des Gew. Hochwassers hinausgehend.

Man kann also schreiben: $\Delta \Delta h = 0,09 \text{ m}$.

b) In ähnlicher Weise findet sich bei Wiederholung der Berechnungsweise C 10 b, wenn man

U_m wie zuvor zu $0,28 \text{ m/sek}$ beläßt, aus

$$\Delta t = 4,6 - 0,0 = 4,6 \text{ m und}$$

$$V_m = 4,0 \text{ m/sek}$$

$$\Delta h'_b = \Delta t \cdot \frac{U_m}{V_m} = 4,6 \cdot \frac{0,28}{4} = 0,32 \text{ m.}$$

Dieser Wert bietet nach den unter a) vorstehend gegebenen Erörterungen die obere Grenze der nach diesem Rechnungsverfahren möglichen Erhebung des Gew. HW, welche in Wirklichkeit nicht ganz erreicht werden wird. Da nun für den zur Zeit bestehenden Zustand nach diesem Rechnungsverfahren b)

$\Delta h_b = 0,22 \text{ m}$ gefunden ist (Seite 27) ermittelt sich hier.

$$\Delta \Delta h = \Delta h'_b - \Delta h_b = 0,32 - 0,22 = 0,10 \text{ m.}$$

Mit dem größeren der beiden hier unter a und b gefundenen Werte $0,09$ und $0,10 \text{ m}$ sei in der Folge gerechnet, wiewohl $\Delta \Delta h$ kleiner bleiben muß als dieser Wert²⁾.

Nach Fertigstellung des Dammes wird daher in der südlichen Festlandsecke mit seiner Aufhöhung des gewöhnlichen Hochwassers von $+0,85 \text{ NN} + 0,10 \text{ m} = +0,95 \text{ NN}$ gerechnet.

Die Aufhöhung des gewöhnlichen Hochwasserstandes wird an der Südseite des Dammes in der ganzen Dammlänge ungefähr gleich groß bleiben. Das jetzt bei Hochwasser vorhandene Spiegelgefälle zwischen Festland und Sylt wird annähernd das gleiche bleiben.

Von der Spitze bei Nösse bis Hörnum-Odde wird die Aufhöhung allmählich auf Null auslaufen, da in der Rantumer Bucht die Flutwelle bereits jetzt gegen die Inselküste läuft und hier keine Veränderung in den bestehenden Flutverhältnissen eintritt.

Die vom Föhrer Ley kommende Flutwelle bringt, wie unter C 7 ausgeführt ist, etwa $\frac{1}{5}$ der gesamten in den südlichen Teil des Wattenmeeres einlaufenden Wassermenge. Diese Flutwelle verteilt sich in zwei Stromrinnen, deren eine an der Festlandküste entlang bis etwa nördlich von Südwesthörn erkennbar ist (vgl. Abb. 1), während die zweite Stromrinne das Fahr-

wasser des Föhrer Ley bildet, nördlich Föhr nach Westen schwenkt und sich dort mit der vom Vortrapptief kommenden Flutwelle vereinigt (vgl. Abb. 1).

Der Scheitel der an der Festlandsküste entlanglaufenden Flutwelle hat Gefälle von Dagebüll + 0,99 NN nach Südwesthörn + 0,95 NN und fällt dann weiter nach Norden.

Wegen des an der Küste nördlich Südwesthörn vorlagernden hohen Watts läuft die Flutwelle nicht weiter, sondern läuft bei Althorsbüll aus. Dieser Teil der Flutwelle kann also, da er nicht bis zur Dammachse fortläuft, keinen höheren Wasserstand am Damm verursachen.

Der nördlich von Föhr nach Westen schwenkende Teil der Flutwelle vereint sich mit der vom Vortrapptief kommenden Flutwelle. Die hierdurch entstehende Aufhöhung dieser Flutwelle wird, wie aus den unter C 10 a und b ausgeführten Rechnungen hervorgeht, durch die in der Rechnung nicht berücksichtigten Verzweigungen nach der Rantumer Bucht annähernd aufgehoben. An diesem Verhältnis ändert sich auch nach dem Dammbau nichts, so daß durch den Einfluß der von dem Föhrer Ley kommenden Flutwelle keine weitere Aufhöhung zu der berechneten hinzuzufügen ist.

Bei Sturm wird der vorstehend ermittelte Wert $\Delta \Delta h = 0,10$ m eine Vermehrung auf $\Delta \Delta h'$ erfahren. (Siehe D 3 b.)

2. Gew. Hochwasser ohne Einwirkung des Windes nördlich am Damm

In dem nördlich des Dammes liegenden Teil des Wattenmeeres läuft nur eine Flutwelle durch das Lister Tief.

Das Römer Ley kommt für ein Einströmen der Flutwelle nicht in Frage (vgl. C 6).

Die von List kommende Flutwelle wird, nachdem das Watt überflutet ist, an der Dammlinie durch die von Süden kommende Flutwelle zurückgedrängt. Durch das Zusammentreffen der beiden Flutwellen findet jetzt eine Aufhöhung des Wellenscheitels statt. Nach dem Damm-

²⁾ Der Vorgang allmählicher Reflexion der Welle ist ein sehr verwickelter, so daß die von mir gegebenen Gleichungen, welche hier benutzt sind, durchaus nur Annäherung bieten. Immerhin sind deren Ergebnisse geeignet, zu zeigen, in welchen Grenzen die Wellenformung sich etwa bewegt, und daher immerhin praktisch zu verwenden, jedenfalls besser als die Werte einfacher Schätzung.

Es ist zu erwarten, daß sich bei Vereinigung praktischer Untersuchung und theoretischer Forschung eine umfassendere und schärfere Lösung der vorliegenden Aufgabe gewinnen ließe.

Die Durchsicht der vorliegenden Dr.-Arbeit hat mich veranlaßt, den Gegenstand der Untersuchung etwas weitergehend zu behandeln, als das bisher geschah. Voraussichtlich wird darüber in der Hann. Zeitschrift für Architekten und Ingenieure demnächst von mir berichtet werden. Es zeigte sich, daß die Gleichung für Δh bei einem sich nicht verengenden Stromprofil auch auf die Form gebracht werden kann:

$$\text{Gl. III} \quad \Delta h = \frac{U \cdot V_m}{g}$$

Darin bedeutet U die anfängliche Stromgeschwindigkeit und V_m die mittlere Flutwellengeschwindigkeit.

Im vorliegenden Fall würde durch den Dammbau, also durch das Abschneiden der am Ort desselben zuvor vorhandenen Strömungsgeschwindigkeit $U_2 = 0,20$ m/sek bei $t = 1,4$ m Wassertiefe und einem ermittelten Werte

$$V_m = \sqrt{g \cdot t} = \sqrt{9,81 \cdot 1,4} = 3,7 \text{ m/sek}$$

sich nach Gleichung III ergeben:

$$\Delta h = \frac{0,20 \cdot 3,7}{9,81} = 0,076 \text{ m, welcher Betrag dem unter a vorstehend gefundenen Wert sehr nahe kommt.}$$

gez.: M. M.

bau kann die nördliche Flutwelle, ohne daß ihr die südliche Flutwelle entgegenströmt, bis zum Dammbau fortlaufen. Die jetzt in der Zeit vom Überfluten des Watts bis zur Hochwasserzeit in einer Flut über die Dammlinie von Süden nach Norden fließende Wassermenge von 28 000 000 cbm (vgl. C 4) fällt fort.

Hierdurch muß die Fluthöhe an der Nordseite des Dammes etwas geringer werden als vor dem Dammbau. Wie groß dieses Maß ist, läßt sich nicht berechnen. Es wird geschätzt, daß die Wasserstandshöhe bei mittlerem Hochwasser in der Dammachse an der Nordseite von + 0,85 NN auf + 0,80 NN zurückgeht.

Die Stromgeschwindigkeiten bei List sind durch Schwimmermessungen ermittelt und in der Abbildung 12 (Tafel) unter der zugehörigen Flutkurve aufgetragen.

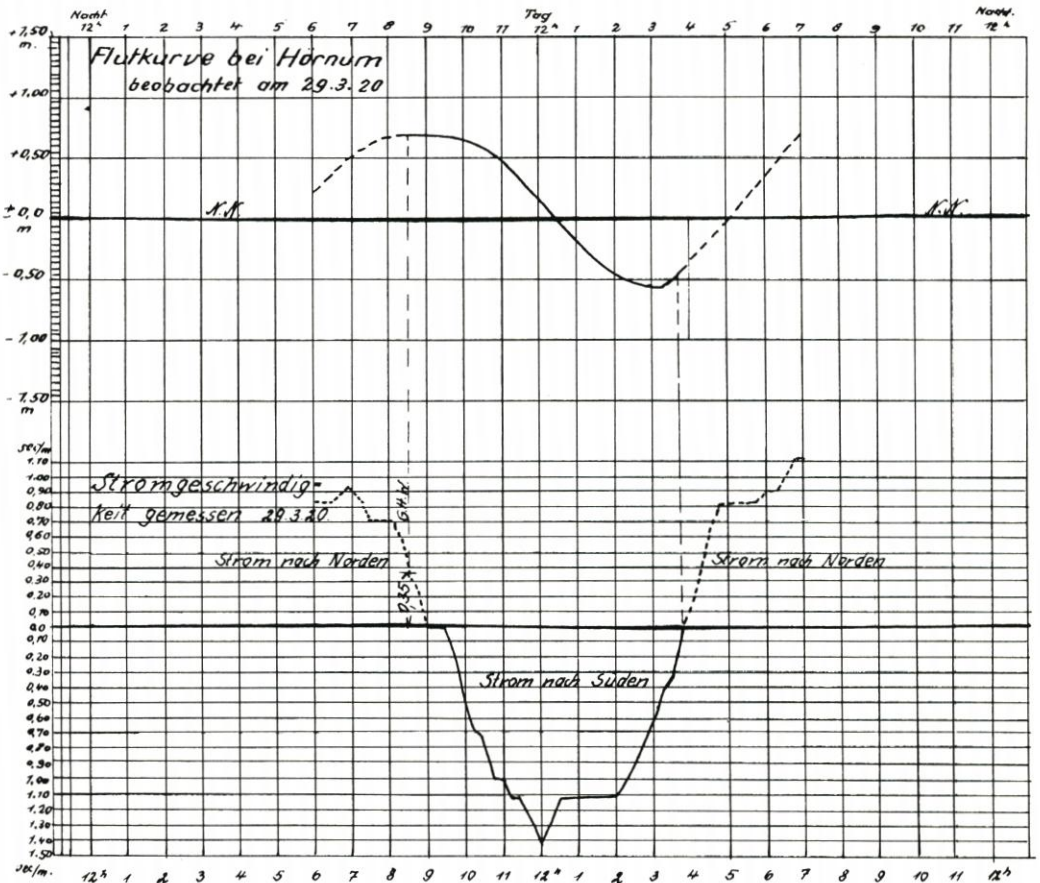


Abb. 9

Die Stromgeschwindigkeit zur Zeit des Hochwassers ist bei List 0,24 m/sec; sie ist also wesentlich geringer als bei Hörnum (0,35 m/sec).

Die angegebenen Höhenunterschiede für die zukünftigen Wasserstände an der Festlandsküste südlich und nördlich des Dammes werden sich bei SW-Winden vergrößern bzw. angleichen.

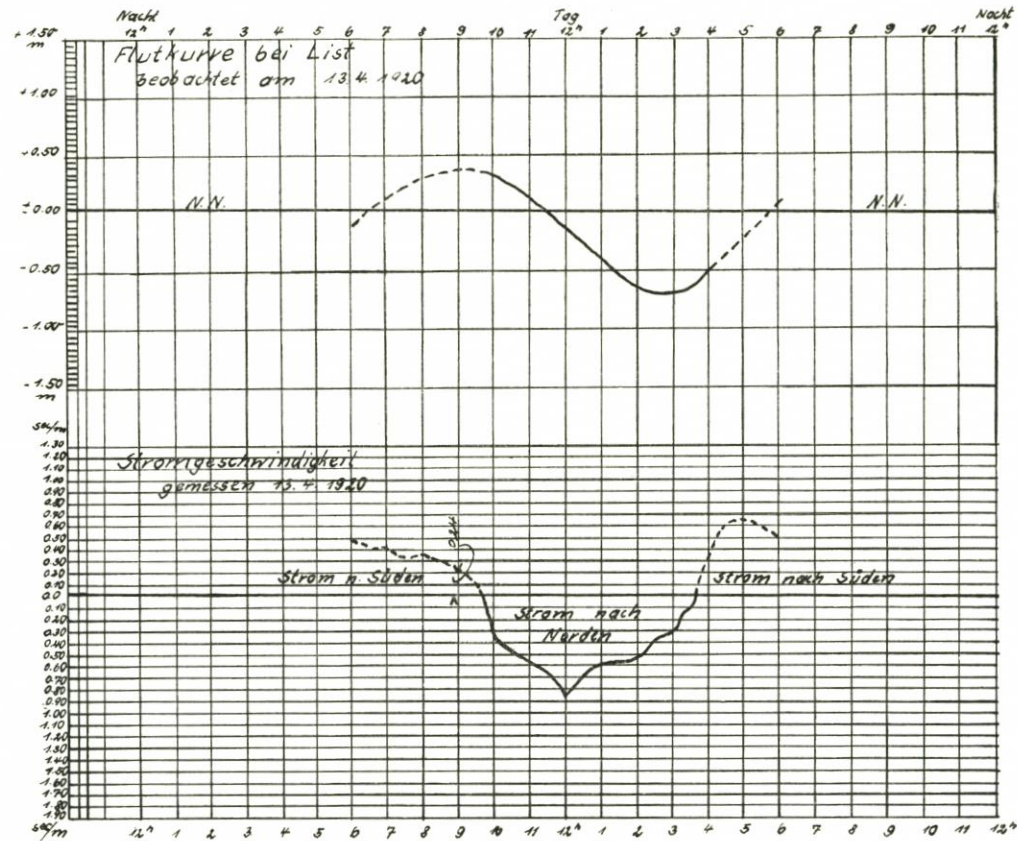


Abb. 12

Hörnnum.

Ilamm.

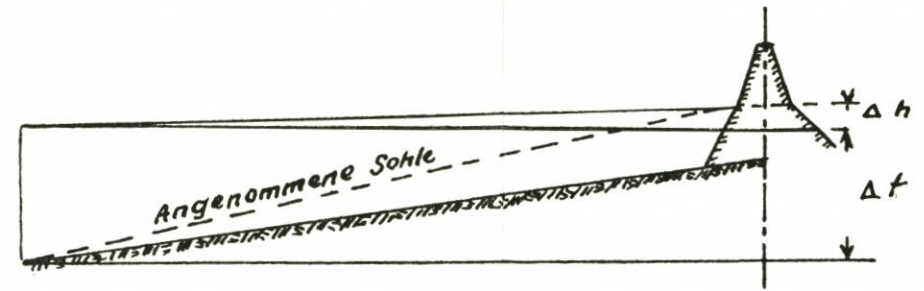


Abb. 10

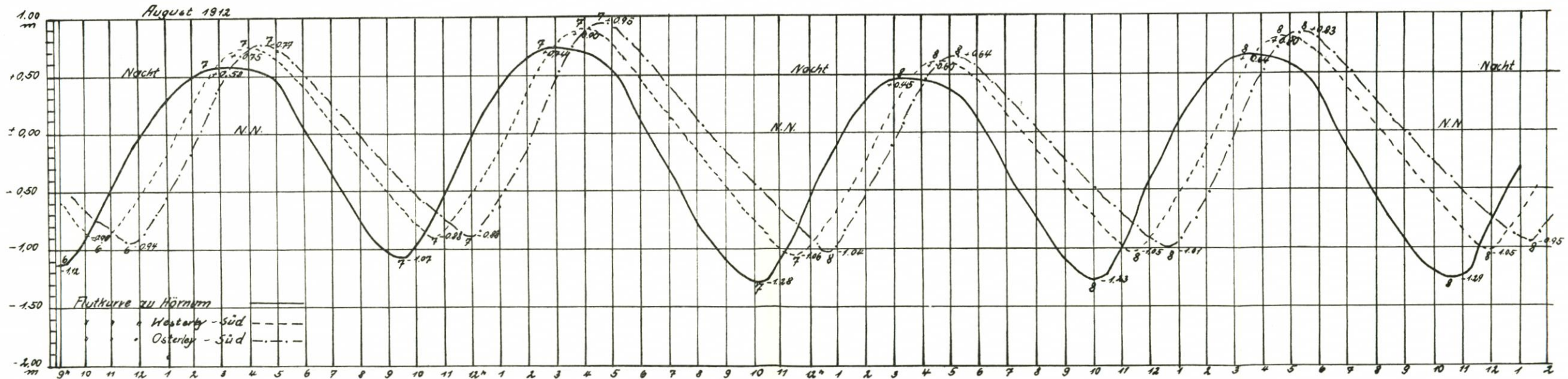


Abb. 11

Da in Hoyerschleuse Hochwasser später eintritt, als in Südwesthörn, wird sich an der Südseite des Dammes Hochwasser etwa 1 Stunde früher einstellen als an der Nordseite.

Der Unterschied zwischen dem nördlichen und südlichen Wasserstand am Damm wird daher zeitweilig — je nach den verschiedenen Flutabschnitten — auch bei ruhigem Wetter wesentlich größer sein, als der vorstehend zu $0,95 - 0,80 = 0,15$ m angegebene Unterschied zwischen den Höchstständen südlich und nördlich des Dammes ausmacht, da zur Zeit des Höchststandes auf der Südseite des Dammes nördlich desselben noch ein niedrigerer Wasserstand besteht, als es dem dort erst später eintretenden Hochwasser entspricht.

3. Hochwasserstand unter dem Einfluß des Windes (Sturmfluthöhe)

a) Allgemeines über den Verlauf der Sturmfluten im Wattenmeer zwischen Festland und Sylt vor und nach dem Dammbau.

In dem in Frage kommenden Teil des Wattenmeeres treten hohe Sturmfluten nur ein bei Stürmen aus SW und wenn sich der Sturm von SW nach NW dreht. — Es werden dann große Wassermassen durch die Einlauftiefe von der Nordsee in das Wattenmeer getrieben.

Aus dem Beobachtungsmaterial der seit 1907 eingetretenen 10 höchsten Sturmfluten ist festzustellen, daß bei allen Sturmfluten die Höhe über Gew. HW am Festland wesentlich größer war, als auf den vorgelagerten Inseln, daß also die Aufhöhung der Flutwellen von Hörnum bzw. List bis zur Festlandsküste unter dem Einfluß des Windes bei Sturmfluten bedeutend größer war, als bei normalen Fluten.

An der Festlandküste wurde der höchste Punkt der einzelnen Sturmfluten in den genannten 10 Fällen beobachtet:

2mal in Dagebüll,

2mal war der Wasserstand in Dagebüll und Südwesthörn gleich hoch,

5mal in Südwesthörn,

1mal in Hoyerschleuse (vgl. Abb. 1).

Ein völlig bestimmtes Bild für den Verlauf der Sturmfluten bei gewissen Windrichtungen läßt sich aus den 10 genannten Sturmfluten nicht entnehmen. Da die Spiegelgefälle zwischen Dagebüll und Hoyerschleuse bei gleichen Windrichtungen mehrfach direkt entgegengesetzt waren, muß angenommen werden, daß das Auflaufen der Sturmfluten vor allen Dingen durch den Einlauf der Fluten aus der Nordsee bedingt ist und daß neben der Sturmrichtung das frühere oder spätere Eintreffen der im Norden und Süden einlaufenden Flutwellen die Höhe der Sturmfluten an den einzelnen Beobachtungsstellen der Festlandsküste maßgebend beeinflusst hat.

Zur besseren Veranschaulichung des Verlaufs der Sturmfluten zwischen Festland und Sylt sind die Höhen der 3 höchsten Sturmfluten, welche in dem fraglichen Teil des Wattenmeeres einwandfrei beobachtet sind, auf Diagramm 3 dargestellt. Es sind dies die Sturmfluten vom 3. Dezember 1909, vom 5./6. November 1911 und vom 16./17. Februar 1916.

Aus dem Bild dieser Sturmfluthöhen in Verbindung mit der vorhergehenden Darstellung des Verlaufs der gewöhnlichen Flutwellen ergeben sich folgende allgemeine Schlüsse:

In dem östlich der Insel Sylt gelegenen Wattenmeer entsteht zur Zeit durch Stürme aus Südwest bis Nordwest bei Hochwasser auf der Luvseite ein Ansteigen des Wasserspiegels in Richtung der fließenden Bewegung des Wassers, welche „Steigung“ genannt wird.

Nach der Leeseite fällt der Wasserspiegel in Richtung der fließenden Bewegung des Wassers mit „Gefälle“ ab.

Es ist möglich, daß gleichzeitig ein Teil des Wassers auf der Luvseite entgegen dem Wind, also durch das Hörnumtief bzw. Lister Tief auf dem Grund abfließt.

Dreht der Wind bei Südweststürmen nach Nordwest, so kann das Wasser der bisherigen Leeseite noch höher auftreiben; zum Gefälle, das bei dem Abfluß in der Anfangsrichtung entsteht, tritt dadurch, daß das Wasser nach der Windrichtung gegen den Wind fließt, eine Steigung hinzu.

Solche Verhältnisse können in Zukunft, wenn der Sylter Damm gebaut ist, nicht mehr eintreten. Dann steht der Wasserspiegel nur unter dem Einfluß des Winddrucks von einer Seite. Der SW-Sturm erzeugt auf der Luvseite südlich des Dammes eine „Steigung“ nach dem Damm hin; nördlich vom Damm wird voraussichtlich ein Sinken eintreten. Schlägt der Wind nach Nordwest um, so kann er den vorher auf der Südseite eingetretenen Wasserstand nicht mehr steigern, wie es vor dem Dammbau der Fall war, er kann ihn nur senken.

Die Einwirkung der Windes auf diese Stelle wird also in diesem Falle herabgesetzt.

Auf der Südseite kann das angestiegene Wasser noch während des Sturmes teilweise auf dem Grund zum Abfluß kommen.

Der höchste Punkt der Sturmfluten muß nach Fertigstellung des Sylter Dammes in allen Fällen nach den Festlandsecken am Damm verlegt werden, und zwar wird bei SW-Stürmen in der südlichen Bucht am Festlande, bei Stürmen mit von SW nach NW drehendem Winde oder reinem NW-Sturm der höchste Punkt der Sturmflut in der nördlichen Bucht am Festlande entstehen.

Das Aufstauen des Wassers wird solange vor sich gehen, bis infolge eingetretener „Steigung“ des Wasserspiegels, bedingt durch die horizontale Kraft des Sturmes sich ein Ausgleich gebildet hat zwischen dem zur Küste gerichteten Strom der oberen Wasserschicht gegenüber dem Rückstrom in der Tiefe.

b) Zunahme $\Delta\Delta h'$ der Flutwellenhöhe vor dem Damm bei Sturmfluten als Teilbetrag der ganzen Erhebung, nur durch die dynamischen Vorgänge in der Welle bedingt.

Im Abschnitt D 1 a und b ist der Wert $\Delta\Delta h$ einer Erhöhung des Gw. HW, also bei Windstille nach Rechnungsart a) zu 0,09 m, nach Rechnungsart b) zu 0,10 m ermittelt.

Der nachfolgenden Untersuchung sei der größere Wert $\Delta\Delta h = 0,10$ m zugrunde gelegt.

Bei Stürmen aus südlichen und westlichen Richtungen, die nach dem Dammbau die größten Wasseraufhöhungen in dem Becken südlich des Dammes hervorbringen, wird die Geschwindigkeit des einlaufenden Flutstroms und der Wellenfortpflanzung größer als bei gewöhnlichen Fluten, mithin wird auch der Wert $\Delta\Delta h'$ größer als der berechnete Wert $\Delta\Delta h$.

Die Stromgeschwindigkeit im Wellenscheitel läßt sich bei Sturmfluten wegen des Seegangs nicht durch Messungen feststellen. Eine rechnerische Ermittlung des Wertes $\Delta\Delta h'$ ist daher ausgeschlossen und man muß eine Schätzung der Größe dieses Wertes vornehmen.

Man kann annehmen, daß der Wert $\Delta\Delta h' : \Delta\Delta h$ in dem gleichen Verhältnis wächst, wie das Verhältnis der Flutgrößen bei Sturmfluten gegenüber der Flutgröße bei gewöhnlichen Fluten zunimmt.

Die gewöhnliche Flutgröße bei Hörnum (ohne Wind) ist $G = 1,72$.

Bei Sturmfluten ist aus den vorhandenen Pegelaufzeichnungen die größte Flutgröße (Höhe zwischen NW und HW) zu $G' = 3,5$ m beobachtet:

$$\Delta\Delta h' : \Delta\Delta h = G' : G$$

$$\Delta\Delta h' = \Delta\Delta h \cdot G'$$

$$\Delta\Delta h' = \frac{0,1 \cdot 3,5}{1,72} = 0,20 \text{ m}$$

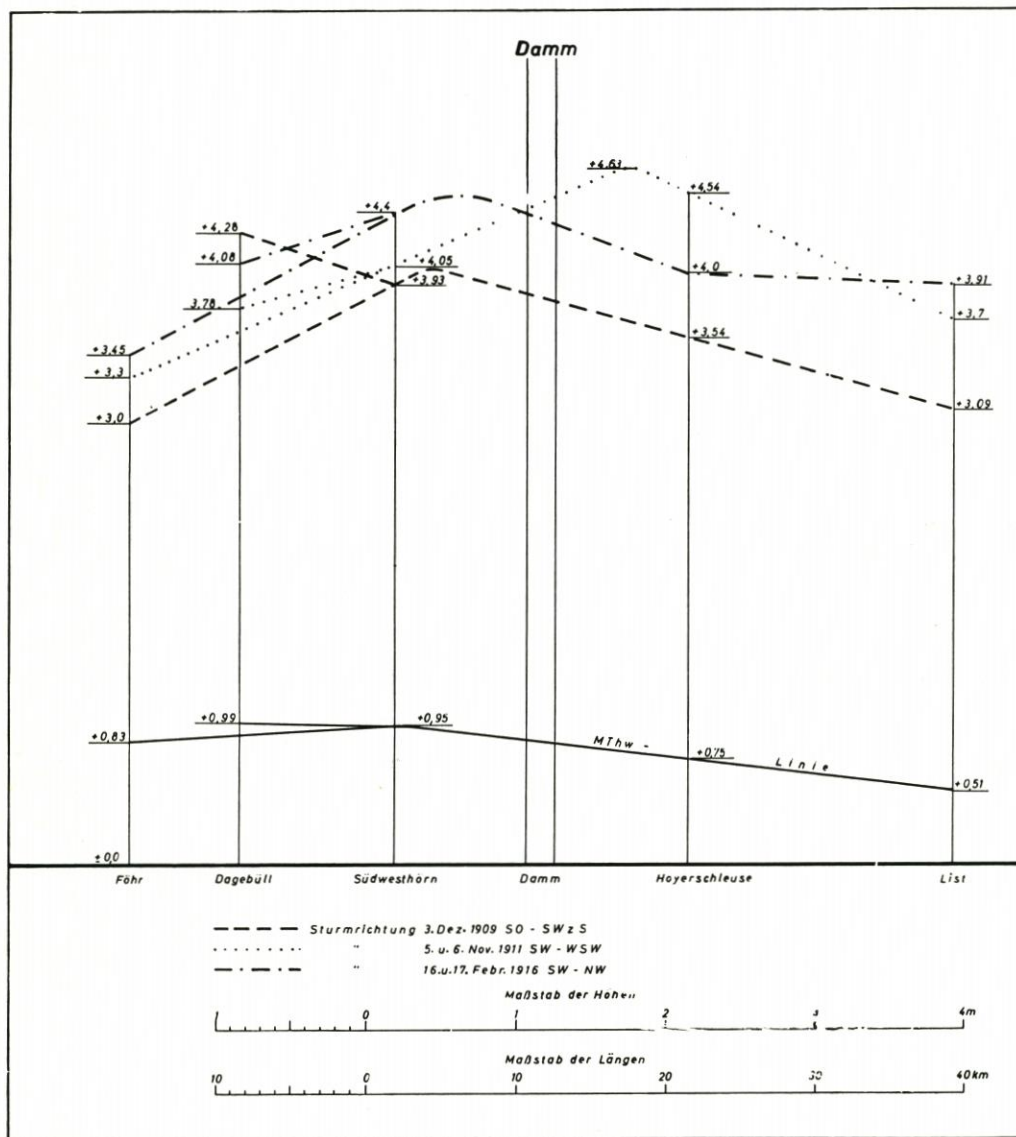


Diagramm 3

c) Zunahme $\Delta \Delta h''$ der Steigung bei Sturm als Teilbetrag der ganzen Erhebung des Hochwassers vor dem Damm, veranlaßt durch den Umstand, daß der Damm hernach einen Abschluß bildet und die Steigung sich dann bei SW-Stürmen bis zum Damm fortsetzt.

Nach der Darstellung der 3 höchsten beobachteten Sturmfluten ist in einem Fall bei der Sturmflut am 16./17. Februar 1916 (Diagr. 3, strichpunktierte Linie) der höchste Stand der Sturmflut bei Südwesthörn, also südlich der Dammachse durch Drehung der Sturmrichtung von SW nach NW entstanden. — Dieser Fall kann nach Fertigstellung des Dammes, wie unter D 3 a

ausgeführt ist, nicht mehr eintreten, da der Damm später ein Übertreten von Wasser aus dem nördlichen Teil des Wattenmeeres nach dem südlichen Teil verhindert. Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1916 muß daher für die Ermittlung des Wertes $\Delta\Delta h''$ ausscheiden. Wenn der Damm bei dieser Sturmflut vorhanden gewesen wäre, wäre die größte Sturmfluthöhe an der Nordseite des Dammes am Festlande entstanden. Südlich des Dammes wäre die Sturmfluthöhe durch den Nordweststurm wesentlich herabgemindert (vgl. D 3 a).

Bei der durch SW-Sturm entstandenen Sturmflut vom 3. Dezember 1909 (Diagr. 3, langgestrichelte Linie), bei welcher der höchste Wasserstand bei Südwesthörn zu + 3,93 NN beobachtet ist, fällt die Sturmfluthöhe von Südwesthörn nach Norden hin ab. Bei dieser Sturmflut ist die stärkste im Wattenmeer überhaupt vorgekommene Steigung des Sturmflutspiegels in der Sturmrichtung von Westerland (Föhr) + 3,00 NN bis Südwesthörn + 3,93 NN beobachtet. Diese Steigung hat auf 15,5 km Länge (s. Abb. 1 und Diagr. 3) $3,93 - 3,00 = 0,93$ m betragen. Die Steigung war also $\frac{0,93}{15\,500} = 0,00006$ oder 6 cm auf 1 km Länge.

Wenn bei dieser Sturmflut der Damm bereits bestanden hätte, hätte sich eine Steigung des Sturmflutspiegels, da ein Abfließen nach Norden über die Dammachse später nicht möglich ist, in der gleichen Höhe (6 cm auf 1 km) zwischen Westerland (Föhr) und dem Anschlußpunkt des Dammes an das Festland (vgl. Bl. 1) einstellen können.

Die Entfernung von Westerland (Föhr) bis zum Ostende des Dammes beträgt 20 km (s. Abb. 1). Bei der vorstehend ermittelten Steigung von 6 cm auf 1 km hätte also die Steigung des Sturmflutspiegels von Westerland (Föhr) aus bis zum Ostende des Dammes $20 \cdot 0,06 = 1,2$ m betragen können. Am Ostende des Dammes ergibt sich also rechnermäßig eine Sturmfluthöhe von + 3,00 NN (vgl. Diagr. 3) + 1,20 = 4,20 NN.

Bei der dritten, auf Diagramm 3 dargestellten Sturmflut vom 5./6. November 1911 (kurz gestrichelte Linie) ist zwischen Westerland (Föhr) und Südwesthörn eine Steigung von + 4,05 — 3,30 = 0,75 m auf 15,5 km Länge beobachtet. Die Steigung war also $\frac{0,75}{155,0} = 0,00048$ oder 4,8 cm auf 1 km. Bei dieser Sturmflut würde sich am Ostende des Dammes, wenn sich vom Westerland (Föhr) aus die gleiche Steigung (4,8 cm auf 1 km) wie zwischen Westerland (Föhr) und Südwesthörn eingestellt hätte, eine Sturmfluthöhe von $3,30 + 20 \cdot 0,048 = + 4,26$ NN ergeben.

Es ist aber denkbar, daß bei dieser Sturmflut durch Zusammentreffen ungünstiger Umstände auch eine Steigung von 6 cm auf 1 km hätte eintreten können, wie sie bei der Sturmflut vom 3. Dezember 1909 beobachtet ist.

Bei Zugrundelegung dieser größten beobachteten Steigung ergibt sich entsprechend der für die Sturmflut vom 3. Dezember 1909 ausgeführten Berechnung für diesen Fall eine rechnermäßige Sturmfluthöhe von + 3,30 NN + $20 \cdot 0,06 = 4,50$ NN.

Die bisher am Ostende des Dammes beobachtete größte Sturmfluthöhe (vgl. Diagr. 3) ist + 4,20 NN. Dadurch, daß der Damm hernach einen Abschluß bildet und die Steigung sich dann bei SW-Stürmen bis zu ihm hin fortsetzt, ergibt sich also eine größte Zunahme der Sturmfluthöhe

$$\Delta\Delta h'' = 4,50 - 4,20 = 0,30 \text{ m.}$$

Um festzustellen, ob an anderen Stellen in Buchten der Nordsee eine größere Steigung des Sturmflutspiegels als 6 cm auf 1 km beobachtet ist und daher vielleicht der größeren Sicherheit wegen bei Ermittlung von $\Delta\Delta h''$ mit einer höheren Steigung bei Sturmfluten gerechnet werden muß, sei zum Vergleich Beobachtungsmaterial von der Jade, Weser und der Zuidersee herangezogen.

Aus dem seit 1880 gesammelten Beobachtungsmaterial der Reichswerft in Wilhelmshaven (Strombauressort) über die Sturmfluthöhen in der Jade sind nachfolgend die ermittelten größten Steigungen der Wasseroberfläche in der Jade zusammengestellt:

	Größtes Stei- gungsverhältnis bei Sturmfluten	
1. Zwischen Rotersand und Wilhelmshaven	0,000038	3,8 cm auf 1 km
2. Zwischen Rotersand und Varel	0,000034	3,4 cm auf 1 km
3. Zwischen Wangerooge und Wilhelmshaven	0,000034	3,4 cm auf 1 km
4. Zwischen Wangerooge und Ellenserdamm	0,000033	3,3 cm auf 1 km

Aus den von der Senatskommission für die Unterweserkorrektion gegebenen Sturmflutbeobachtungen ist ermittelt, daß die größten „Steigungen“ in der Unterweser bei Sturmfluten betragen haben:

	Größtes Stei- gungsverhältnis bei Sturmfluten	
1. Rotersand-Hoherweg	0,000055	5,5 cm auf 1 km
2. Hoherweg-Bremerhaven	0,000024	2,4 cm auf 1 km
3. Rotersand-Bremerhaven	0,000033	3,3 cm auf 1 km

Nach der Veröffentlichung von C. W. LELY (3) über „Aufhöhung der Sturmflutstände an der friesischen Küste infolge Abschließung der Zuidersee“ ist die größte Steigung in der Zuidersee bei Westwind, Stärke 10, zwischen Urk und Kraggenburg mit 0,0000292 (2,92 cm auf 1 km) ermittelt.

Die vorstehenden Zahlen ergeben, daß die Steigung der Wasseroberfläche bei Sturmfluten in der inneren Jade, Weser und Zuidersee stets unter 4 cm auf 1 km beobachtet ist. In der Außenweser zwischen Rotersand-Leuchtturm und Hoherweg ist in einem Falle eine Steigung von 5,5 cm auf 1 km beobachtet.

Die für die Ermittlung von $\Delta\Delta h''$ vorstehend zugrunde gelegte Steigung ist demnach auch an anderen Beobachtungsstellen der Nordsee nicht erreicht, so daß kein Grund vorliegt, mit einer höheren Steigung als 6 cm auf 1 km zu rechnen.

d) Ermittlung der Höhe h' des zukünftigen höchsten Wasserstandes südlich am Damm.

Wie unter B 3 ausgeführt ist, ergibt sich die zukünftige Sturmfluthöhe h' am Damm aus der gegenwärtig am Ort des zukünftigen Dammschlusses an das Festland bei SW-Stürmen beobachteten höchsten Sturmfluthöhe h , vermehrt um die unter D 3 b und c ermittelten Zunahmen der Sturmfluthöhe.

Es wird:

$$h' = h + \Delta\Delta h' + \Delta\Delta h''.$$

Als größte bisher bei SW-Stürmen vorgekommene Sturmfluthöhe in der Dammachse am Festland ist nach Diagramm 3 $h = + 4,20$ NN beobachtet.

$$\Delta\Delta h' = 0,20 \text{ m,}$$

$$\Delta\Delta h'' = 0,30 \text{ cm ermittelt. Als größte zukünftige Sturmfluthöhe ergibt sich demnach:}$$

$$h' = h + \Delta\Delta h' + \Delta\Delta h'' = 4,20 + 0,20 + 0,30 = + 4,70 \text{ NN.}$$

Diese Sturmfluthöhe kann aber nur eintreten, wenn alle ungünstigen Umstände, die ein Auftreten höherer Sturmfluten verursachen, zusammentreffen.

e) Ermittlung der Sturmfluthöhe an der nördlichen Festlandsecke des Dammes.

An der Nordseite des Dammes werden die höchsten Sturmfluten bei Nordwest-Stürmen auftreten. Da aber nach dem Dammbau das Abfließen von Wassermengen von Süden nach Norden über die Dammlinie unmöglich ist, fällt die bei dem Zusammentreffen der südlich und nördlich einlaufenden Flutwellen bisher auftretende Aufhöhung fort.

Bei Hoyerschleuse ist als größte Sturmfluthöhe bei NW-Sturm + 4,00 NN beobachtet (Diagr. 3, strichpunktierte Linie).

Rechnet man wieder mit der vorher ermittelten größten Steigung von 0,00006 (6 cm auf 1 km), so ergibt sich eine Sturmfluthöhe von $4,00 + 10\ 000 \cdot 0,00006 = + 4,60$ NN an der nördlichen Festlandsecke des Dammes.

f) Vergleich der zukünftigen Sturmfluthöhen am Damm mit Sturmfluthöhen an anderen Punkten der Nordsee.

Ein höheres Auflaufen der Flut als + 4,70 NN, das ist $4,70 - 0,95 = 3,75$ m über das später an der südlichen Festlandsecke des Dammes zu erwartende gewöhnliche Hochwasser ist nicht anzunehmen, wenn man die größte Sturmfluthöhe an anderen Punkten der Nordsee mit dieser Höhe vergleicht.

Die höchste Sturmfluthöhe in Husum, das am Ende einer trichterförmigen Bucht liegt und die höchsten Sturmfluthöhen im Vergleich mit anderen Plätzen der Westküste hat, ist + 5,01 NN am 16./17. Februar 1916 beobachtet.

Gew. HW liegt auf + 1,29 NN, so daß die größte Sturmfluthöhe 3,72 m über Gew. HW gewesen ist.

An höchsten einwandfrei festgestellten Sturmfluten seien zum Vergleich noch die nachfolgenden Höhen zusammengestellt:

	Gew. HW	Höchste beobachtete Sturmflut	Höhe über Gew. HW
Hoyerschleuse	+ 0,75 NN	+ 4,54 NN am 5./6. XI. 1911	+ 3,79 m
Südwesthörn	+ 0,95 NN	+ 4,40 NN am 16./17. II. 1916	+ 3,45 m
Dagebüll	+ 0,99 NN	+ 4,28 NN am 3. XII. 1909	+ 3,29 m
Husum	+ 1,29 NN	+ 5,01 NN am 16./17. II. 1916	+ 3,72 m
Tönning	+ 1,24 NN	+ 4,65 NN am 16./17. II. 1916	+ 3,41 m
Büsum	+ 1,32 NN	+ 4,40 NN am 16./17. II. 1916	+ 3,08 m
Brunsbüttelkoog	+ 1,29 NN	+ 4,00 NN am 13./14. I. 1916	+ 3,11 m
Wilhelmshaven	+ 1,55 NN	+ 5,10 NN am 13. III. 1906	+ 3,55 m
Binnenjade (Varel)	+ 1,64 NN	+ 5,45 NN am 13. III. 1906	+ 3,81 m
Emden (Nesserland)	+ 1,26 NN	+ 5,17 NN am 13. III. 1906	+ 3,91 m

Vor Eintritt der schweren Sturmfluten von 1906, 1909, 1911 und 1916 galt als höchste vorgekommene Flut an der schleswigschen Westküste die Sturmflut vom 3./4. Februar 1825.

Die Sturmfluthöhen von 1825, die auf Grund von Untersuchungen, die viele Jahre später ausgeführt sind, also keinen Anspruch auf völlige Richtigkeit machen können und bei denen voraussichtlich der Wellenaufbau zum Teil mit berücksichtigt ist, sind für die Westküste die folgenden:

	Höhe über NN	Höhe über Gew. HW
Husum	+ 4,99 NN	3,70 m
Tönning	+ 4,96 NN	3,72 m
Büsum	+ 4,97 NN	3,65 m

FÜLSCHER (4) gibt in seiner Veröffentlichung „Über Uferschutzbauten zur Erhaltung der ost- und nordfriesischen Inseln“ (Zeitschrift für Bauwesen 1905, Seite 320) an, daß die Sturmflut von 1825 an der ganzen deutschen Nordseeküste annähernd die gleiche Höhe von 3,50 m über Gew. HW gehabt hat. Die nicht amtlichen höheren Angaben hält FÜLSCHER ohne Zweifel für falsch.

Aus den vorstehenden Zusammenstellungen geht hervor, daß bei den höchsten einwandfrei festgestellten Sturmfluten in der deutschen Nordseebucht ein Auflaufen bis 3,90 m über Gew. HW beobachtet ist, und zwar an Buchten, die trichterförmig gestaltet sind und daher wesentlich ungünstiger sind, als die am Sylter Damm entstehenden Buchten. — Höhere Sturmfluten sind nicht vorgekommen.

Wenn also mit einer Sturmfluthöhe an der südlichen Festlandsecke des Damms von 4,70 NN, gleich 3,75 m über dem später zu erwartenden Gew. HW gerechnet wird, ist sie auf alle Fälle ausreichend.

Ein höheres Auflaufen der Sturmfluten am Damm ist nur denkbar, wenn an der ganzen Westküste überhaupt bedeutend höhere Sturmfluten als bisher auftreten.

E. Vorschläge betreffend Anstellung von Beobachtungen und von praktischen Untersuchungen, um die in Abschnitt B erörterten Ursachen des Ansteigens der Flutwelle klarer erkennen zu lassen

Um die Ursachen des Ansteigens der Flutgröße genauer kennenzulernen, wäre es zweckmäßig, an verschiedenen Stellen der Seeküsten im Flutgebiet in Buchten ohne Flußeinmündungen, insbesondere auch im Wattenmeer von der offenen Nordsee aus bis zum Ende der Buchten die Entwicklung der Flutwellen durch selbstzeichnende Pegel längere Zeit zu beobachten, gleichzeitig die Stromgeschwindigkeit zu messen und Windrichtung sowie Windstärke zu beobachten.

In der offenen Nordsee vor den Küsten werden diese Messungen wohl nur an vereinzelten günstigen Tagen möglich sein.

Aus dem so gewonnenen Beobachtungsmaterial ließen sich wertvolle allgemeine Schlüsse über Entwicklung und Verlauf der Flutwelle ziehen.

Sodann dürfte durch Versuche über das Auflaufen der Wellen bei steigendem Untergrund versucht werden, die bisherigen Kenntnisse über den Verlauf der Wellen zu erweitern und Aufschlüsse über die Reibungsverhältnisse zu gewinnen.

Um über das Ansteigen der Wasseroberfläche gegen eine Küste, auf welche der Wind gerichtet ist, nähere Kenntnis zu erlangen, ist eine wesentlich gründlichere Beobachtung dieses Ansteigens als bisher bei verschiedenen Tiefen an möglichst vielen Punkten der Küste erforderlich.

Bei Sturmfluten muß nicht nur die Höhe des Wasserstandes, sondern auch die genaue Zeit des Eintretens des höchsten Wasserstandes, ferner auch die Stärke, Richtung und Dauer des Windes genau ermittelt werden. Nach jahrzehntelangen Beobachtungen lassen sich dann vielleicht Regeln über das Ansteigen der Wasseroberfläche bei bestimmten Windrichtungen, Windstärken und Wassertiefen für einzelne Punkte der Küsten ermitteln.

F. Ergebnis

Nach den angestellten Betrachtungen wird durch den Dammbau an der südlichen Festlandsecke eine Hebung des gewöhnlichen Hochwassers um 10 cm — von 0,85 NN auf 0,95 NN — erwartet.

Die größte Sturmfluthöhe, die bisher + 4,20 NN am Ostende des Dammes beobachtet ist, kann nach dem Dammbau an der genannten Stelle auf 4,70 NN steigen. Da die angestellten Ermittlungen nicht voll beweiskräftig und in ihren Ergebnissen völlig unzuverlässig sind, ist bei Festsetzung der Dammhöhe mit einem Sicherheitswert zu rechnen, der $s = 1,60$ angenommen werde.

Die für die Bestimmung der Höhe des Dammes und der anschließenden Festlandsdeiche zugrunde zu legende Sturmfluthöhe stellt sich daher wie folgt:

$$\begin{aligned} h' &= h + s (\Delta \Delta h' + \Delta \Delta h'') \text{ S. 8} \\ &= 4,20 + 1,60 (0,20 + 0,30) \\ &= 4,20 + 0,80 = + 5,00 \text{ NN} \end{aligned}$$

Die bisher vorgeschriebene und ausreichende Höhe der Festlandsdeiche ist auf Diagramm 3 dargestellt; sie ist bei Südwesthörn und bei Hoyerschleuse + 6,44 NN, dazwischen vom Ort des Dammanschlusses auf 6,5 km nach Süden und 4,0 km nach Norden + 6,19 NN.

Diese Deichhöhe von + 6,19 — 5,00 = 1,19 m über der zugrunde zu legenden Sturmfluthöhe reicht nach den Erfahrungen bei Seedeichen, die dem Wellenschlage ausgesetzt sind, nicht aus.

Es wird daher vorgeschlagen, die Deichhöhe am Dammschluß 1,80 m über der ermittelten Sturmfluthöhe von 5,00 NN, also auf + 6,80 NN festzusetzen und dem Damm an dieser Stelle die gleiche Höhe zu geben. Vom Anschlußpunkt des Dammes kann die Deichhöhe nach Süden bis Südwesthörn auf 10 km Länge auf die jetzt vorhandene Höhe + 6,44 NN fallen. Im Norden ist ein schnelleres Abfallen auf 4 km Länge auf die vorhandene Deichhöhe + 6,44 NN zulässig, da an der Nordseite eine geringere Sturmfluthöhe als an der Südseite zu erwarten ist. Die vorgeschlagene Deicherhöhung ist auf Diagramm 3 dargestellt.

Da bei der Insel Sylt die Sturmfluthöhe wesentlich geringer ist als am Festlande (vgl. S. 38), ferner der Damm am Westende bei Sylt bei Sturmfluten im Schutz liegt und daher hier geringerem Wellenschlage ausgesetzt ist, wird vorgeschlagen, die Dammhöhe bei Sylt auf + 6,20 NN anzulegen und von hier aus in gleichmäßiger Steigung zu der Höhe + 6,80 NN am Festlande überzugehen.

Die vorgeschlagenen Damm- und Deichhöhen werden selbst bei den schwersten zu erwartenden Sturmfluten ausreichende Sicherheit gewähren.

Literaturverzeichnis

1. MÖLLER, M., Braunschweig: Ein Beitrag zur Berechnung der Wellen und der Flut- und Ebbebewegung des Wassers. (Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen, Hannover 1896.)
2. BRUUNS, G. G., Kopenhagen: Flut- und Strombeobachtungen an der Westküste Schleswigs. (Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen, Hannover 1877.)
3. LELY, C. W., Haag: Aufhöhung der Sturmflutstände an der friesischen Küste infolge Abschließung der Zuidersee. Herausgegeben von der Zuiderseevereinigung in Amsterdam.
4. FÜLSCHER: Über Uferschutzbauten zur Erhaltung der ost- und nordfriesischen Inseln. (Zeitschrift für Bauwesen 1905.)
5. KREY: Das Wattengebiet, die Marschen und Halligen an der Schleswig-Holsteinischen Nordseeküste. (Zentralblatt der Bauverwaltung 1918.)
6. MÜLLER, FR.: Das Wasserwesen an der Schleswig-Holsteinischen Nordseeküste. (Verlag Dietr. Reimer, Berlin 1917.)
7. Handbuch der Ingenieurwissenschaften, Wasserbau am Meere und in Strommündungen.
8. Akten des staatlichen Wasserbauamts Husum und der staatlichen Bauabteilung Sylt in Husum.