

Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein

unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum

Von Heinz Schelling †

Vorwort

Der ungewöhnliche Verlauf der Sturmflut vom 9. und 10. Februar 1949 veranlaßte die Wasserwirtschaftsverwaltung im Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein, den derzeitigen, inzwischen verstorbenen Leiter der Landesstelle für Gewässerkunde in Kiel, Regierungsbaurat HEINZ SCHELLING mit der sofortigen Überprüfung der Frage zu beauftragen, ob die Deichhöhen an der schleswig-holsteinischen Westküste nach menschlichem Ermessen allen wahrscheinlichen Ansprüchen gewachsen sind. Es handelte sich also um das Problem der höchstmöglichen Sturmfluthöhe, mithin um ein Kernproblem des Küstenschutzes und Seebaues. Hiermit haben sich namhafte Wissenschaftler seit langem beschäftigt, ohne daß bisher eine einwandfreie Antwort gefunden werden konnte. Verwaltungstechnische Gesichtspunkte erforderten eine Stellungnahme in kürzester Frist, und dieser Umstand erklärt vorwiegend den eingeschlagenen Weg und die Art und Weise, in der die Untersuchung durchgeführt wurde. SCHELLING war sich dessen bewußt, daß seine Arbeit nur ein Beitrag zur endgültigen Lösung sein konnte, und es lag in seiner Absicht, dieses erste Arbeitsergebnis zu verbessern, zu erweitern und zu vertiefen. Das Schicksal hinderte ihn daran.

SCHELLING hinterließ eine umfangreiche Materialsammlung und ein Manuskript, das er selbst noch nicht als druckreif ansah und dessen Veröffentlichung in der ursprünglichen Form nicht seinen Absichten entsprochen hätte. Andererseits sind sich alle Fachleute, die Einblicke in die Arbeit nehmen konnten, darüber einig, daß sie eine Fülle von Material und Gedanken enthält, die einem größeren Kreis zugänglich gemacht werden sollten. Seitens der Landesstelle für Gewässerkunde in Kiel wurde daher eine gewisse Überarbeitung und Zusammenfassung der Originalarbeit vorgenommen, wobei aber Wert darauf gelegt wurde, das eigentliche Gedankengut SCHELLINGS unverändert für sich selbst sprechen zu lassen.

Soweit eine endgültige Lösung überhaupt möglich ist, kann diese nur durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Meteorologen, Ozeanographen und Wasserbau-Ingenieuren erreicht werden, eine Tatsache, auf die SCHELLING mehrfach und eindringlich hingewiesen hat. SCHELLING hat nur einen der gangbaren Wege beschritten, indem er die bisher beobachteten Sturmfluten statistisch auswertete. Die vorliegende Schrift kann aus naheliegenden Gründen nur einen Teil des erfaßten Materials wiedergeben, das jedoch in vollem Umfange bei der Landesstelle für Gewässerkunde allen weiteren Bearbeitern dieses Fragenkomplexes zur Verfügung steht.

SCHELLING hat sich nicht darauf beschränkt, die Sturmfluthöhe zu ermitteln, die voraussichtlich an der Westküste Schleswig-Holsteins nicht überschritten wird, sondern hat auch sehr bemerkenswerte Untersuchungen darüber angestellt, welche Gefällsverhältnisse bei Sturmfluten und bei mittlerer Tide an der Westküste auftreten und wie sich hierbei insbesondere der Wasserstau am Hindenburgdamm verhält. Beide Untersuchungen sind einer späteren Veröffentlichung vorbehalten.

Möge diese Schrift im Sinne des Verstorbenen bewertet werden, nämlich als der Versuch, eine von Forschung, Wissenschaft und Technik heute noch ungelöste Frage kurzfristig in einer Weise zu beantworten, wie sie den praktischen Erfordernissen des Tages entspricht.

Kiel, am 31. Januar 1952.

WEINNOLDT

Regierungsbaudirektor

Leiter der Wasserwirtschaftsverwaltung im Ministerium für Ernährung,
Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein

Inhalt

Vorwort	63
Allgemeine Vorbemerkungen	65
1. Teil. Die Unterlagen	66
A. Die meteorologischen Verhältnisse bei den Sturmfluten an der Westküste Schleswig-Holsteins	66
B. Der Verlauf der größten Sturmfluten	67
1. Sturmflut am 3./4. 2. 1825	69
2. Sturmflut am 12./13. 11. 1872 (Ostsee)	73
3. Sturmflut am 10./13. 2. 1894	76
4. Sturmflut am 22./23. 12. 1894	76
5. Sturmflut am 5./8. 12. 1895	79
6. Sturmflut am 12./13. 3. 1906	81
7. Sturmflut am 5./6. 11. 1911	85
8. Sturmflut am 13. 1. und 16. 2. 1916	88
9. Sturmflut am 10. und 12. 10. 1926	92
10. Sturmflut am 18. 10. 1936	96
11. Sturmflut am 27. 10. 1936	99
12. Sturmflut am 24. 11. 1938	101
13. Sturmflut am 9./10. 2. 1949	105
14. Sturmflut am 24. und 26. 10. 1949	112
2. Teil. Vergleich und Auswertung der Sturmfluten	116
A. Sturmflutverlauf und -dauer	116
B. Der Einfluß des Windes auf den Wasserstand	119
1. Die Beziehung zwischen Windstau und Windrichtung	119
2. Die größte Höhe des Windstaus nach bisherigen Beobachtungen	122
3. Die Beziehung zwischen Windstau und Gestirnsflut	126
4. Die Beziehung zwischen Windstau und Windwirkung (Windstaubezugskurve)	128
C. Der höchstmögliche Wasserstand am Pegel Husum	139
1. Ermittlung aus dem bisher größten, einwandfrei beobachteten Windstau	139
2. Weitere Versuche der Ermittlung	139
3. Der wahrscheinlich höchstmögliche Wasserstand	141
D. Anwendung auf die Deichhöhen an der schleswig-holsteinischen Westküste	144
Zusammenfassung	144
Schriftenverzeichnis	145

Allgemeine Vorbemerkungen

Den Anlaß zur vorliegenden Arbeit gab der ungewöhnliche Verlauf der Sturmflut vom 9. und 10. Februar 1949, der erneut die Frage nach der höchstmöglichen Sturmflut an der Westküste aufwarf. Zur Beantwortung dieser für die Sicherheit der Seedeiche entscheidenden Frage wurde der Weg gewählt, alle noch erreichbaren Unterlagen über die höchsten Sturmfluten der Vergangenheit zusammenzustellen und an Hand dieses Materials nach gemeinsamen und grundsätzlichen Beziehungen zu suchen, die die inneren Zusammenhänge erkennen lassen und eventuell Voraussagen ermöglichen. Dieser Versuch, die Lehren aus der Vergangenheit zu ziehen, verliert auch durch gleichlaufende oder später folgende Untersuchungen rein theoretischer oder experimenteller Art nichts an seiner Bedeutung, da er für diese eine Kontrolle und Ergänzung darstellen wird.

Eine genaue Bearbeitung der älteren Sturmfluten ist leider nicht möglich, da in früheren Zeiten die Wasserstände nur einmal am Tage am Lattenpegel abgelesen wurden und man bis in die jüngste Zeit hinein die Windrichtungen und Windstärken nur roh nach dem Gefühl schätzte. Erst durch die Einführung der Schreibpegel (1875 in Tönning, 1905 in Husum) ergab sich die Möglichkeit für eine einwandfreie Erfassung der Gezeitenwasserstände, während Aufzeichnungen selbstschreibender Windmeßgeräte an der Westküste erst seit 1936 für wenige Stationen zur Verfügung stehen.

Die Untersuchung stützt sich besonders auf den Pegel Husum, da nur für diesen Pegel die erforderlichen langjährigen Unterlagen lückenlos waren und hier auch erfahrungsgemäß die höchsten Sturmfluten an der Westküste beobachtet werden. Die durch die Lage bedingte Sonderstellung am Ende einer langen und trichterförmigen Bucht, in der ein großer Wattstrom (Süder Hever) endigt, mußte dabei in Kauf genommen werden (Abb. 1).

Da der Husumer Schreibpegel erst ab 1905 in Betrieb ist, konnten nur die seit dieser Zeit eingetretenen höchsten Sturmfluten eingehender bearbeitet werden. Für die Untersuchung wurden dabei auch, soweit vorhanden, die Schreibpegelaufzeichnungen folgender Beobachtungsstellen an der Westküste benutzt: Meldorf, Trischen, Büsum, Tönning, Tümmelauer Bucht, Arlauschleuse, Bongsiel, Strand, Dagebüll, Südwesthörn, Hindenburgdamm Süd und Nord, List, Hörnum, Wittdün, Wyk, Hooge, Pellworm, Süderoog. Außerdem wurden die Pegel Cuxhaven, Helgoland und in Holland Harlingen und Nieuw-Statenzijl für einige Sturmfluten zum Vergleich herangezogen.

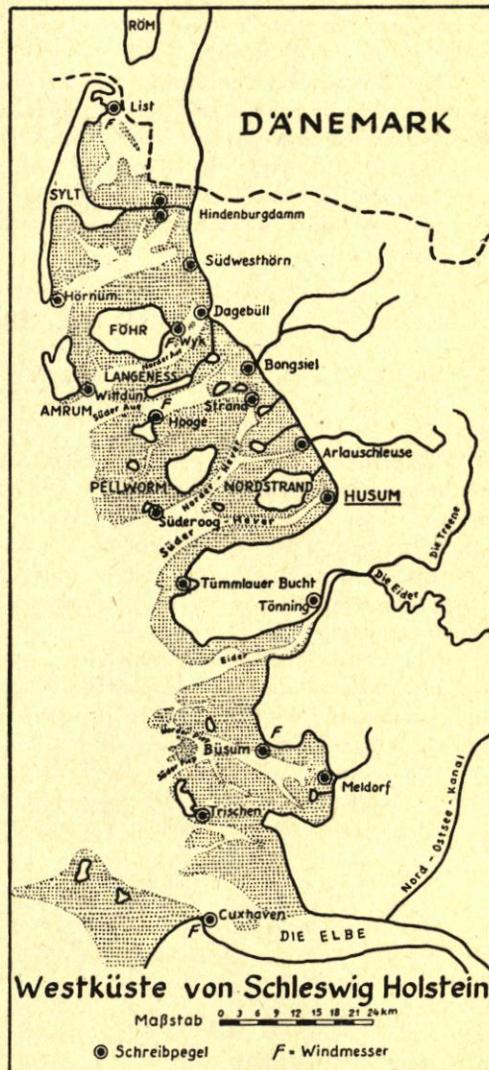


Abb. 1. Übersichtsplan mit der Lage der Schreibpegel und Windmesser

Es erschien ferner zweckmäßig, neben den seit 1906 an der Westküste eingetretenen höchsten Sturmfluten auch einige ältere, besonders hohe Sturmfluten aus den Jahren 1825, 1894, 1895 und von der Ostsee aus dem Jahre 1872 zu berücksichtigen, zumal über diese Fluten gute Unterlagen in Urkunden, Sturmflutberichten und älteren Jahrgängen der Fachzeitschriften gefunden worden sind.

Zur Bestimmung des Windstaus wurden die Angaben über die vorausberechneten astronomischen Gezeiten vom Deutschen Hydrographischen Institut in Hamburg und einige Wind- und Wetterkarten sowie die Luftdruckangaben zur Zeit der Sturmfluten vom Meteorologischen Amt für Nordwestdeutschland in Hamburg in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt.

Als „Sturmflut“ wurden nach dem Ministerial-Erlaß vom 21. 2. 1901 III b 166/4 alle Fluten von 2,0 m über MThw*) bezeichnet (MThw in Husum = 1,45 m NN). Seit 1938 wird nach dem Erlaß des Reichsverkehrsministeriums vom 6. 9. 1938 eine Flut als Sturmflut bezeichnet, wenn das mittlere höchste Tidehochwasser an einer der in das Beobachtungsnetz einbezogenen Pegelstellen überschritten wird. Für Husum ergibt sich dieser Grenzwasserstand heute zu 3,87 m NN (Mittel aus 1936—1945) = 2,42 m über MThw.

Die Bearbeitung der Sturmfluten hat ergeben, daß Untersuchungen über die Beziehung zwischen dem Windstau und der Windwirkung nur mit einwandfreien Windaufzeichnungen aus dem Untersuchungsgebiet möglich sind. Die brauchbaren Unterlagen für derartige Untersuchungen sind daher an der Westküste noch sehr beschränkt, und auch der hier durchgeführte Versuch, mit Hilfe der Windaufzeichnungen auf Hallig Hooge eine Bezugslinie für den Windstau bei HW und NW zu finden, krankt noch an diesem Mangel.

1. Teil. Die Unterlagen

A. Die meteorologischen Verhältnisse bei den Sturmfluten an der Westküste Schleswig-Holsteins

Während in der fast gezeitenlosen Ostsee die Sturmfluten als reine Windwirkungen in Erscheinung treten, ist in der Nordsee jede Sturmflut die Auswirkung des Zusammentreffens zwischen der astronomischen Tide und dem Wind. Die vornehmlich durch den Wind hervorgerufene Wasserstandshebung über die vorberechnete Höhe der Gestirnsflut, der Windstau, ist ausschlaggebend für die Höhe einer Sturmflut, die durch das Zusammentreffen mit den ungünstigsten Gezeitenverhältnissen (Springtide) eine weitere Erhöhung erfahren kann.

Von entscheidender Bedeutung für das Entstehen und die Höhe einer Sturmflut sind die vor und während der Flut herrschenden meteorologischen Verhältnisse (Luftdruck, Zugrichtung und Geschwindigkeit des Sturmtiefs usw.). Die Wassermassen des Meeres werden an den Küsten, besonders an der flachen und buchtenreichen Westküste, vom Sturm hoch aufgetrieben und hier so lange angestaut, bis durch das Abflauen des Windes das Wasser wieder absinkt. Bei sehr lang anhaltenden Stürmen kann der Fall eintreten, daß sich das in der Tiefe zurückfließende Wasser infolge des hydrostatischen Druckes mit dem Windstau an der Oberfläche

*) Verzeichnis der Abkürzungen:

a. P.	= am Pegel	MThw	= mittleres Tidehochwasser
NN	= Normal Null	MHThw	= mittl. höchstes Tidehochwasser
N.A.P.	= Neuer Amsterdamer Pegel	MTnw	= mittleres Tideniedrigwasser
00h00'	= Uhrzeit	GHW	= gewöhnliches Hochwasser
>	= größer als	HSpHW	= höchstes Springhochwasser
Δ	= Unterschied	MSp.NW	= mittleres Springniedrigwasser
Σ	= Summe	MSp.HW	= mittleres Springhochwasser
NW	= Niedrigwasser	MNpHW	= mittleres Nipphochwasser
HW	= Hochwasser	MNpNW	= mittleres Nippniedrigwasser
HHW	= höchstes Hochwasser	MThb	= mittlerer Tidehub

das Gleichgewicht hält. Es gibt also für jeden Ort der Küste bei einer bestimmten Windrichtung und Geschwindigkeit einen Höchstwasserstand, der auch bei längerem Windeinfluß nicht mehr wesentlich erhöht werden kann. Sturmfluten dieser Art sind aber in der Nordsee selten, weil sich hier das Sturmtief im allgemeinen sehr rasch fortbewegt und sich nicht längere Zeit an einem Ort festsetzt. Die Sturmfluten in der Nordsee sind meistens von verhältnismäßig kurzer Dauer.

Sturmtiefs, die an der Westküste hohe Fluten verursachen, bilden sich meistens schon über dem Atlantik und ziehen dann mit großer Geschwindigkeit (70—100 km/std) über die Nordsee hinweg. In Ausnahmefällen (z. B. Sturmflut vom 9./10. 2. 1949) kann das Sturmtief beim Übergang vom Meer zum Festland eine gewisse Verzögerung erfahren und hierdurch die Dauer der Flut verlängern und die Windstärke steigern. Im allgemeinen ist aber gerade der rasche Platzwechsel des Sturmtiefs die Ursache für die hohen mittleren Windgeschwindigkeiten, die für wenige Stunden bis etwa 30 m/s und in Böen bis 45 m/s betragen können.

Für die Entwicklung der Sturmfluten in der Nordsee ist neben dem zeitlichen Verlauf auch die Zugbahn des Sturmtiefs von großem Einfluß. Nach PRÜGEL (30) lassen sich die Nordseesturmfluten je nach ihrer Zugbahn in drei Hauptgruppen unterteilen, je nachdem, auf welchem nördlichen Breitengrad der Kern des Tiefs den 8. Grad östlicher Länge überquert:

1. Jütlandtyp: Zwischen dem 55. und 57. nördl. Breitengrad
2. Skagerraktyp: Zwischen dem 57. und 60. nördl. Breitengrad
3. Skandinavientyp: Zwischen dem 60. und 65. nördl. Breitengrad

In Abbildung 2 sind die verschiedenen Zugrichtungen der in dieser Abhandlung eingehender erörterten Sturmfluten aus den Jahren 1894 bis 1949 eingetragen.

Die Sturmfluten vom 24. 12. 1916, 24. 11. 1938 und vor allem die letzten Fluten vom 9./10. 2. 1949 und 24. und 26. 10. 1949 gehören dem Jütlandtyp an. Die drei letztgenannten Sturmfluten beweisen übrigens mit ihren hohen Windstauwerten, daß diese Wetterlage durchaus nicht so ungefährlich für die Westküste ist, wie es von PRÜGEL angenommen wird. Ein besonderes Kennzeichen für diese verhältnismäßig selten vorkommenden Sturmflutwetterlage (nach PRÜGEL seit 1881 bis 1936 von 52 Fluten nur 8) ist, daß vor dem Sturm aus westlichen Richtungen oft einige Stunden südöstliche Winde mittlerer Stärke wehen und den Wasserstand niedriger als vorausberechnet halten. Bisweilen ist hiermit auch eine Verspätung des HW oder NW verbunden. Das Kerntief zieht fast immer von Irland oder Süd- bzw. Mittelengland kommend in östlicher oder nordöstlicher Richtung über die Nordsee nach Jütland, entwickelt sich sehr rasch und wandert mit großer Geschwindigkeit. Dadurch werden zwar nur kurze, aber um so heftigere Stürme ausgelöst.

Den weitaus größten Anteil an hohen Sturmfluten in der Nordsee hat der Skagerraktyp aufzuweisen (nach PRÜGEL 33 von 52 Fluten). Von den hier näher untersuchten Sturmfluten sind die aus den Jahren 1906, 1916, 1926 und 1936 zu dieser Gruppe zu rechnen. Die Wirkung der von Norden in die Nordsee einsetzenden Gezeitenwelle addiert sich hierbei oftmals mit nordwestlichen Winden und führt zu verhältnismäßig langen und besonders schweren Sturmfluten. Die Wirkung wird häufig noch dadurch erhöht, daß schon längere Zeit vor der eigentlichen Sturmflut westliche und südwestliche Winde an der Westküste eine Wasserstandshebung hervorgerufen haben. Auch die Dauer der westlichen Winde ist meistens länger als z. B. beim Jütlandtyp.

Seltener treten die Sturmfluten des Skandinavientyps auf (nach PRÜGEL 10 von 52 Fluten). Sie verursachen aber häufig sehr andauernde Stürme mittlerer Stärke aus W und NW, wobei die Gefahr, daß sich das Tief vor der Küste festsetzt und dadurch die Sturmflutdauer verlängert, größer ist als bei den anderen Zugrichtungen. Ein typischer Vertreter dieser Gruppe ist die Flut vom 5. bis 8. 12. 1895, die infolge des langandauernden Westwindes Stärke 9 über sechs Tiden hinweg einen großen Windstau an der Nordseeküste hervorrief. Allgemein scheint es zuzutreffen, daß ein Sturmtief die Nordsee nördlich der Halbinsel Eiderstedt überqueren muß, um noch nennenswerte Erhöhungen des Wasserstandes an der Westküste

verursachen zu können. Zieht das Sturmtief weit südlicher über die Nordsee hinweg, so stellen sich an der Westküste keine besonders starken westlichen Winde mehr ein. Entsprechendes gilt auch für sehr weit nördlich der Nordsee vorbeiziehende Tiefdruckgebiete. Nur wenn das Kerntief außergewöhnlich stark ist, wie im Jahre 1895 mit 710 mm = 953 mb, kann der Wasserspiegel an den Nordseeküsten noch erheblich angestaut werden.

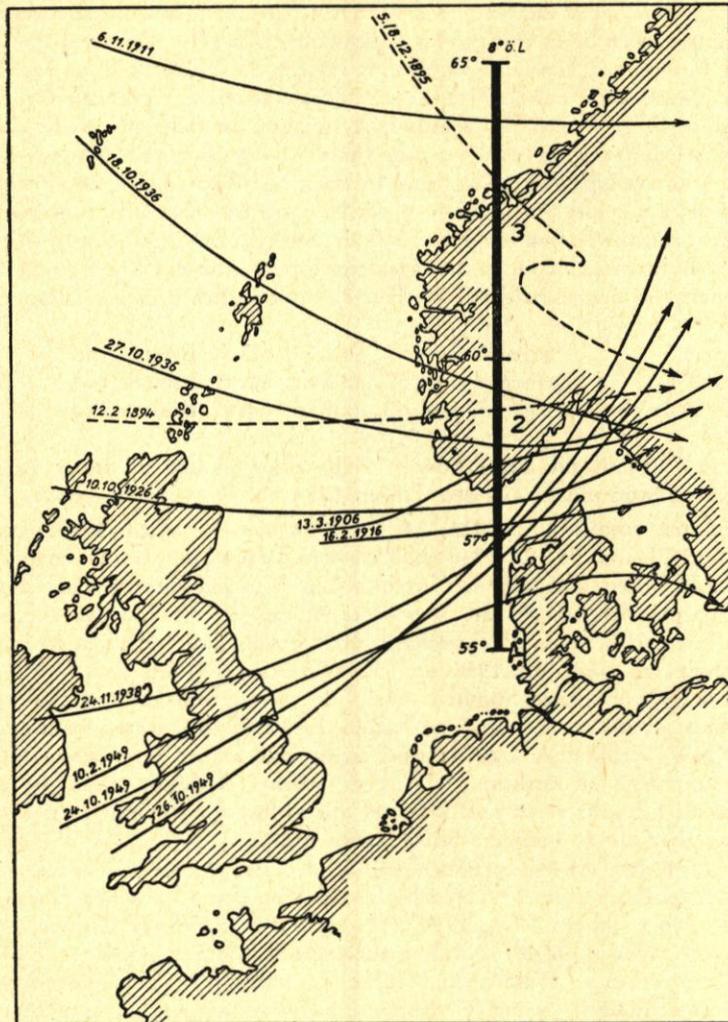


Abb. 2. Zugbahnen der Sturmtiefs

Eine weitere aufschlußreiche Charakterisierung der Sturmfluten könnte zweifellos auf Grund der jeweiligen barometrischen Gradienten erfolgen. Es muß auch einer späteren Arbeit vorbehalten bleiben, die Abhängigkeit des Windstaus vom mittleren Druckgradienten über der Nordsee bzw. vor der Küste zu erfassen. Im vorliegenden Bericht soll nur der Windstau in seiner unmittelbaren Abhängigkeit vom Wind untersucht werden, da der Wind den bei weitem überwiegenden Anteil an den nichtperiodischen Schwankungen des Wasserstandes hat. Die sonstigen Einflüsse (Luftdruck, vorhergehende Wasserstände u. a.) bleiben hier unberücksichtigt.

B. Der Verlauf der größten Sturmfluten

Im folgenden sollen die höchsten Sturmfluten aus den Jahren 1906, 1911, 1916, 1926, 1936, 1938 und 1949 untersucht werden. Für diese Fluten liegen von einigen Beobachtungsstellen der Westküste Schreibpegelbeobachtungen und ab 1936 auch an der Küste aufgenommene Winddiagramme vor. Die Windstauwerte wurden durch Vergleich der aufgenommenen Pegelkurven mit den vorausgerechneten astronomischen Gezeitenkurven gewonnen. Die Windverhältnisse zur Zeit der Sturmfluten sind aus Sturmflutakten oder aus der Literatur zusammengetragen. In einigen Fällen mußten die Windaufzeichnungen des Windmessers in Hamburg benutzt werden, obgleich bekannt ist, daß die Winde an der Westküste oft stark von den in Hamburg registrierten abweichen.

Zur Beurteilung der Sturmflutverhältnisse ist es lehrreich, auch einige besonders hohe Sturmfluten aus früheren Jahren zu betrachten. Wie eingangs erwähnt, lassen sich diese infolge der dürftigen Unterlagen leider nur am Rande zur Betrachtung einiger Besonderheiten mit heranziehen. Dies gilt besonders für die hier behandelten Fluten aus den Jahren 1825, 1894 und 1895. Gewisse Vergleiche ermöglicht auch die große Sturmflut in der Ostsee im Jahre 1872, über die eine vorbildliche Bearbeitung von BAENSCH (2) vorliegt und die deshalb ebenfalls in diese Abhandlung aufgenommen wurde.

1. Sturmflut am 3./4. Februar 1825

Diese kann als die schwerste Flut an der Nordseeküste seit mehr als zweihundert Jahren angenommen werden und soll selbst die großen historischen Fluten von 1634 und 1717 übertroffen haben. Bei der Auswertung der vorhandenen Berichte muß berücksichtigt werden, daß die Wasserstände in jener Zeit nur am Tage an Lattenpegeln mit alter Meßeinteilung (Fuß) abgelesen wurden und sich die Höhenangaben bei starkem Seegang nur auf rohe Schätzungen und auf ein heute nicht mehr genau bekanntes gewöhnliches Hochwasser (GHW) bezogen. Trotzdem soll der Versuch gemacht werden, aus allen uns noch zur Verfügung stehenden Angaben (Akten des Landesarchivs, des Wasserbauamts Husum sowie Literaturangaben) ein Bild über den Verlauf und die eingetretenen höchsten Wasserstände zu gewinnen.

a) Aus dem Bericht des Deichinspektors SALCHOW, Husum 1825 (Landesarchiv A XVIII-6134):

„In Glückstadt stieg um Mitternacht das Wasser in der Elbe und in dem dortigen Hafen mit beispielloser Schnelligkeit und zu einer solchen Höhe, daß der 14 Fuß über der gewöhnlichen Flut hohe Hafenerde davon überströmt ward. Die Höhe des Wasserstandes übertraf die Sturmfluten von 1756 und 1792 um 1½ Fuß.“

„Zu Tönning stieg am 3. Februar in einer Stunde die Flut um 4 Fuß und um 12 Uhr nachts war jeder Widerstand wider die Wut der Wellen vergeblich. Die Flut soll um 1 Fuß 5 Zoll höher gewesen sein als am 11. November 1634, 24. Dezember 1717, 26. Februar 1726 und 7. Oktober 1756.“

„Auf Pellworm hielt man diese Flut gleichfalls für stärker als die von 1634 und ungeachtet der nunmehrigen besseren Beschaffenheit der mit bedeutendem Kostenaufwand verstärkten Deiche schlug selbige gleichwohl 4 Fuß über die Höhe derselben.“

b) Aus dem Bericht des Deichinspektors CHRISTENSEN, Heide, 1825 (Landesarchiv A XVIII-6179):

„Bereits am 2. 2. 1825 wehte der Wind mit großer Heftigkeit aus Südwest, in der Nacht vom 2. auf den 3. 2. (um 11 Uhr nachts) nahm seine Stärke immer mehr zu, von heftigen Regengüssen begleitet. Das Wasser stieg damals bereits bis zu 7 Fuß über ordinäre Flut, am 3. 2. ward er zu einem völligen Sturm, immer stoßweise gehend und Schauer von Schneegestöber vor sich hertreibend. In der unglücklichen Nacht vom 3. 2. auf den 4. 2. drehte der Wind sich von Südwesten nach Nordwesten und erhielt dort seine größte Stärke. Allgemein ist man indessen der Meinung, daß die Heftigkeit des Sturmes die des 15. November 1824 nicht überstiegen hat; allein das unglückliche Zusammentreffen einer hohen Springflut mit dem Sturm ist, wenn nicht auch sonstige bisher unbekannte Naturwirkungen dazu haben beigetragen, die Ursache der unerhört hohen Flut. Das Wasser stieg in Glückstadt bis zu einer Höhe von 15 Fuß 9 Zoll über ordinäre Flut, während die höchsten Fluten, von denen man bisher gewußt, nicht höher als 14 Fuß gewesen sind, und dies mit einer solchen Schnelligkeit, daß es in

2 Stunden beinahe 6 Fuß Höhe gewann. Bis um 9 Uhr morgens des 4. 2. hielt der Sturm ununterbrochen an, drehte sich dann nach NNW und von dort nach Norden, um 10 Uhr war es beinahe völlig ruhig. Die zweite Flut erreichte eine Höhe von 10 Fuß und die dritte von 6 Fuß über ordinär . . ., daß die Höhe des Deiches selbst hier (Deichhausen) nur 11 Fuß beträgt, die Springflut 1825 aber zu Büsum wenigstens bis zu 13 Fuß gestiegen ist, so daß das Wasser mit 2 Fuß Höhe über den Deich gestürzt ist.“

c) Nach einer in Husum gemachten Beobachtung (Staatsarchiv Schleswig A VI Nr. 62) soll die Flut am 3./4. 2. 1825 die Höhe der Weihnachtsflut von 1717 erreicht haben, d. h. 14 Fuß über das gewöhnliche Hochwasser gestiegen sein ($14 \cdot 0,3139 = 4,39$ m bzw. $14 \cdot 0,2866 = 4,01$ m. Das Fußmaß ist leider nicht angegeben).

d) Nach ARENDS (1) für Husum:

„Das Wasser war hier 14 Fuß über die gewöhnliche Flut, 22 Fuß über die gewöhnliche Ebbe gestiegen und stand $1\frac{1}{2}$ Fuß höher als in der größten Sturmflut vom 22. März 1791, seiè welcher Zeit die Schutzmittel vor den Häusern völlige Sicherheit gewährt hatten.“

„In der Kirche der Hallig Hooge soll das Wasser $2\frac{1}{2}$ Fuß hoch gestanden haben und $1\frac{1}{2}$ Fuß höher gewesen sein als die Weihnachtsflut 1717.“

e) Aus Berichten über die Sturmflut vom 16./17. 2. 1916 auf der Insel Föhr (12):

„Erwähnen wollen wir noch, daß die gestrige Flut (1916) die höchste seit der Sturmflut des Jahres 1825 gewesen ist. Damals (1825) hatte der Wasserstand die Höhe von 3,60 m über ordinäre Flut erreicht und stand in Wyke das Wasser bis zur Apotheke.“

f) Nach MÖLLER (24):

„In dem eingehenden Bericht des königlichen Wasserbauinspektors MATTHIESEN (Husum) über diese gewaltige Flut ist der Versuch gemacht, einige Daten über die Februarflut 1825 zu gewinnen. Einige über 80 Jahre alte Leute konnten ziemlich genau die Höhe des Wasserstandes im Jahre 1825 angeben. Danach ergab sich als größte Fluthöhe an einem Hause zwischen Halebüll und Wobbenbüll 1825 = 3,92 m über Husumer GHW ($623 + 392 = 1015 = 5,15$ m NN)*, 1881 = 3,28 m, also 0,64 m niedriger als 1825. Auf dieselbe Weise konnte auch der Wasserstand auf Pellworm von 1825 auf 3,77 m ($598 + 377 = 975 = 4,75$ m NN) festgestellt werden. 1881 betrug er 3,17 m, der Unterschied betrug also 0,60 m.“

Am 15. 10. 1881 betrug der Wasserstand in Husum 935 cm a. P. = 4,35 m NN. Der Wasserstand ist zu 3,11 m über GHW angegeben, so daß sich hieraus das GHW für 1881 zu 1,24 m NN ergibt. Der Unterschied zwischen Husum und Wobbenbüll beträgt bei der Sturmflut 1881: $3,28 - 3,11 = 0,17$ m. Hiernach ergibt sich für 1825 in Husum ein Wasserstand von $3,92 - 0,17 = 3,75$ m über GHW ($623 + 375 = 998 = 4,98$ m NN).

g) Nach Angaben aus den Sturmflutakten des Wasserbauamts Husum aus den Jahren 1911 und 1916 rechnete man für Husum bei der Sturmflut 1825 mit 3,77 m über GHW. Es heißt in dem Bericht wörtlich:

„Damit hat bei Husum der Wasserstand (1916) die bisher höchste Höhe der Sturmflut vom Jahre 1825 annähernd erreicht (1825: 3,77 m über GHW)* ($623 + 377 = 1000 = 5,00$ m NN).

h) In einem Bericht des Ingenieurs SCHRÖDER vom 24. 4. 1874 wird festgestellt, daß der Wasserstand am Norderhafen auf Nordstrand, der gegen NW den Angriffen ausgesetzt liegt, „3,73 m über Nordstrander ordinäre Flut nicht erreicht hat“. Diesem Bericht fügt der damalige Baurat MATTHIESEN in Husum noch die Bemerkung hinzu, daß das Maß von 3,73 m auf ruhigen Meeresspiegel bezogen etwa 3,45 m entsprechen würde. Der Aufstau am Festland war nach Beobachtungen anlässlich der Sturmflut 1873 um 35 cm höher. Unter der gleichen Annahme würde das HHW 1825 in Husum 12 Fuß rheinl. = rund 3,75 m erreicht haben. ECKERMANN rechnet nur mit 3,50 m über GHW für die Westküste.

FISCHER kommt in Müllers Wasserwesen (26) zu dem Schluß, daß den unmittelbaren Beobachtungen in Husum ein größeres Gewicht beizumessen sei, als den nachträglichen Berechnungen.

„Demnach dürfte die Höhe der Sturmflut vom Jahre 1825, wenn von den Wellen abgesehen wird, etwa 4,00 m über GHW Husum am Festland und etwa 3,70 m auf Nordstrand betragen haben.“

„Die unerhörte dreitägige Dauer eines heftigen Sturmes und die Höhe des Wasserstandes von

*) Die Einklammerungen sind Zusätze des Bearbeiters.

21 Fuß (6,26 m) hatte in Verbindung mit der Springsflut und der seltenen Erdnähe des Mondes alle menschlichen Anstrengungen vergeblich gemacht.“

i) Nach zwei Berichten der Landvogtei vom 6. und 22. 2. 1825 (Staatsarchiv Schleswig XVIII-6188) ist die Februarflut von 1825 als „stärkste Flut seit 200 Jahren“ bezeichnet. Alt-Pellworm wurde bei dieser Flut zum letztenmal völlig überschwemmt und die Deiche etwa 4 Fuß überströmt. Nach einem Bericht vom 6. 11. 1833 des Deichkommissairs PETERSEN über die Flut vom 1./2. 11. 1833 (Staatsarchiv Schleswig, Abt. 66 XVIII, 3. VII. 7, Nr. 15), die bis zu 9 Fuß dänisch über GHW gestiegen war und nur 2½ bis 3 Fuß unter der großen Februarflut 1825 geblieben sein soll, ergibt sich für Pellworm die Sturmfluthöhe 1825 zu $9 + 3 = 12$ Fuß dänisch = 3,768 m über GHW.

k) In einem Bericht des Stallers CHRISTIANSEN vom 16. 2. 1825 an das Amt in Husum heißt es: Da für Husum 22 Fuß über die gewöhnliche Ebbe angegeben war (vgl. d), handelt es sich bei dieser Höhenangabe von 21 Fuß entweder um die Höhe über GNW oder um das erheblich höhere Maß des Wellenauflaufes, das mit 6—7 Fuß anzunehmen ist (26), so daß sich eine Höhe von $21 - 7 = 14$ Fuß über GHW wie in Husum ergibt.

l) In Cuxhaven ist 1825 der Wasserstand mit 4,64 m NN = 3,44 m über GHW abgelesen worden. Die Erhöhung durch Springflut betrug seinerzeit 28 cm (27). Vor der ostfriesischen Küste soll die Flut 1825 auf 3,42 m über GHW gestiegen sein (33).

m) PFEIFFER (31) gibt die Sturmflutwasserstände des Jahres 1825 für Husum mit 4,99 m NN, für Tönning mit 4,96 m NN und für Büsum mit 4,97 m NN an.

n) Nach FÜLSCHER (8) hat die Sturmflut 1825 an der Küste annähernd die gleiche Höhe von 3,50 m über GHW gehabt. Die nichtamtlichen höheren Angaben hält FÜLSCHER für falsch, weil dabei der Wellenaufschlag mit berücksichtigt worden ist. Auch ECKERMANN nimmt die Fluthöhe 1825 in seinen Mitteilungen über die Eindeichungen auf Nordstrand und Pellworm mit 3,50 m über ordinäre Flut an.

o) Nach WÖBCKEN (35) soll die Februarflut 1825 bei der Dangaster Mühle am Jadebusen bis 5,26 m NN gestiegen sein. Nach ARENDS (1) heißt es dort weiter:

„Die Fluthöhe nahm nach Osten hin zu. Sie betrug an der ostfriesischen Küste 11 Fuß über GHW, in Cuxhaven 12 Fuß und in Dithmarschen 15 Fuß. Das Wasser stieg eine Zeitlang einen Fuß in jeder Viertelstunde. Zugleich war der Wellenschlag ungeheuer hoch (8—15 Fuß!). Als die Flut die Höhe der Deiche erreicht hatte, wogte sie über dieselben hinweg, stieg aber dann nicht mehr, sondern hielt sich während 3—4 Stunden auf dieser Höhe und fing dann langsam an zu fallen.“

p) Nach GALLÉ (11) ist 1825 in Harlingen (Holland) der höchste Wasserstand 293 cm + N. A. P. gewesen, und der Windstau betrug 250 cm.

q) Nach OTTO und BRANDT (28) betrug 1825 der Anstau in Geestemünde 3,45 m über MHW (1896—1926).

Die Tatsache, daß in den älteren Berichten das Fußmaß gebraucht wird und verschiedene Fußmaße zur Anwendung kamen, erschwert die Auswertung. Eine eindeutige Entscheidung darüber, welches Fußmaß für die Angaben der Sturmfluthöhen in Husum im Jahre 1825 richtig ist, kann auch auf Grund der älteren Unterlagen und Berichte nicht gefällt werden. In Betracht kommen der rheinländische, preußische, dänische, seeländische Fuß mit 0,3139 m, der Hamburger Fuß mit 0,2866 m und der Eiderstedter Fuß mit 0,2984 m.

Wichtig für die Ermittlung der auf GHW bezogenen Sturmfluthöhen ist ferner die Festlegung des GHW oder, wie es heute bezeichnet wird, des MThw.

Das GHW ist 1906 in den Akten des Wasserbauamts Husum zu 3,27 m a. P. Husum angegeben. Auf NN bezogen, ergibt sich daraus der Wert $3,27 - 1,95 = 1,32$ m NN im Gegensatz zu 1,45 m NN für 1936 bis 1947. Dies bedeutet ein Ansteigen des MThw seit 1906 um 13 cm = rund 0,3 cm/Jahr. Eine genaue Ermittlung der mittleren Monatshochwasser-

stände für die Pegel Husum und Dagebüll lieferte für die untersuchten neunzehnjährigen Beobachtungsperioden folgendes Ergebnis (Abb. 3):

Husum: Anstieg des MThw = 16 cm in 57 Jahren = 0,28 cm/Jahr,
 Dagebüll: Anstieg des MThw = 7 cm in 57 Jahren = 0,123 cm/Jahr.

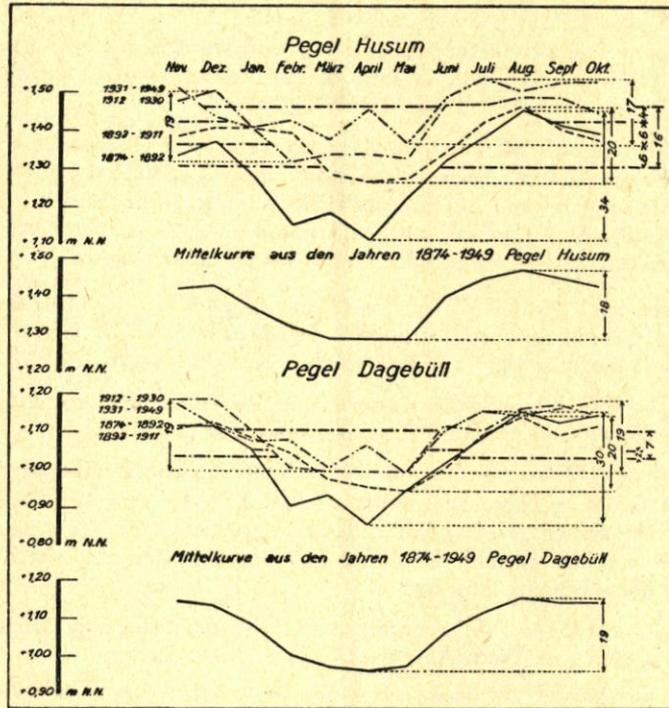


Abb. 3. Mittlere Monatshochwasserstände

Das im Jahre 1949 vom Haupt-Vermessungsamt in Hamburg wiederholte Feinnivellement an der nordfriesischen Westküste hat einen positiven Höhenunterschied zwischen Husum und Dagebüll von + 5 mm seit 1931 (18 Jahre) ergeben und liegt damit in der gleichen Größenordnung wie der von BERNDT für die Zeit von 1914 bis 1931 (17 Jahre) festgestellte Höhenunterschied von 4 mm. Insgesamt ist hiernach also seit 1914 das Gebiet bei Dagebüll gegenüber Husum um 9 mm gehoben bzw. Husum um diesen Betrag gesunken. Auf 57 Jahre umgerechnet, ergibt sich eine Höhenveränderung zwischen Husum und Dagebüll von rund 1,5 cm, womit sich der festgestellte Höhenunterschied des MThw zwischen Husum und Dagebüll von $16 - 7 = 9$ cm auf 7,5 cm verringert.

Von einem gleichmäßigen Anstieg des MThw an der Westküste kann demnach nicht gesprochen werden. Die örtlichen Verhältnisse in der Husumer Bucht (Eindeichung, Dammbauten, Austiefung der Hever usw.) begünstigen den Anstieg des MThw hier zweifellos besonders stark. Auch ist die Ansicht von LÜDERS (21), daß „fast der gesamte Betrag des Anstieges der Tidehochwasserstände durch den Windstau verursacht wird, daß es sich also um eine meteorologische Erscheinung handelt“ zu beachten, da auch der Windstau am Pegel Husum stärker als sonst an der Westküste zum Ausdruck kommt. In diesem Zusammenhang erhebt sich die hier nicht weiter berührte Frage, ob die Stürme aus westlichen Richtungen in den letzten Jahrzehnten zugenommen haben.

Nimmt man den für die untersuchten 57 Jahre ermittelten Anstieg des MThw von

0,28 cm/Jahr als gleichmäßig seit 1825 an, so würde das MThw von 1825 bis 1949 um $124 \cdot 0,28 = \text{rund } 35 \text{ cm}$ gestiegen sein. Hiernach würde das GHW 1825 in Husum $1,45 - 0,35 = 1,10 \text{ m NN}$ betragen haben. Der angegebene Sturmflutwasserstand von 14 Fuß über GHW würde demnach entsprechen:

bei dänischem Fuß: $1,10 + 4,39 = 5,49 \text{ m NN}$,

bei Hamburger Fuß: $1,10 + 4,01 = 5,11 \text{ m NN}$.

GAYE (9) nimmt als GHW für Husum im Jahre 1825 den Wert 1,23 m NN an, wie er sich etwa für das Jahr 1881 ergibt. Dieser Wert scheint zu hoch zu sein; denn in dem Generalbericht über das Pellwormer Wasserwesen aus dem Jahre 1804 heißt es bereits, daß der Wasserstand „nach Verlauf eines oder mehrerer Jahre einige Zoll höher geht, denn es bestätigen leider die bisherigen Wahrnehmungen nur zu sehr, daß die ordinäre Fluthöhe eine immer mehr vom Mittelpunkt der Erde sich entfernende Horizontale bildet“. Auch für Pellworm steht somit fest, daß seit der Anlage der neuen Deiche (Wiederbedeichung Pellworm 1687) „die ordinäre Fluthöhe um 1 bis $1\frac{1}{4}$ Fuß gestiegen ist“, also in 117 Jahren $1,25 \cdot 0,314 = 39 \text{ cm} = 33 \text{ cm}/100 \text{ Jahr}$. Weiter heißt es in dem Bericht: „So liegt der Glockenschlag an den holländischen Deichen jetzt 7 Fuß höher als vor einigen 100 Jahren.“ Man muß also feststellen, daß der im letzten Jahrhundert beobachtete Wasserspiegelanstieg an den Nordseeküsten schon von viel längerer Dauer ist und auch unseren Vorfahren schon bekannt war.

GAYE (9) hat das HHW 1825 von Husum durch Bezug zu Tönning mit 1045 cm a. P. = 5,45 m NN ermittelt. Bei einer Sturmfluthöhe von 14 Fuß (dänisch) würde dies einem GHW von $5,45 - 4,39 = 1,06 \text{ m NN}$ entsprechen. Mit dem Wert 3,77 m über GHW aus den Akten des Wasserbauamts Husum ergibt sich dann der Sturmflutwasserstand in Husum zu $1,06 + 3,77 = 4,83 \text{ m NN}$.

Die Sturmflutwasserstände von 1825 für den Pegel Husum bewegen sich nach diesen verschiedenen Ermittlungen und Angaben demnach zwischen 4,83 m NN und 5,49 m NN.

In Büsum beträgt der Wert für das GHW von 1825 bei Abzug von 37 cm für das Ansteigen des MThw 1,07 m, so daß der Sturmflutwasserstand sich hier zu $1,07 + 4,08 = 5,15 \text{ m NN}$ ergeben würde. In den amtlichen Sturmflutberichten ist ein entsprechender Wert von 5,05 m NN genannt.

In Tönning ist die Sturmfluthöhe 1825 angeblich zu 5,12 m NN ermittelt worden (amtl. Sturmflutbericht).

Für Hallig Hooge ergibt sich das GHW 1825 nach einem Aktenstück vom 26. 4. 1867 (Kirchenarchiv Hooge) zu 20 Fuß über GHW. Das GHW 1825 kann zu $1,23 - 0,37 = 0,86 \text{ m NN}$ angenommen werden, so daß sich das HHW nach Abzug des Wellenauflaufes von 7 Fuß errechnet zu $13 \cdot 0,314 = 4,08 + 0,86 = 4,94 \text{ m NN}$.

Für die Insel Pellworm ist das HHW 1825 zu 3,77 m + GHW angegeben. Das GHW wird mit $1,23 - 0,25 = 0,98 \text{ m NN}$ angenommen, so daß sich das HHW zu $3,77 + 0,98 = 4,75 \text{ m NN}$ ergibt.

In Wyk/Föhr errechnet sich die Sturmfluthöhe 1825, wenn das GHW zu $1,23 - 0,39 = 0,84 \text{ m NN}$ angenommen wird, zu $3,60 + 0,84 = 4,44 \text{ m NN}$.

2. Sturmflut am 12./13. November 1872 (Ostsee)

Diese Sturmflut ist hier von Interesse, weil sie einen Anhalt dafür gibt, bis zu welcher Höhe der Wind allein (also ohne Gestirnstide) den Wasserspiegel des Meeres heben kann. Nach BAENSCH (2) wurde die Flut durch einen NO- bzw. ONO-Sturm von rund sechzig Stunden Dauer bei einer Windstärke über 8 Bft (= rund 15 m/s) verursacht. Nach anfänglichen Westwindlagen, die den Wasserspiegel in der westlichen und südlichen Ostsee um 0,5 m absenkten, stieg das Wasser bei gleichmäßigen Nordostwinden langsam bis zum 11. November an. Die Höhe + 1,0 m wurde zunächst in Kiel-Ellerbek in der Nacht vom 11. zum 12. binnen zwölf Stunden erreicht. Die gleiche Höhe trat nach Osten hin erst am 13. morgens 6 Uhr zwischen Collberg und Rügenwalde ein, zu einem Zeitpunkt, als bereits der Wind aus NO sich auf der Höhe Collbergs zum Orkan steigerte. Am 12./13. nachts war das Niveau der Ostsee ziemlich

gleichmäßig von Memel bis Kiel ansteigend ausgebildet, um sich dann allerdings den orkanartig auftretenden Stürmen entsprechend zu ändern. Von Collbergmünde schritt der Orkan von 2^h bis 7^h bis Kiel fort, indem er den Ostseespiegel in mächtiger Flutwelle vor sich hertrieb. Während sich das Niveau zwischen Rügenwalde und Swinemünde senkte, hob sich der Wasserstand an der Holsteinischen Ostküste um 1,0 m. Auch nach dem Nachlassen des Windes lief die Flutwelle infolge ihres Beharrungsvermögens von Ellerbek bis Harvesund in fünfeinhalb Stunden noch um 1,5 m Höhe auf.

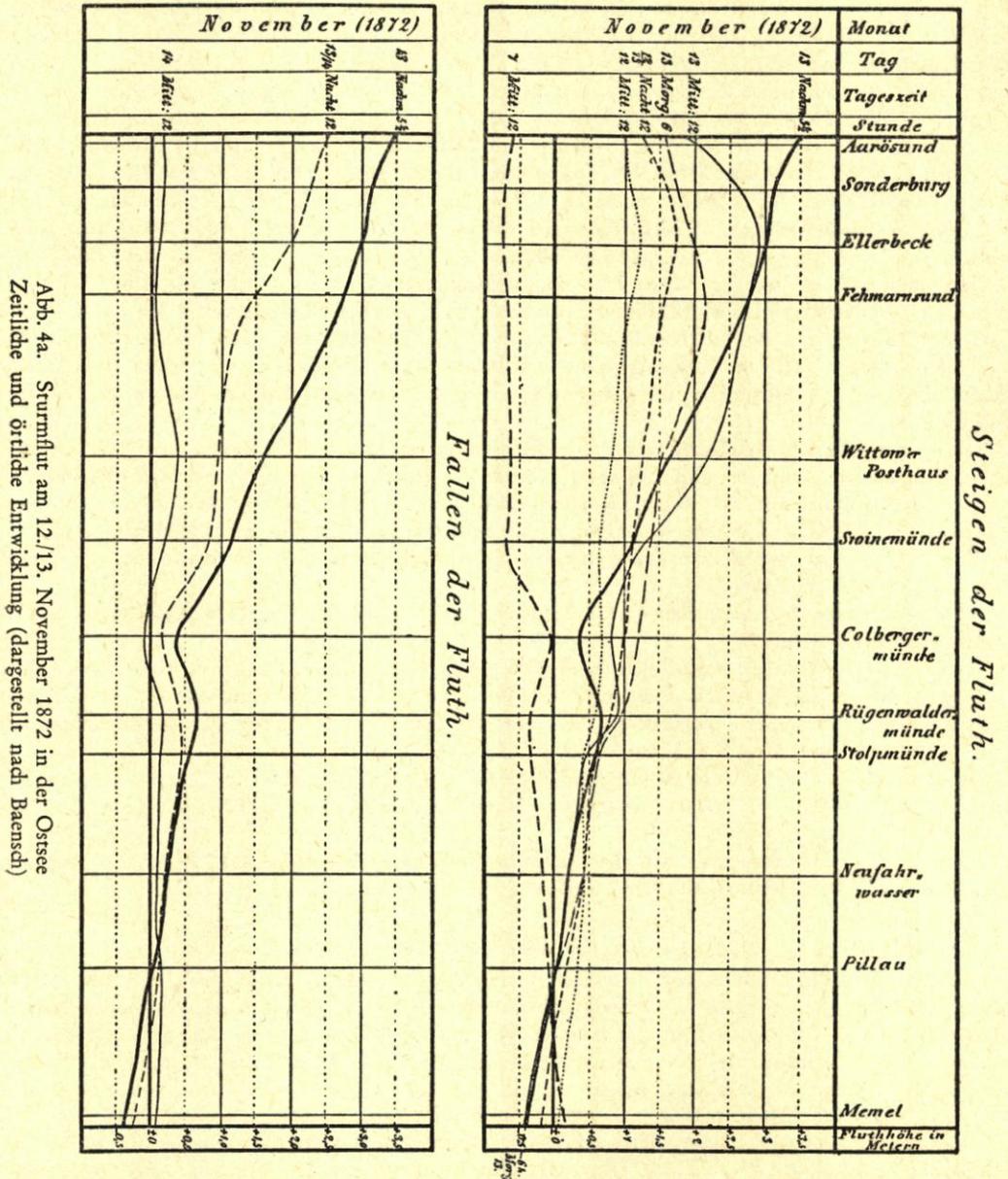


Abb. 4a. Sturmflut am 12./13. November 1872 in der Ostsee
Zeitliche und örtliche Entwicklung (dargestellt nach Baensch)

Die Scheitelwasserstände zu den verschiedenen Beobachtungszeiten von 12^h bis 17^h30' am 13. November zeigen ein Seespiegelgefälle bis zu 1 : 190 000. Der Wasserspiegelunterschied

zwischen Kiel und Swinemünde betrug rund 2,00 m. Der Höchststau war in Kiel 3,0 m und im Belt bei Aarösund sogar 3,50 m. Seit der Flut von 1872 „ist es als eine Art von Erfahrungssatz ausgesprochen, daß der Einfluß des Windes den Meeresspiegel bis zu höchstens 3,5 m zu heben vermöge“ (5). Das Steigen und Fallen der Flut sowie der Pegelkurve von Flensburg sind in Abbildung 4 dargestellt.

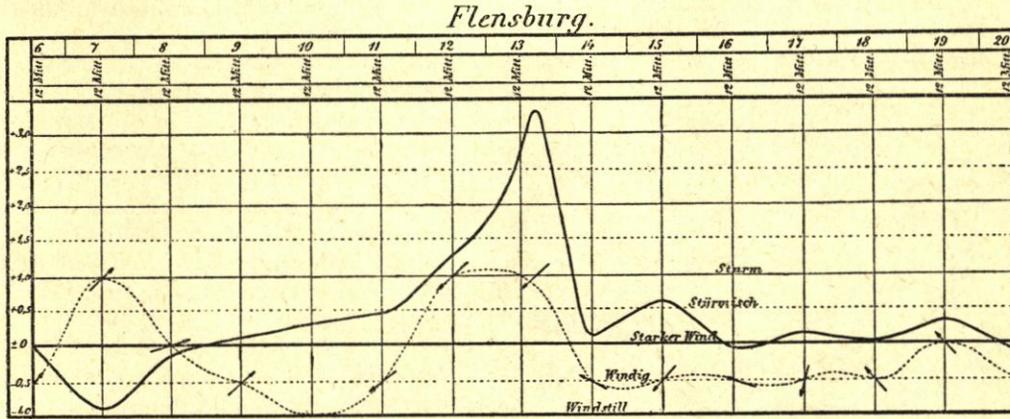


Abb. 4b. Sturmflut am 12./13. November 1872 in der Ostsee
Wasserstände und Windintensität in Flensburg (dargestellt nach Baensch)

Zur Zeit der größten Windgeschwindigkeiten von 30,7 m/s betrug der Wasseranstieg 21 cm/h, bei 25,7 m/s = 16 cm/h und bei 19,4 m/s nur noch 8,6 cm/h (Abb. 5). Bei reiner Windwirkung stieg das Wasser in Kiel-Ellerbeck in sechs Stunden um 1,00 m.

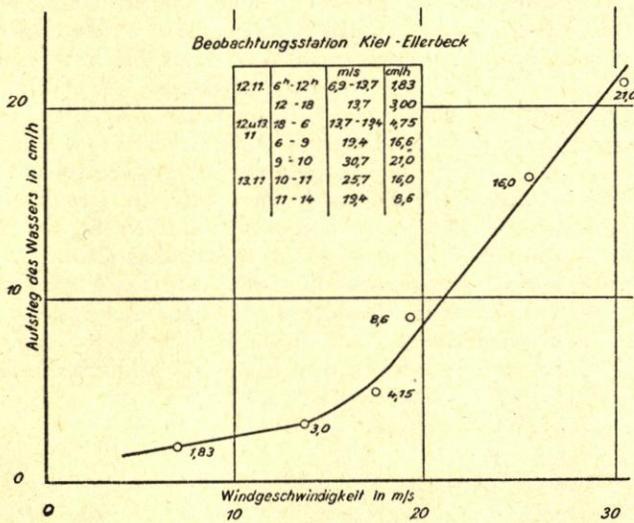


Abb. 5. Sturmflut am 12./13. November 1872 in der Ostsee
Steiggeschwindigkeiten

Nach BAENSCH (2) kann die Flut in drei Stadien unterteilt werden:

- vom 31. 10. bis 9. 11.:
Füllung der Ostsee mit Nordseewasser und Abschließung der Flut nach Westen,
- vom 9. 11. bis 12. 11.:
Ausschwingen des Ostseewassers bei überfülltem Becken nach Westen,
- am 13. 11.:
Einwirkung des Nordost-Orkans auf den westlichen Teil der Ostsee, dessen Niveau bereits stark angespannt war.

Ohne auf die sehr interessante Sturmflut hier näher einzugehen, erhebt sich die Frage, ob ein derartiger Sturm von sechzig Stunden Dauer mit Geschwindigkeiten über 15 m/s auch in der Nordsee bei westlichen Winden auftreten kann. Hierzu muß sich der Meteorologe äußern. Die Erfahrung zeigt aber, daß sich die Sturmtiefs über der Nordsee nicht längere Zeit festsetzen

und daß weit über Skandinavien liegende Sturmtiefs (z. B. 1895) nicht mehr eine solche Wirkung auf die Nordseewasserstände ausüben, daß es zu außergewöhnlich hohen Fluten an der Küste kommt.

3. Sturmflut vom 10./13. Februar 1894

Die Wetterlage ist in Abbildung 6 dargestellt. Auffällig ist der tiefe Druck von 710 mm = 946 mb im Sturmtief, der in Hamburg bei Westsüdwest- bis Westrichtung zu mittleren Windgeschwindigkeiten von 36 m/s (in Böen bis 44 m/s) führte. Der Wasserstand, der in

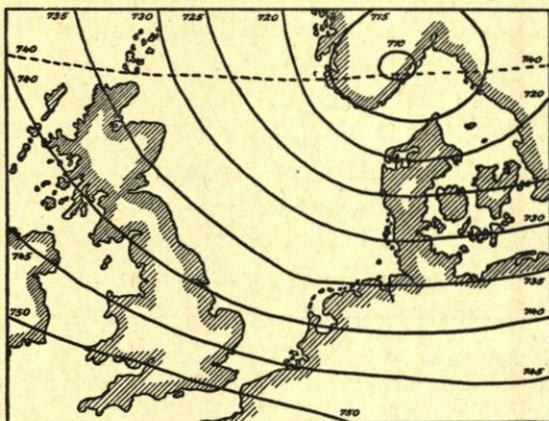


Abb. 6. Wetterkarte 12. Februar 1894, 8h
(Isobaren in mm)

Husum 935 cm a. P. erreichte, war infolge der seit dem 7. 2. in der Nordsee wehenden starken Winde bereits am 8. 2. stark gestiegen und hatte am 12. 2. seine größte Höhe (Abb. 7). Während jedoch in Cuxhaven das zweite HW am 12. 2. um 15^h bedeutend höher auflief als das erste, war dies in Husum umgekehrt. Husum meldet am 12. 2. um 6^h20' 630 cm a. P. = 935 cm = 4,35 m NN; das zweite HW wurde um 1,30 m niedriger angezeigt, weil der Wind kurz nach Niedrigwasser nachließ und dabei nach NW drehte. Hierdurch wurde aber in Cuxhaven trotz Abflauen des Windes das Wasser weiter angestaut, weil Nordwestwinde hier besonders wirkungsvoll sind. Die maximale Steiggeschwindigkeit betrug zur Zeit des stärksten Sturmes kurz danach 140 cm/h. Der Wind, dessen Maximum etwa vier bis fünf Stunden anhielt, flaute vier Stunden vor dem astronomischen Hochwasser stark ab, so daß sich der größte Windstau mit 4,0 m etwa zwei Stunden nach NW-Zeit in Cuxhaven ergab und dieser bei HW nur noch 1,0 m betrug. Andernfalls wäre wahrscheinlich in Cuxhaven eine höhere Sturmflut als 1825 entstanden. In Nieuwediep (Holland), dem äußersten westlichen Punkt der unter der ungünstigsten Einwirkung des Nordweststurmes stehenden Deutschen Bucht, trat das HW fünf-einhalb Stunden früher ein als in Cuxhaven, so daß es hier tatsächlich fast mit dem vorausberechneten HW zusammenfiel und den höchsten Stand des Jahrhunderts erreichte. Der Stand von 1825 wurde hier noch um 13 cm übertroffen (25)! Auch in diesem Zusammenhang ergibt sich wieder die bereits aufgeworfene Frage nach der in der Nordsee möglichen Dauer der Stürme aus westlichen Richtungen. Selbst wenn es unwahrscheinlich wäre, daß in der Nordsee ein Orkan tagelang aus derselben Richtung weht, so muß man in diesem Falle doch zugeben, daß sich die Windverhältnisse derart verschieben können, daß die größte Windwirkung vier Stunden später aufgetreten wäre. Unter Annahme des gleichen Windstaus bei halber Tide wäre das HHW in Cuxhaven dann $4,67 + 4,00 = 8,67$ m statt 7,28 m geworden (1825 = 8,20 — 8,30 m).

4. Sturmflut am 22./23. Dezember 1894

Diese Sturmflut (Abb. 8 und 9) hat eine besondere Bedeutung, weil sie über zwei HW anhielt (in Hamburg 17 Stunden) und bei fast gleichbleibender Windstärke aus westlichen Richtungen das zweite HW höher als das erste lag. Die Flut fiel in die Nippzeit, und der Wind drehte von S über SW und W nach NW. Das steile und fast gleichmäßige Ansteigen der Windflutkurve zu Beginn der Sturmflut sowie die außergewöhnliche Höhe der Flut infolge des Windstaus (bei astron. NW 4,14 m in Cuxhaven, 4,43 m in Nieuw Statenzijl, 4,85 m in Geestemünde) lassen die Gewalt des orkanartigen Sturmes erkennen. Das Tief mit 725 mm lag vor Jütland. In Hamburg sind zwar nur mittlere Windgeschwindigkeiten von 22,4 m/s

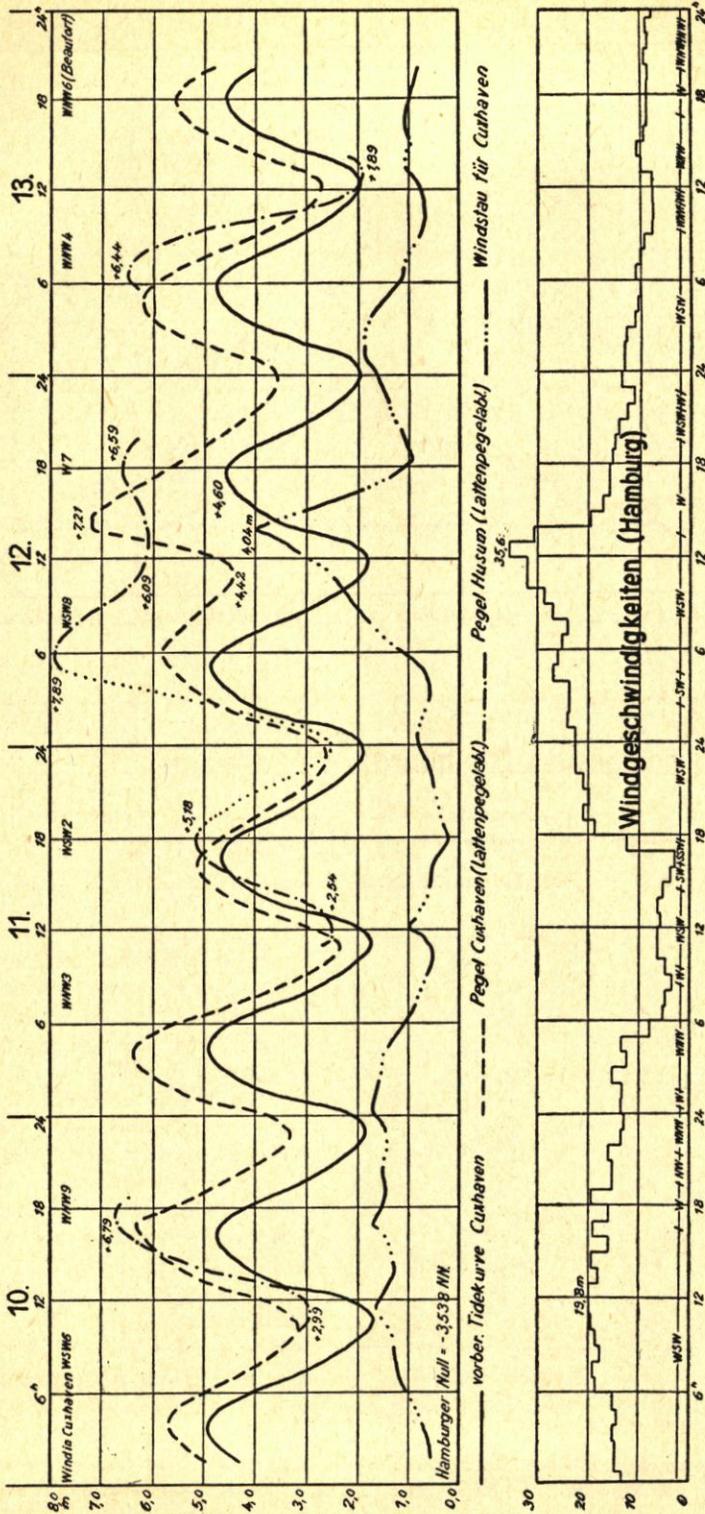


Abb. 7. Sturmflut vom 10. bis 13. Februar 1894 (nach Nehls)
(Windgeschwindigkeit in m/s)

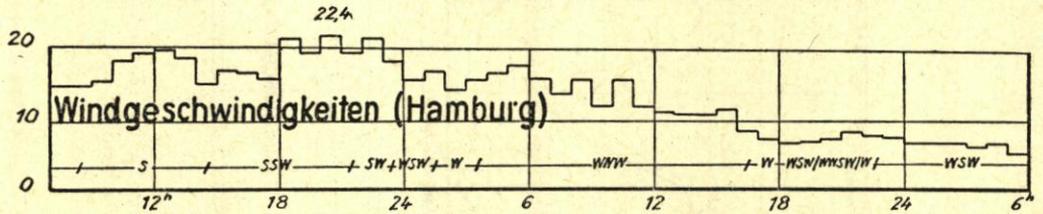
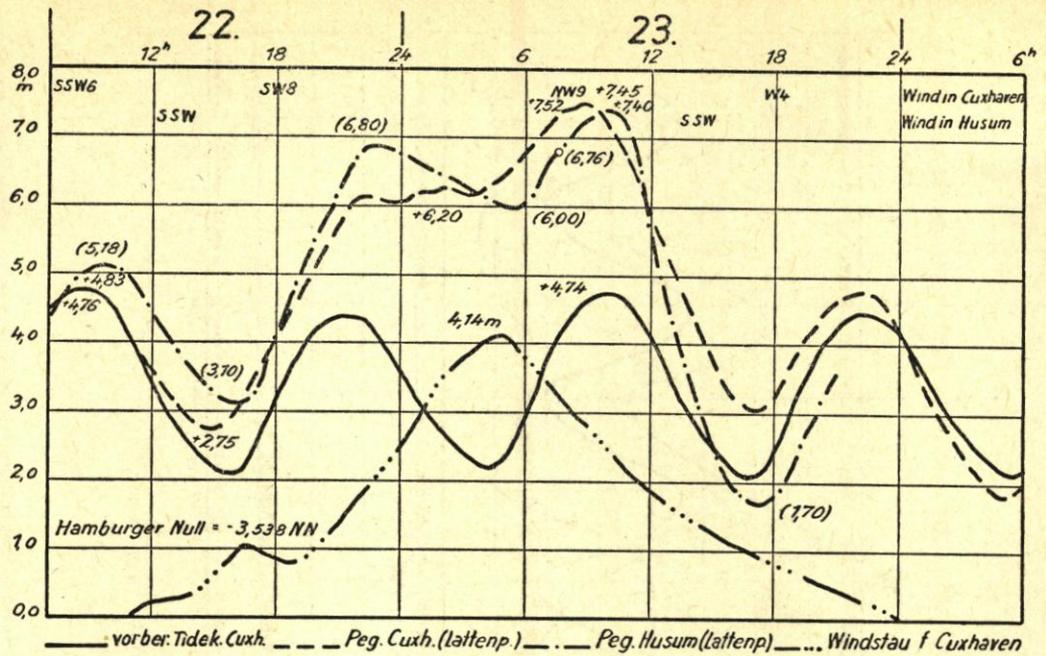


Abb. 8. Sturmflut am 22./23. Dezember 1894 (nach Nehls)

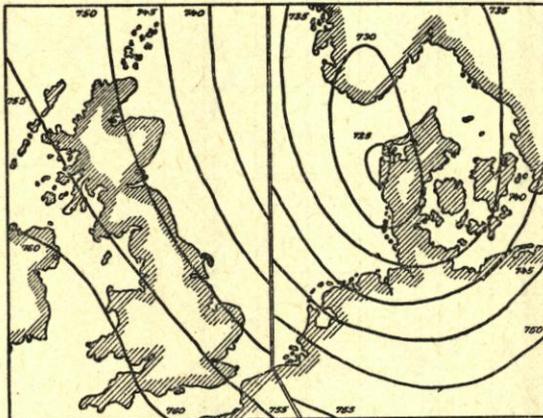


Abb. 9. Wetterkarte 22. Dezember 1894, 20^h
(Isobaren in mm)

maximal aufgetreten, jedoch war der Sturm über Nordengland und der nördlichen Nordsee weit stärker. In Holyhead betragen die Böen angeblich bis zu 67 m/s! Um den großen Windstau in Cuxhaven zu erklären und auf Grund der Meldungen anderer Küstenstationen muß man annehmen, daß über der freien Nordsee infolge des Orkans (30—40 m/s) noch ein größerer Winddruck aus NW auf dem Wasser gestanden hat, zumal zur Zeit des höchsten Wasserstandes in Cuxhaven nur noch Windgeschwindigkeiten von 16—17 m/s in Hamburg registriert worden sind. Terschelling Bank meldet um 15^h auch NNW 10, während den Helder nur noch Windstärke 8 angibt. Am Abend des 22. 12. stieg das Wasser in Cuxhaven infolge der Ge-

stirnsflut und des starken südwestlichen Windes auf 6,20 m a. P. an und hielt sich wegen des nach NW drehenden Windes auf dieser Höhe anstatt bei NW abzufallen. Ähnlich war der

Sturmverlauf auch auf Helgoland und an der holländischen Küste. In Harlingen (Holland) stand das Wasser rund sechs Stunden, d. h. während der gesamten Ebbedauer, fast auf gleicher Höhe, um mit Einsetzen der Flut nochmals um 1,20 m anzusteigen. In Cuxhaven wurde bei gleichbleibenden westlichen Winden beim zweiten HW 7,52 m a. P. erreicht. In Hamburg stieg das Wasser ununterbrochen von 20^h am 22. 12. bis 12^h30' am 23. 12. von 3,42 m auf 8,01 m [siehe MÖLLER(25) und GALLÉ(11)].

Der Windstau war mit rund 4,0 m über NW am größten, erreichte aber bei HHW auch noch fast 3,0 m. In Harlingen betrug er bei gleichbleibender Windstärke bei HW 1,13 m und bei NW 2,17 m. In Wilhelmshaven war der Windstau 2,48 m über MThw. Bemerkenswert ist ferner, daß sich das zweite HW trotz etwa zwölfstündiger Sturmdauer (Helgoland Stärke 9, Terschelling Bank Stärke 10) nur noch um 1,25 m in Cuxhaven, 1,20 m in Harlingen und 1,40 m in Husum erhöhte. Der Tidestieg betrug in Cuxhaven 4,70 m, aber in Husum nur 3,70 m, weil hier das NW am 22. 12. infolge der starken Südsüdwestwinde bereits angespannt war. Der Tidefall am 23. 12. zeigt das umgekehrte Bild (Cuxhaven 4,42 m, Husum 5,70 m).

Aus dieser Sturmflut sind zwei wichtige Folgerungen zu ziehen:

- a) Die Tidewirkung ist bei stark angestautem Wasserspiegel und gleichbleibendem Wind abgeschwächt.
- b) Der Windstau ist bei gleichbleibendem Wind (Stärke 9—10) bei NW rund 1,0 m größer als bei HW.

5. Sturmflut am 5./8. Dezember 1895

Im Gegensatz zu den bisher bekannten Nordseesturmfluten, die sich höchstens über zwei Tiden erstrecken, erfaßte diese Sturmflut sechs Tiden. Die außergewöhnliche Dauer dieser „ausgereiften“ Sturmflut und der Umstand, daß die westlichen Winde während sechzig Stunden mit wenig veränderter Stärke wehten, sind daher sehr aufschlußreich.

In Hamburg wurde am 5. 12. mittags eine höchste Windgeschwindigkeit von 26,1 m/s aus WSW gemessen. Das Sturmtief (715 mm) hatte sich über dem mittleren Skandinavien gelagert und verharrte hier mit gleicher Stärke und Lage bis zum 7. 12. nachmittags (Abb. 10). Dies hatte zur Folge, daß der am 5. Dezember morgens einsetzende Sturm über England, der Nordsee und Nordwestdeutschland mehr als drei Tage ungeschwächt anhielt. Bei unveränderter Lage führte das Tief eine Drehung am Platze aus, so daß hierdurch die Windrichtungen allmählich aus der westlichen in die nordwestliche Richtung übergingen. Die Sturmflut wurde aber fast ausschließlich von Westwinden beherrscht. Bei Nordwestwinden wären wahrscheinlich in Cuxhaven und an der Südküste höhere Wasserstände aufgetreten.

Der Sturm wütete nicht in der mittleren Nordsee oder gar vor der Westküste am stärksten, sondern am Eingang zur Nordsee zwischen Schottland und Norwegen. Die Windstärke schwankte während des dreitägigen Sturmes merklich und hatte in Hamburg am 7. 12. morgens mit 26,1 m/s ihr zweites Maximum. Dann drehte der Wind nach WNW und NW und klang langsam ab.

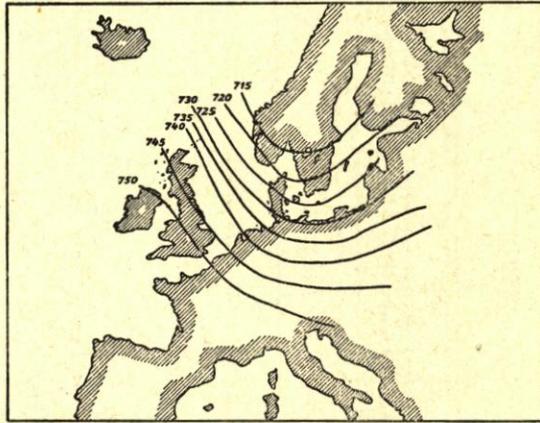


Abb. 10. Wetterkarte 7. Dezember 1895, 8^h
(Isobaren in mm)

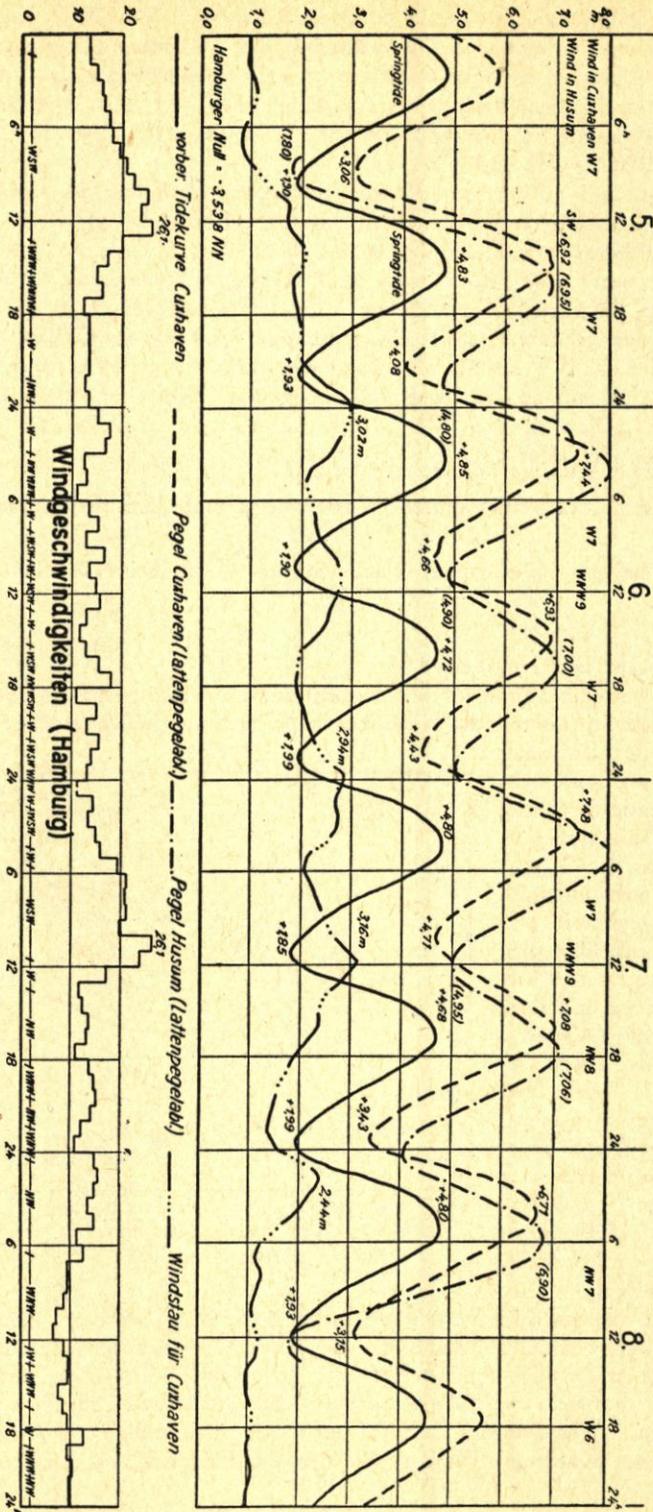


Abb. 11. Sturmflut vom 5. bis 8. Dezember 1895 (nach Nehls)
(Windgeschwindigkeit in m/s)

Vom 5. bis 8. 12. folgten sechs Sturmfluten aufeinander, deren Verlauf für Cuxhaven und Husum (ergänzt) in Abbildung 11 dargestellt ist. Die höchste Flut entstand am 7. 12. morgens infolge des starken Anschwellens des Windes, dessen größte Stärke aber zur NW-Zeit herrschte und auch hier den größten Windstau von 3,16 m erzeugte. In Husum betrug der Windstau 2,13 m und in Wilhelmshaven am 6. 12. 2,48 m über MThw.

Die vier höchsten Sturmfluten am 6. und 7. 12. sind unter anderem interessant durch den Wechsel ihrer Höhen, die entsprechend der täglichen Ungleichheit der Gestirnsflut genau den Rhythmus der Gezeiten mitmachen. Die Tidebewegung verlief, abgesehen von den hohen Wasserständen, ganz regelmäßig; eine Erscheinung, die sonst bei Sturmfluten in der Nordsee unbekannt ist. Die Windstaukurve für Cuxhaven hat ihr Maximum in der Nähe des NW mit rund 3,0 m und fällt bei HW um etwa 1,0 m ab. Da man es hier mit einer sehr ausgeglichenen Windwirkung zu tun hat und das An- und Abschwellen der Windstaukurve nicht etwa die Folge von Windschwankungen ist, gibt diese Regelmäßigkeit erstmalig einen brauchbaren Anhalt dafür, wie weit der Windstau durch das HW abgeschwächt werden kann. Außerdem zeigt diese Sturmflut, daß sich

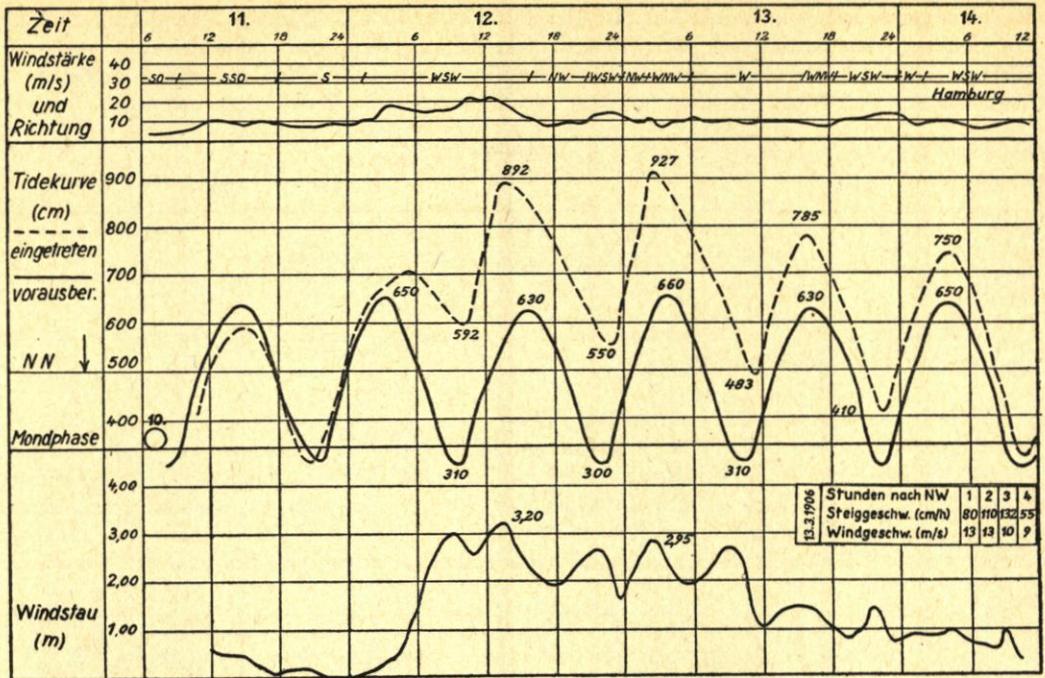


Abb. 14. Sturmflut am 13. März 1906. Pegelstation Husum

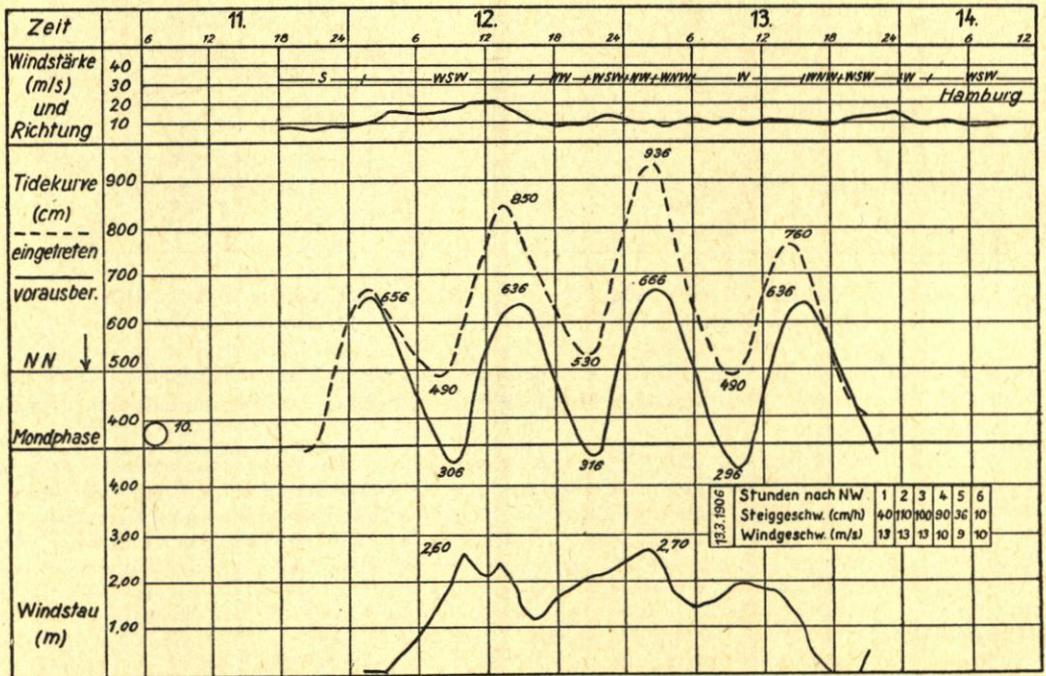


Abb. 15. Sturmflut am 13. März 1906. Pegelstation Cuxhaven

auf Helgoland und in Keitum/Sylt geschätzten Windstärken und -richtungen sind aus Tabelle 2 zu entnehmen. In Borkum erreichte der Wind in der Nacht vom 12. zum 13. 3. mit 25,2 m/s = Windstärke 11 seine Höchstgeschwindigkeit, und auch die holländische Station Groningen meldete drei Stunden lang um Mitternacht Windstärke 10. Im übrigen sind aber an der holländischen Küste die Windstärken nur mit 8—9 Bft registriert.

Tabelle 2

Windbeobachtungen am 5.—7. Dezember 1895

Uhrzeit	5. 12.				6. 12.				7. 12.			
	Borkum	Hoheweg	Helgoland	Keitum/Sylt	Borkum	Hoheweg	Helgoland	Keitum/Sylt	Borkum	Hoheweg	Helgoland	Keitum/Sylt
0		W 7				NW 9				NW 9		
2		NW 8				NW 9				NW 9		
4		WNW 7				NW 8				NW 9		
6		WNW 8				NW 8				NW 8		
8	SW 8	WNW 8	WSW 9	SW 7	W 7	NW 8	NNW 7	NW 7	WSW 10	NW 8	W 11	NW 7
10		W 9				NW 8				NW 8		
12		W 9				NW 8				NNW 8		
14	W 8	W 9	W 9	W 7*)	W 8	NW 8	WNW 7	—	NW 10	N 9	NW 9	NW 7
16		NW 9				NW 8				N 9		
18		NW 9				NW 8				N 9		
20	W 9	NW 9	W 9	NW 7	W 8	NW 8	WNW 9	NW 7	NW 7	N 9	NW 8	NW 7
22		NW 9				NW 9				N 9		

Windbeobachtungen am 11.—13. März 1906

Uhrzeit	11. 3.				12. 3.				13. 3.			
	Borkum	Hoheweg	Helgoland	Keitum/Sylt	Borkum	Hoheweg	Helgoland	Keitum/Sylt	Borkum	Hoheweg	Helgoland	Keitum/Sylt
0					SW 8	SSW 7			NW 11	NW 11		
2					W 8				NW 8			
4					W 9	SSW 7			NW 8	NW 10		
6					W 9				NW 8			
8				SW 5	W 9	WSW 8	W 8	SW 9	NW 8	WNW 7	NW 8	NW 7
10					W 10				WNW 7			
12					NW 8	WSW 8			NW 7	WNW 8		
14				SSW 6	NW 8		NW 7	NW 8	WNW 7		NW 7	W 6
16	SW 6				NW 8	W 7			NW 7	WNW 8		
18	SW 8				NW 8				NW 7			
20	SSW 7		SSW 6	SSW 5	WNW 7	WNW 7	NW 7	W 7	NW 7	WNW 7	NNW 8	W 7
22	SW 7				NW 9				WNW 7			

Windbeobachtungen am 5.—7. November 1911

Uhrzeit	5. 11.				6. 11.				7. 11.			
	Borkum	Hoheweg	Helgoland	Keitum/Sylt	Borkum	Hoheweg	Helgoland	Keitum/Sylt	Borkum	Hoheweg	Helgoland	Keitum/Sylt
0	—	SW 4			WNW 9	SW 9				SW 7		
2	SSW 6				W 9							
4	SW 8	SW 5			WSW 9	SW 8				SW 6		
6	SW 8				W 8							
8	SW 8	SW 6	WSW 8	SW 8	WSW 8	WSW 7	WSW 8	WNW 8			W 6	WSW 5
10	WSW 8				W 7							
12	WNW 7	WSW 9			W 7	WSW 8						
14	WSW 8		W 7	W 8	WSW 8		W 7	W 9				
16	WSW 8	WSW 5			WSW 7	SW 7						
18	WSW 8				WSW 6							
20	WNW 9	SW 8	W 9	WSW 9	WSW 7	SW 7	W 6	WNW 6				
22	WSW 10				SW 6							

*) Kurze Zeit Stärke 10

Fortsetzung Tabelle 2
Windbeobachtungen am 9.—10. Oktober 1926

Uhrzeit	9. 10.						10. 10.					
	Borkum	Helgoland	List/Sylt	Borkumriff	Amrumbank	Außenjade	Borkum	Helgoland	List/Sylt	Borkumriff	Amrumbank	Außenjade
0												
2												
4												
6												
8												
10							W 8	W 9	NW 9	—	WNW 9	NW 11
12							NW 9	—	—	—	—	—
14	SW 6	SW 9	SSW 6	SW 8	SSW 8	—	NW 9	—	WNW 5	—	—	—
17	WSW 5	—	—	—	—	—	NW 9	—	—	—	—	—
19	W 6	SW 8	SW 6	W 8	SW 7	—	NW 8	—	—	—	—	—
20							NW 8	—	—	—	—	—
22												

Windbeobachtungen am 17.—18. Oktober 1936

Uhrzeit	17. 10.						18. 10.					
	Borkum	Helgoland	List/Sylt	Borkumriff	Amrumbank	Außenjade	Borkum	Helgoland	List/Sylt	Borkumriff	Amrumbank	Außenjade
0							W 8	SW 7	SWzW 8	W 8	—	—
2												
4												
6												
8							SW 9	W 10	WSW 9	WNW 10	W 11	W 11
11							W 10	W 9	WSW 10	WNW 10	W 11	WNW 11
14							WNW 10	W 9	W 11	NW 11	WNW 12	WNW 10
17	SSW 9	WSW 7	WSW 7	WSW 9	W 9	W 8	NW 9	W 7	W 11	NW 10	WNW 9	NW 12
19	SW 9	WSW 7	WSW 7	WSW 9	W 9	W 8	NNW 9	WNW 9	WNW 9	NW 9	WNW 9	WNW 9

Windbeobachtungen am 26.—27. Oktober 1936

Uhrzeit	26. 10.						27. 10.					
	Borkum	Helgoland	List/Sylt	Borkumriff	Amrumbank	Außenjade	Borkum	Helgoland	List/Sylt	Borkumriff	Amrumbank	Außenjade
0							W 9	SW 7	SW 8	W 9	—	—
2												
4												
6												
8							SW 9	SW 12	WSW 9	W 12	W 11	W 9
11							SW 11	WSW 9	WSW 9	W 12	W 11	W 11
14							W 12	W 10-12	WSW 10	WNW 12	WNW 10	WSW 11
17							W 10	W 10-12	WSW 11	WNW 10	WNW 10	—
19	S 9	SSW 8	SSO 6	SSW 8	SSW 7	SSW 7	W 10	W 9-11	WSW 10	W 9	W 9	—

Da am 10. 3. Vollmond war, fiel die Sturmflut in die Springzeit. Das vorausberechnete HW betrug in Husum 660 cm a. P. (MThw 1906 = 633). Die Sturmflutperiode erstreckte sich über zwei HW, weil sich das Sturmtief nur langsam ostwärts bewegte. Der Windstau über vorausberechnetes HW war in Husum am 12. März 2,30 m und am 13. März 2,20 m. Infolge des um 30 cm höheren vorausberechneten HW (tägl. Ungleichheit zur Springzeit) war der maximale Windstau am 12. 3. (3,20 m) höher als am 13. 3. (2,95 m). Die Sturmfluthöhe erreichte in Cuxhaven infolge des ab 14^h nach NW drehenden Windes und des Anstiegs der Windgeschwindigkeit auf 25 m/s in der südlichen Nordsee ihren bisher höchsten Stand (936 cm), der außer 1825 in Cuxhaven noch nicht wieder aufgetreten ist. Ebenfalls in Wilhelmshaven wurde mit 1008 cm = 5,08 m NN am 13. 3. der dort seit hundert Jahren höchste Stand erreicht. Nach LÜDERS (22) ist auch der dabei aufgetretene Windstau von 3,54 m über MThw der bisher größte Wert für Wilhelmshaven. Demnach ist an der Westküste diese Sturmflut weniger hoch aufgelaufen als an der Südküste der Deutschen Bucht (Windstau z. Z. des vorausberechneten HW in Geestemünde 3,67 m, in Nieuw-Statenzijl 3,58 m).

7. Sturmflut am 5./6. November 1911

Hierüber sind außer in den Schreibpegelaufzeichnungen von Husum, Tönning und Cuxhaven weitere Angaben in den Sturmflutakten des Wasserbauamts Husum enthalten (Abb. 16, 17, 18). Hiernach war am 5. 11. am Pegel Husum mittags bei Windstärke 9 aus WSW bereits ein Wasserstand von 1,90 m über GHW eingetreten, und es ebte nur 0,80 m unter GHW ab. In der Nacht vom 5. zum 6. 11. stieg der Wind auf Stärke 11. Die Windrichtung blieb zwischen S und W und ist mit WSW bis W Stärke 10—11 angegeben. Eiderfeuerschiff meldet seit 8^h SSW 8—9 und um 21^h ebenso wie Tönning WSW 11. Der Sturm war nicht böig, sondern bemerkenswert stetig. Seit dem 30. 10. herrschte auf Sylt (List) bereits ein steifer Südwest, der das Wasser am Weststrand etwa 50 cm über normal hielt. Am Morgen des 6. 11. nahm der Wind etwas ab, frischte mit Tagesgrauen aber mit aller Kraft wieder auf, um erst in der Nacht vom 6. zum 7. abzuflauen. Am 6. 11. meldete Eiderfeuerschiff um 8^h West 11, um 14^h W 11 und um 20^h W 10. Die Windrichtung blieb an beiden Sturmtagen SSW bis W. Der Wind ist also nicht aus dem Südwestviertelkreis herausgetreten, obgleich das Sturm tief entsprechend seiner sehr nördlichen Zugbahn eine mehr nördliche Windrichtung vermuten ließ (vgl. Abb. 19, 20). In Cuxhaven und an der ostfriesischen Küste traten daher bei dieser Flut keine besonders hohen Wasserstände auf (Cuxhaven 849 cm a. P. und Wilhelmshaven 873 cm a. P.). In Borkum wurde die Windstärke 10 überhaupt nur kurzfristig in der Nacht vom 5. zum 6. 11. erreicht (Tab. 2).

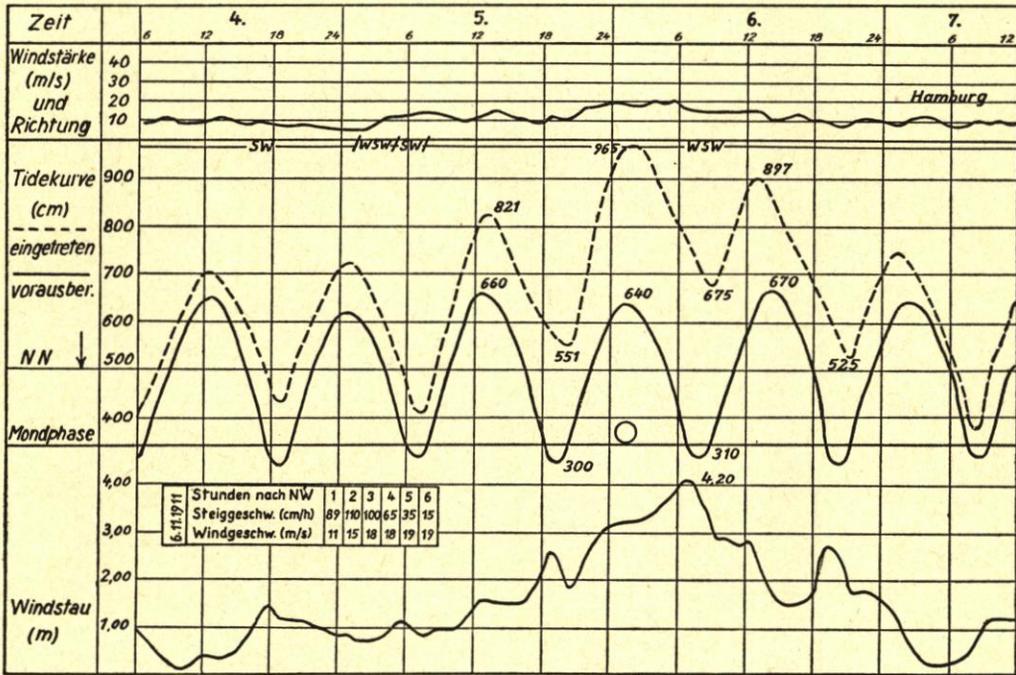


Abb. 16. Sturmflut am 5./6. November 1911. Pegelstation Husum

Das HHW stieg am 6. 11. in Husum auf 965 cm a. P. (= 3,33 m über GHW) und in Tönning auf 947 cm a. P. Es trat (zur Springzeit) fast genau zur vorausberechneten HW-Zeit ein, und auch die vorhergehenden HW und NW hatten nur geringe Verspätung. Diese Regelmäßigkeit ist auf den bereits mehrere Tage vorher anhaltenden starken westlichen Wind zurückzuführen. Bei stark böigen Winden oder sehr plötzlich einsetzenden orkanartigen Stürmen ist die zeitliche Verschiebung bisweilen beträchtlich (vgl. Sturmflut 1949 mit 5 1/2 Stunden Verspätung des HW).

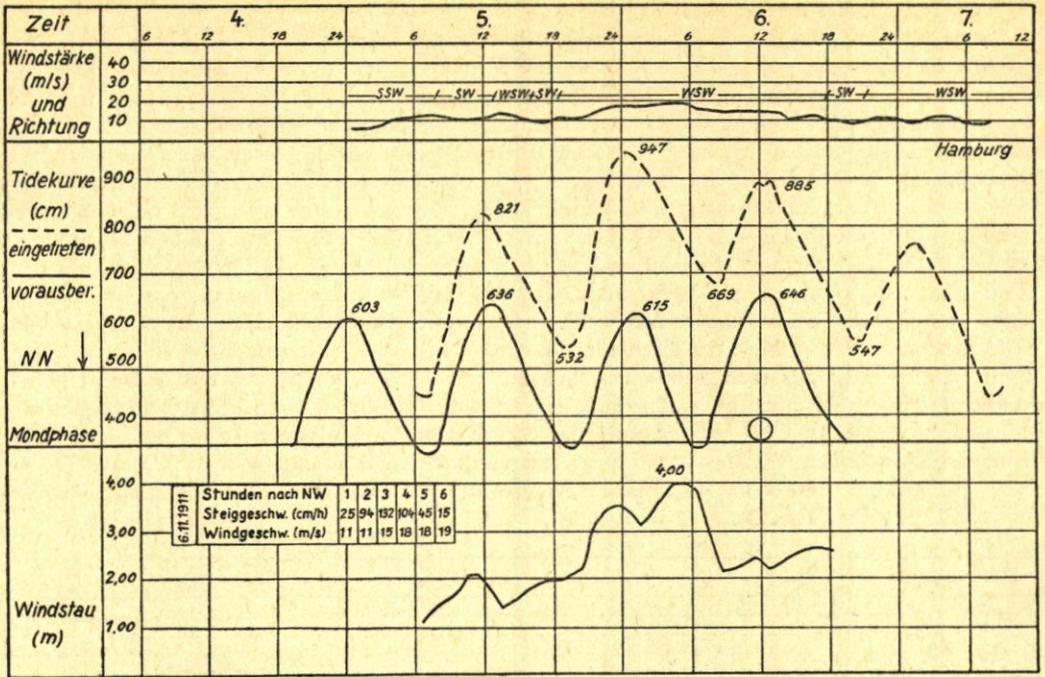


Abb. 17. Sturmflut am 6. November 1911. Pegelstation Tönning

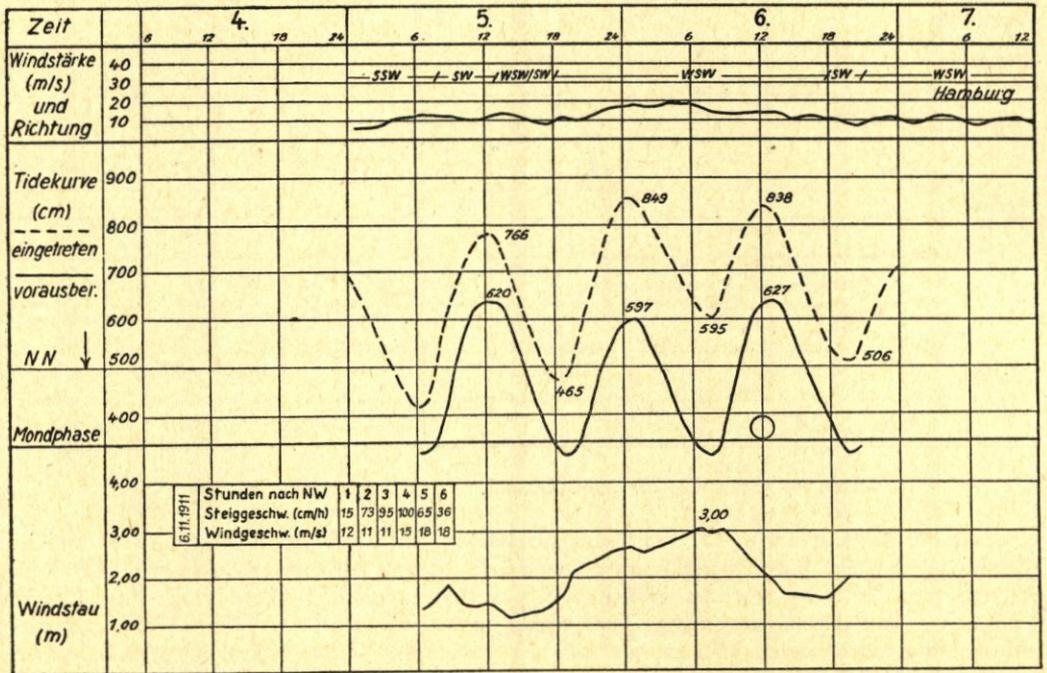


Abb. 18. Sturmflut am 6. November 1911. Pegelstation Cuxhaven

Der Windstau über vorausberechnetes HW betrug in Husum 3,25 m und erreichte über NW seinen Höchstwert mit 4,20 m. In Tönning stellte sich mit 3,45 m der bisher beobachtete Höchstwert über HW ein. Trotz des noch etwas zunehmenden Windes aus WSW fiel das Wasser aber sofort nach vorausberechnetem HW stark ab; ein Beweis dafür, daß sehr hohe Windgeschwindigkeiten (über 20 m/s) erforderlich sind, um bei Eintritt der Ebbe das Wasser noch ansteigen zu lassen (vgl. auch Sturmflut vom 9./10. 2. 1949).

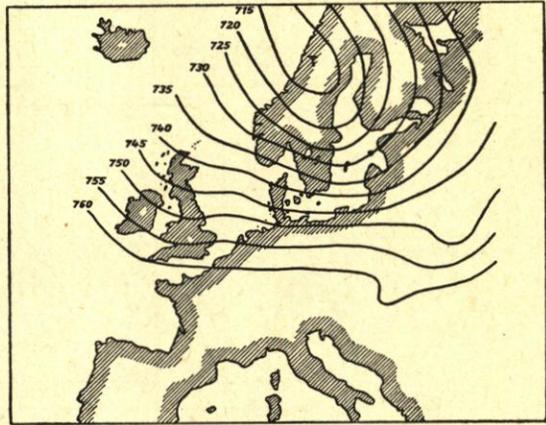
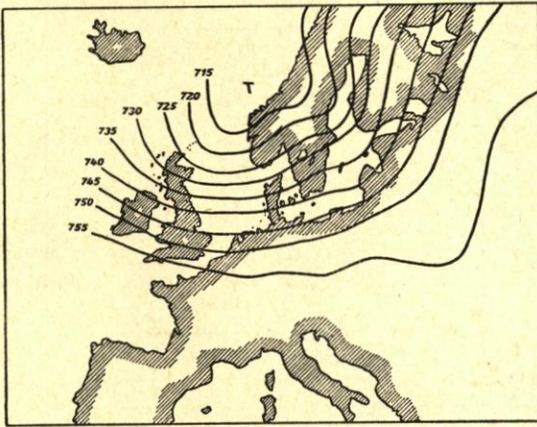


Abb. 19. Wetterkarte 5. November 1911, 20h
(Isobaren in mm)

Abb. 20. Wetterkarte 6. November 1911, 8h
(Isobaren in mm)

Die maximale Steiggeschwindigkeit betrug in Husum 110 cm/h und in Tönning 132 cm/h. Diese hohen Werte sind auf das Zusammentreffen der größten Windwirkung mit der Gestirnsflut zur Springzeit zurückzuführen. Der Tigestieg war in Husum trotz des stark erhöhten, vorhergehenden NW 4,14 m. Der Sturmflutbericht des Wasserbauamts Husum meldet am 6. 11. folgende Höchstwasserstände über GHW (z. T. Lattenpegelablesungen):

Tabelle 3

Wasserstände über GHW am 6. 11. 1911

Husum	3,33 m
Nordstrand	3,05 m
Pellworm	3,00 m
Bongsiel	3,50 m (?)
Oland	3,00 m
Hooge	2,50 m
Föhr (Wyk)	3,00 m
Föhr (Westen)	2,47 m
Dagebüll	2,63 m
Keitum	2,65 m
List	3,40 m
Westerland	3,40 m
Hoyer-Schleuse	3,84 m

Wie die vorausberechnete Tidekurve von Husum zeigt, betrug die tägliche Ungleichheit während der Sturmflutperiode 20 cm bzw. 30 cm. Wenn also das HHW eine Tide später eingetreten wäre, der Sturm seine größte Stärke also erst am 6. 11. um 12h erreicht hätte, so wäre bei gleichem Windstau das HHW in Husum auf 9,95 m a. P. angestiegen und wäre damit bereits dicht an den am 16. 2. 1916 beobachteten Höchstwert von 10,09 m a. P. herangekommen.

8. Sturmfluten am 13. Januar und 16. Februar 1916

Wie aus Tabelle 19 hervorgeht, sind 1916 drei sehr hohe Sturmfluten aufgetreten. Die Januar- und Dezemberflut erreichten aber in Husum nur eine Höhe von 935 bzw. 940 cm a. P., während die Februarflut bis 1009 cm anstieg. Von dieser Flut liegen von der West-

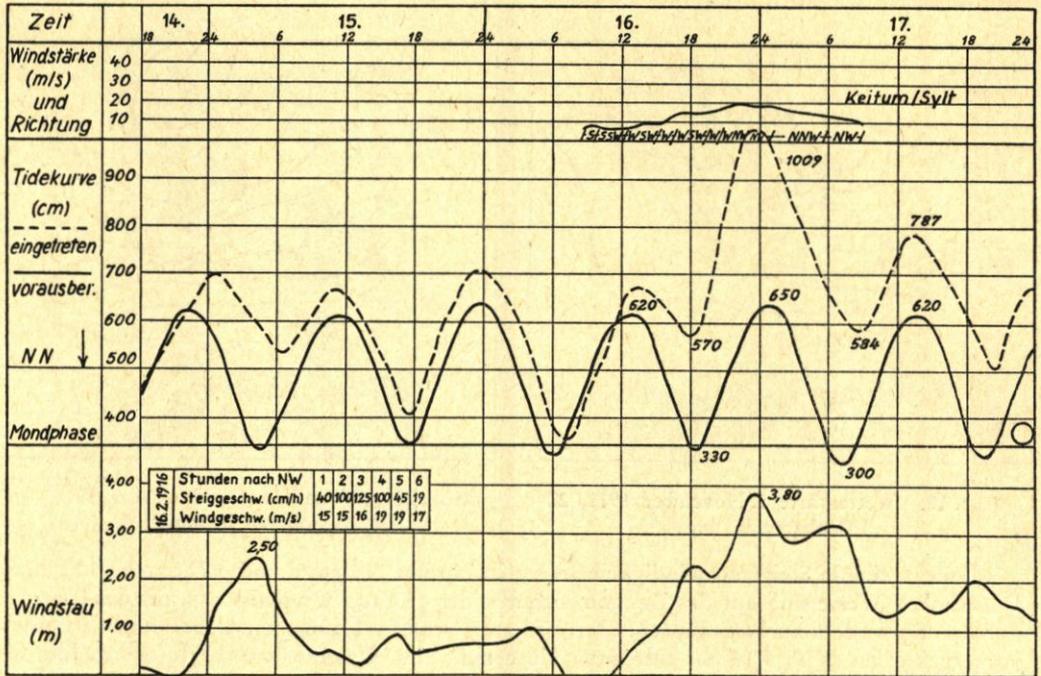


Abb. 21. Sturmflut am 16. Februar 1916. Pegelstation Husum

küste die Schreibpegelaufzeichnungen folgender Stationen vor: Husum (Abb. 21), Tönning (Abb. 22), Büsum, Hooge, Südwesthörn, Helgoland, Dagebüll und Cuxhaven (Abb. 23).

Am 16. 2. vormittags, zwei Tage vor Vollmond, wehte ein mäßiger Wind aus SW, der am Nachmittag zum Sturm auffrischte und etwa von 16^h ab, d. h. in Husum etwa zwei Stunden vor Eintritt der Flut, 10—15 m/s erreichte.

Um 13^h30' am 16. 2. was das HW 51 cm über vorausberechnetes HW eingetreten, und bei Ebbe fiel der Wasserstand nur um 101 cm ab. Damit blieb er 2,40 m über vorausberechnetem HW, und die folgende Flut setzte zwei Stunden zu früh ein. Der aus SW beginnende Sturm drehte sehr bald nach W und wehte zur Zeit seiner größten Stärke (10—11 Bft mit stärkeren Böen) aus WNW.

Nach dem amtlichen Sturmflutbericht erreichte das Wasser an der Husumer Schleuse den höchsten Stand am 16. 2. um 23^h45' mit 3,72 über GHW (GHW 1916 = + 1,37 m NN). Diese Flut ist damit rund 40 cm höher aufgelaufen als die Sturmflut 1911. Wenn das HHW auch nicht mehr einwandfrei durch den Schreibpegel aufgezeichnet wurde (Abb. 24), so bemerkt der amtliche Bericht aber ausdrücklich, daß die ergänzende Lattenpegelablesung „durchaus zuverlässig“ war. Von der letzten Schreibpegelaufzeichnung (22^h40' = 680 cm a. P.) ist das Wasser bis 23^h45' nur noch um 24 cm auf 704 cm a. P. gestiegen. Da das Husumer Pegelnull 1916 bei - 1,95 m NN lag, ist das HHW = 704 - 195 = 5,09 m NN. Dieser Wasserstand ist an der Westküste bisher noch nicht wieder aufgetreten und kann als der höchste,

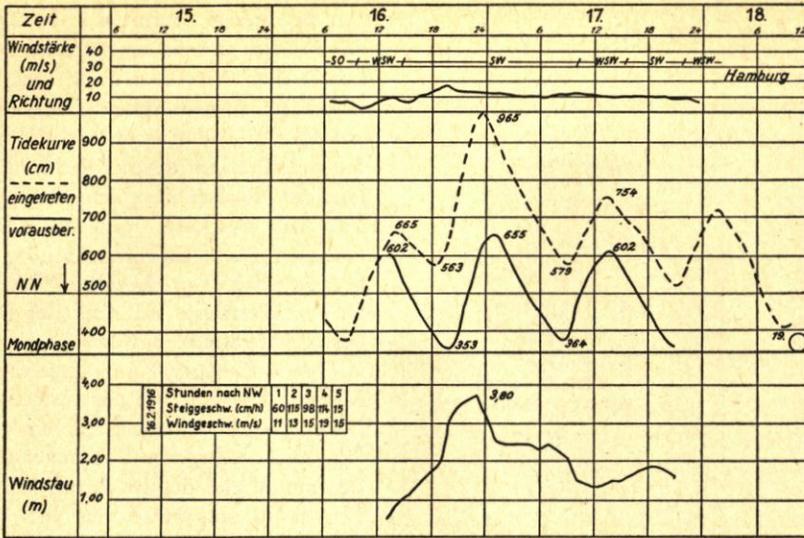


Abb. 22. Sturmflut am 16. Februar 1916. Pegelstation Töning

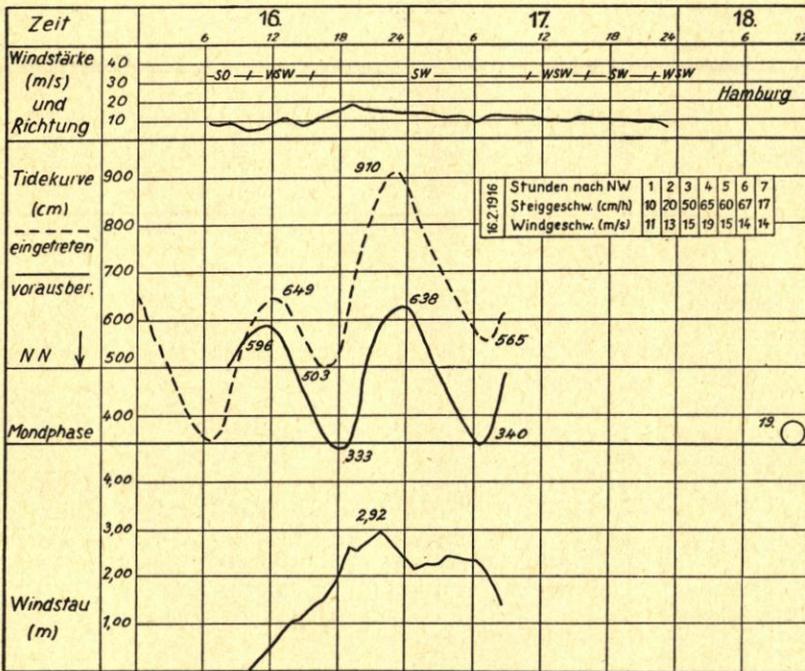


Abb. 23. Sturmflut am 16. Februar 1916. Pegelstation Cuxhaven

durch einwandfreie Beobachtung belegte Wasserstand angesehen werden. Die Hauptwerte der einzelnen Pegelstationen sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Von Hooge wird berichtet, daß der Westwind auch nach dem Höchststand (23^h30'—0^h30') noch anhielt und keine große Ebbe eintreten ließ.

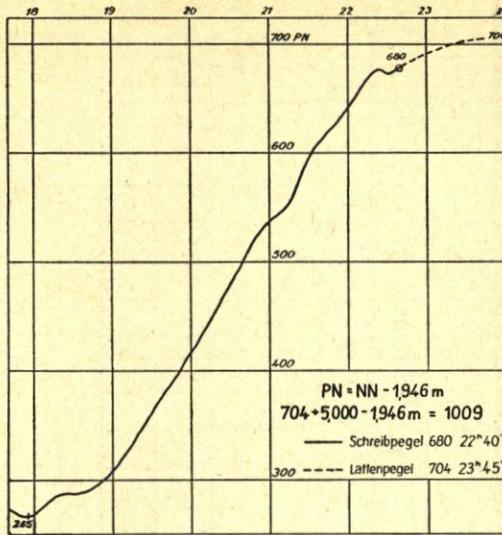


Abb. 24. Original-Sturmflutkurve vom 16. Februar 1916. Pegel Husum

Bei diesem Sturmflut (Abb. 25, 26) handelte es sich um ein sogenanntes Teiltief, das sich in dem Ausläufer eines vom Nordmeer südwärts ausgebreiteten Tiefdruckgebietes entwickelte und sich mit großer Stärke am 16. und 17. 2. in östlicher Richtung durch die mittlere Nordsee über dem Skagerrak nördlich der Westküste nach der Ostsee fortbewegte. Diese Sturmflut gehört also zum Skagerraktyp. Die Höchstflut stellte sich an der Westküste während des Durchgangs des Kerntiefs ein, das am Abend des 16. 2. vor dem Eingang zum Skagerrak und am Morgen des 17. 2. bei der Insel Gotland mit Barometerständen unter 720 mm = 959,8 mb lag. Die niedrigsten Barometerstände wurden am Abend des 16. 2. mit 719,8 mm bei Hansholm und 709,6 mm bei Keitum registriert.

Tabelle 4

Sturmflut am 16. Februar 1916

Pegelstation	Husum	Dagebüll	Südwesthörn	Hooge	Tönning	Büsum	Helgoland	Cuxhaven
MHW	645	609	608	608	652	644	573	638
MNW	313	355	—	353	335	328	346	348
HW (vorausberechnet)	650	624	617	612	630	640	578	638
Zeit (vorausberechnet)	0h47'	1h03'	1h20'	0h13'	1h30'	0h50'	22h37'	23h50'
HW (eingetreten)	1009	908	930	885	965	946	784	910
Zeit (eingetreten)	23h45'	0h45'	1h00'	0h00'	22h30'	22h40'	22h30'	23h00'
Windstau bei vorausgerechnetem HW (cm)	350	280	320	270	280	285	210	270
Max. Windstau (cm)	380	300	390	290	389	332	230	292
NW-Zeit	17h55'	17h50'	17h45'	17h00'	17h45'	17h40'	15h40'	17h00'
Steigdauer	5h50'	6h55'	7h15'	7h00'	4h45'	5h00'	6h50'	6h50'
NW (eingetreten)	570	600	590	555	653	535	495	503
Tidestieg (cm)	439	308	340	330	402	411	289	407
Max. Steiggeschwindigkeit (cm/h)	125	65	90	75	115	118	67	110
Mittl. Steiggeschwindigkeit (cm/h)	75	45	47	47	82	82	42	60
Stärke und Richtung des Windes bei HHW	7 NW	7 NW	7 NW	7 NW	7 SW	7 SW	7 SW	7 SW
Stärke und Richtung des Windes 6 Std. vor HHW	7 SW	8 SW	8 SW	7 SW	6 SW	6 SW	7 SW	7 SW
Dauer der Winde (> 15 m/s) aus westl. Richtungen vor HHW	5 Std.	6. Std.	6 Std.	5 Std.	4 1/2 Std.	4 1/2 Std.	4 Std.	4 1/2 Std.

Im einzelnen liegen von der Westküste folgende Windbeobachtungen vor:

- Wyk: Orkanartiger Sturm aus West in der Nacht vom 16. zum 17. 2. Von 21^h bis 23^h Windstärke 9—11.
 Tönning: Von 20^h ab Böen aus West Stärke 8—10.
 Keitum/Sylt: In Böen bis Stärke 11.

In Keitum wehten etwa fünfzehn Stunden lang stürmische Winde, die von 20^h bis 22^h über 19 m/s erreichten. An der holländischen und ostfriesischen Küste hob der Sturm von Stärke 10—11 den Wasserstand bis 3,40 m über NN, blieb damit aber 1—1½ m unter den Höchstwerten an der schleswig-holsteinischen Westküste.

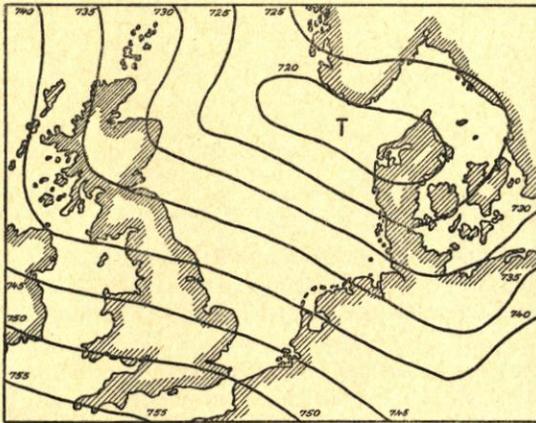


Abb. 25. Wetterkarte 16. Februar 1916, 19^h
(Isobaren in mm)

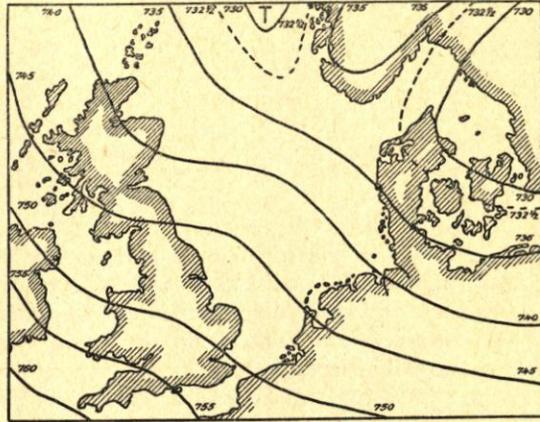


Abb. 26. Wetterkarte 17. Februar 1916, 8^h
(Isobaren in mm)

Bei der vorhergehenden Sturmflut am 13. 1. 1916 war das Verhältnis der Höchstwasserstände infolge der aus WNW bis NW wehenden, etwa fünfzehn Stunden andauernden Winde von 8—10 Bft gerade umgekehrt. Das HHW betrug am 13. 1. in Wilhelmshaven 981 cm a. P. = 3,27 m über GHW, in Geestemünde 995 cm a. P., aber in Husum nur 935 cm a. P. Der größte Windstau in Geestemünde am 13. 1. war 2,91 m. Helgoland erreichte bei dieser Januarflut bei außergewöhnlich starkem Seegang ebenso wie am 16. 2. 1916 einen Wasserstand von 784 cm a. P. Im südlichen Teil der Zuiderzee traten am 13. 1. sogar höhere Wasserstände auf als 1825 und führten hier zu Deichbrüchen. Der Windstau war in Harlingen bei HW 2,52 m, in Nijkerk 3,32 m und im Dollart bei Nieuw Statenzijl eine Stunde vor dem vorausgerechneten HW sogar 4,19 m (17).

Am 16. 2. hatten die stürmischen Winde aus westlichen Richtungen das Wasser in der Deutschen Bucht schon vor der Sturmflutperiode stark zusammengedrückt. Das Drehen des Windes nach NW kurz vor HHW beschränkte sich auf die Westküste, so daß das HW hier höher auflief als an der holländischen und ostfriesischen Küste. Die stürmischen Winde im Süden und Westen der Nordsee behielten im wesentlichen ihre westliche Richtung während der Zeit der auflaufenden Flut am Nachmittag des 16. 2. bei. Die später vor der Westküste auftretenden Nordwestwinde stauten das längs der Küste nach Norden getriebene Wasser dadurch noch höher auf.

Bei dieser Sturmflut trafen mehrere ungünstige Umstände zusammen: Springtide (erhöhtes vorausgerechnetes HW, 14 cm) stärkste Winde aus WSW und W zur Flutzeit und dadurch Eintritt des HHW kurz vor dem vorausgerechneten HW, starke allgemeine Wasserspiegelerhöhung infolge südwestlicher Winde schon vier Tiden vor der Sturmflut und kurz vor HHW Drehung des Windes nach WNW und NW. In Husum wurde die Windstärke mit 12 Bft = 30 m/s

angegeben. Das Wasser stieg hier in rund sechs Stunden um 4,39 m, d. h. im Mittel 73 cm/h und maximal 125 cm/h.

Im Sturmflutbericht des Wasserbauamts Husum sind für den Nordbezirk noch folgende Wasserstände angegeben (z. T. Lattenpegel):

Tabelle 5
Wasserstände über GHW am 16. 2. 1916

Husum	3,72 m
Nordstrand	3,35 m
Pellworm	3,40 m (?)
Dagebüll	3,14 m
Oland	3,06 m
Hoyer-Schleuse	3,25 m
Sylt	3,40 m (?)
Wittdün	2,80 m
Hooge	2,80 m
Südwesthörn	3,47 m
Föhr (Westen)	2,62 m
Föhr (Wyk)	3,10 m

In Tönning erreichte diese Flut eine Höhe von 965 cm a. P., in Büsum 946 cm a. P. und in Cuxhaven nur noch 910 cm a. P. Nach einem Bericht des Wasserbauamts Husum vom 28. 3. 1916 lag an verschiedenen Stellen der Westküste (Pellworm, Dockkoog und Teile des II. schlesw. Deichbandes) das Treibsel auf der Innenböschung der Deiche und nur, wo die Deiche eine größere Höhe bzw. flachere Außenböschung hatten, war es auf der Deichkrone oder kurz darunter (30—100 cm) zu finden. Hierdurch wird ein Anhalt für den höchsten Wellenauflauf gegeben.

Der Sturmflutverlauf an den einzelnen Beobachtungsstellen ist sehr ähnlich gewesen. Überall trat das HHW kurz vor dem vorausberechneten HW ein. Der Windstau über der vorausberechneten HW-Höhe und der maximale Windstau betragen:

Tabelle 6
Windstau während der Sturmflut am 16. 2. 1916

Pegel	Windstau z. Z. des vorausberechneten HW	Maximaler Windstau
Husum	3,50 m	3,80 m
Hooge	2,70 m	2,90 m
Dagebüll	2,80 m	3,00 m
Südwesthörn	3,20 m	3,90 m
Tönning	2,80 m	3,89 m
Büsum	2,85 m	3,32 m
Helgoland	2,10 m	2,30 m
Cuxhaven	2,70 m	2,92 m

Hierbei fällt der fast gleich hohe maximale Windstau in Husum, Tönning und Südwesthörn auf. Der Tidestieg war mit 4,39 m in Husum am größten und übertraf den Wert von 1911 (4,14 m).

9. Sturmflut am 10./12. Oktober 1926

Bei dieser, ebenfalls zum Skagerraktyp gehörenden Sturmflut (Abb. 27, 28) stieg die Stärke des Südwestwindes am 9. 10. von mittags bis abends auf 9—10 Bft an. Am 10. 10. gegen 3^h wurde zeitweise die Windstärke 12 erreicht. Am Nachmittag drehte der Wind nach NW,

flaute am 11. bis gegen Mittag ab, um alsdann nach SW zurückzuspringen und bis Stärke 10 wieder aufzufrischen. Am 12. 10. drehte er aber wieder auf West zu Nord bei Stärke 10.

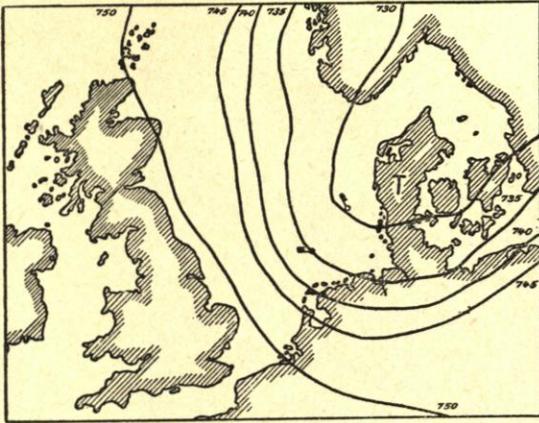


Abb. 27. Wetterkarte 10. Oktober 1926, 8h (Isobaren in mm)

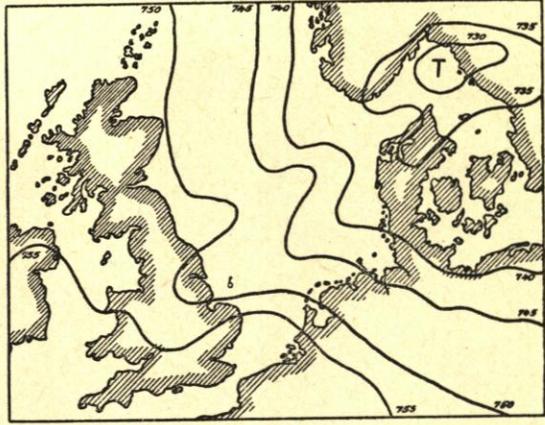


Abb. 28. Wetterkarte 12. Oktober 1926, 20h (Isobaren in mm)

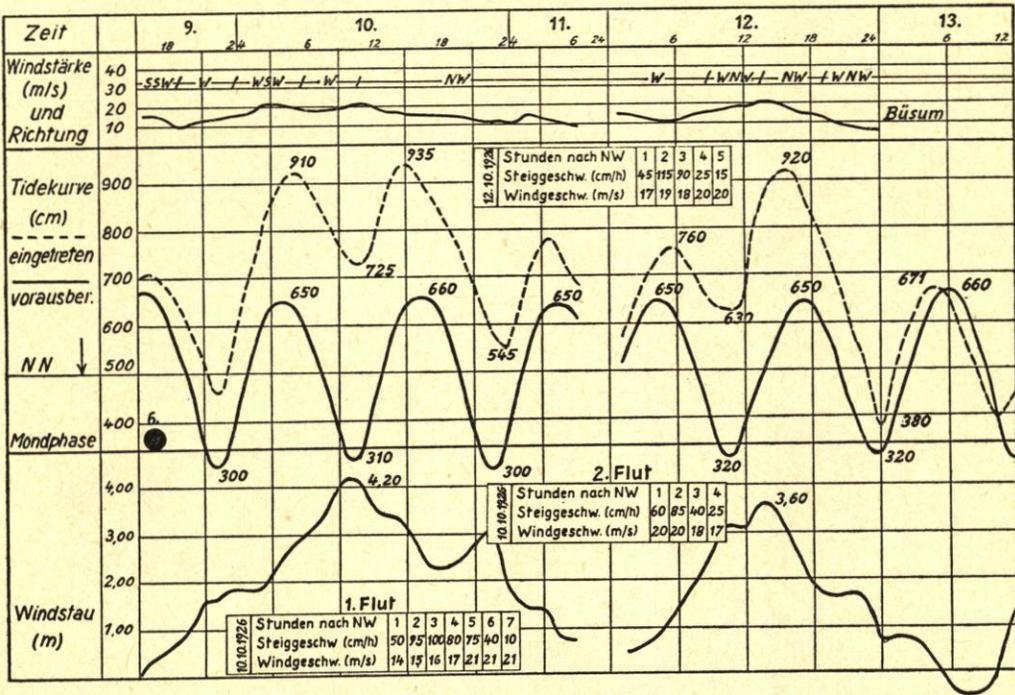


Abb. 29. Sturmflut am 10./12. Oktober 1926. Pegelstation Husum

Der höchste Wasserstand trat am 10. 10. nachmittags mit 935 cm a. P. = 2,90 m über GHW am Husumer Pegel ein, aber erreichte auch noch am 12. 10. die Höhe von 2,75 m über GHW. In Wilhelmshaven betrug der Windstau am 12. Okt. 2,50 m. Die Hauptwerte für diese Flut sind in Tabelle 7 zusammengestellt

An allen Pegeln fiel der größte Windstau in die NW-Zeit (Husum = 4,20 m, Tönning = 3,80 m, Büsum = 4,18 m). Der Windstau über HW betrug lediglich 2,50 m in Husum

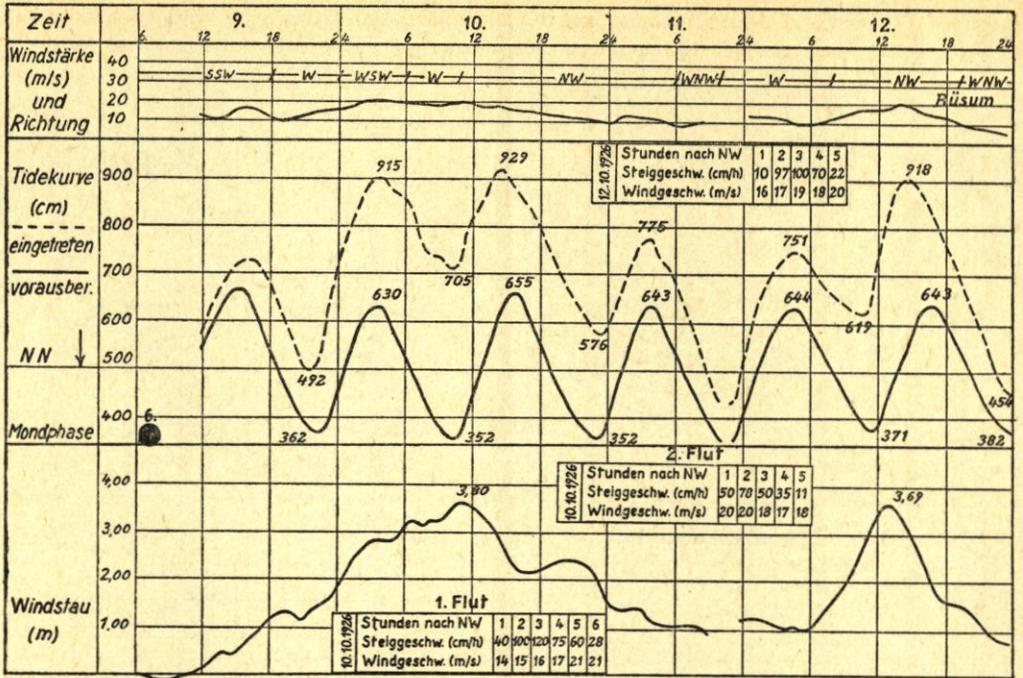


Abb. 30. Sturmflut am 10./12. Oktober 1926. Pegelstation Tönning

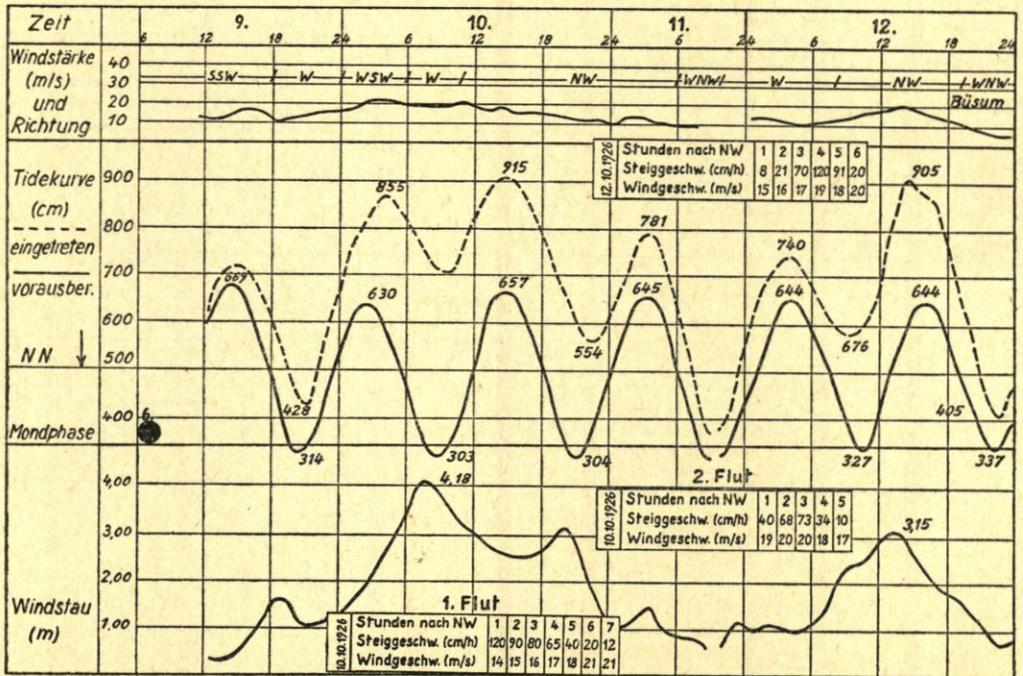


Abb. 31. Sturmflut am 10./12. Oktober 1926. Pegelstation Büsum

Tabelle 7
Sturmfluten am 10. und 12. Oktober 1926

Pegelstation	Sturmflut am 10. Oktober 1926 (1. Flut)					Sturmflut am 10. Oktober 1926 (2. Flut)					Sturmflut am 12. Oktober 1926						
	Husum	Südwesthörn	Tönning	Büsum	Helgoland	Husum	Südwesthörn	Tönning	Büsum	Cuxhaven	Helgoland	Husum	Südwesthörn	Tönning	Büsum	Cuxhaven	Helgoland
MHW	645	608	652	644	638	645	608	652	644	638	573	645	608	652	644	638	573
MNW	313	—	335	328	346	313	—	335	328	348	346	313	—	335	328	348	346
HW (vorausb.)	650	610	630	645	564	660	625	660	655	655	586	650	620	643	644	646	574
Zeit (vorausb.)	3h56'	4h26'	3h55'	3h00'	3h20'	1h25'	1h34'	1h00'	1h00'	15h10'	13h40'	17h08'	17h50'	17h00'	16h30'	16h45'	14h50'
HW (eingetr.)	910	867	915	855	781	695	860	929	915	902	789	920	828	918	905	897	773
Zeit (eingetr.)	4h30'	5h20'	3h40'	4h10'	3h30'	2h45'	15h50'	14h40'	14h50'	14h50'	14h00'	15h55'	17h05'	15h00'	14h55'	15h00'	15h00'
Windstau bei vorausberechn.																	
HW (cm)	250	230	270	200	140	120	245	230	200	210	200	210	200	170	220	210	200
Max. Windstau (cm)	420	280	380	418	360	280	420	280	380	418	360	280	360	250	369	315	301
NW-Zeit	22h00'	23h00'	21h40'	21h50'	21h00'	19h45'	11h00'	10h15'	10h10'	9h50'	9h25'	7h55'	11h00'	11h00'	10h35'	9h00'	8h30'
Steigdauer	6h30'	6h20'	6h00'	6h20'	6h30'	7h00'	3h35'	5h25'	4h30'	5h00'	5h25'	6h05'	4h55'	6h05'	5h25'	6h00'	6h30'
NW (eingetr.)	460	542	492	428	432	427	725	660	705	690	694	600	630	614	619	576	563
Tidestieg (cm)	450	325	423	427	349	268	210	200	224	225	208	189	290	214	299	329	334
Max. Steiggeschwindigkeit (cm/h)	100	72	120	120	80	60	85	48	78	73	64	50	115	50	100	120	118
Mittl. Steiggeschwindigkeit (cm/h)	69	51	71	67	53	38	60	36	50	45	38	47	58	35	64	61	56
Stärke u. Richtung d. Windes bei HHW	9 WSW	9 NW	10 WSW	9 WSW	10 WSW	10 WSW	8 NW	8 NW	8 NW	8 NW	8 NW	9 NW	9 NW	8 NW	9 NW	9 NW	9 NW
Stärke u. Richtung d. Windes 6 Std. vor HHW	7 W	7 SW	7 W	7 W	7 W	7 W	8 NW	9 W	9 W	9 W	9 W	8 WNW	8 WNW	9 WNW	8 WNW	8 WNW	8 WNW
Dauer d. Winde (> 15 m/s) aus westl. Richtungen vor HHW	5 Std.	6 Std.	5 Std.	5 Std.	5 Std.	4 Std.	15 Std.	16 Std.	15 Std.	15 Std.	15 Std.	15 Std.	8 Std.	9 Std.	7 Std.	7 Std.	7 Std.

und Südwesthörn, 2,35 m in Büsum und 2,00 m in Tönning. Die maximale Steiggeschwindigkeit ergab sich in Husum vor HHW zu 85 cm/h und der Tidestieg zu 2,10 m (Abb. 29—31).

Bemerkenswert ist, daß drei hohe HW in kurzen Abständen aufeinander folgten, deren Ursache ein dreitägiger Sturm war. Nach den Windangaben von Büsum schwankten die Windgeschwindigkeiten dabei zwischen 10 und 20 m/s. Helgoland und Amrumbank meldeten Windstärke 9 aus W und WNW. Außerdem fiel die Flut noch etwas in die Springzeit (Neumond am 6. 10.). Infolge Drehung des Windes von SW nach NW sowohl am 10. als auch am 12. stieg das zweite Hochwasser höher auf als das erste. Dies tritt besonders bei den Pegeln Cuxhaven und Helgoland in Erscheinung, weil die Drehung auf NW den Wasseranstieg hier besonders steigert (vgl. 12. 2. 1894) und die Südwestwinde eine wesentlich geringere Wirkung haben als z. B. an der Westküste. Die starke Abhängigkeit des Pegelstandes von der jeweiligen örtlichen Windrichtung zeigt der eingetretene Sturmflutwasserstand bei Südwesthörn am 10. und 12. 10. 1926. Während bei allen übrigen Pegeln an der Westküste das zweite HW am 10. 10. um einige Dezimeter höher lag (Husum 25 cm, Tönning 14 cm, Büsum 60 cm, Cuxhaven 121 cm), ist in Südwesthörn das erste HW um 7 cm höher aufgelaufen, und zwar infolge der W- und WSW-Winde, auf die Südwesthörn besonders stark reagiert. Das HHW am 12. 10. dagegen erreicht in Cuxhaven, Büsum und Husum etwa den gleichen Stand wie am 10. 10. (Unterschied 5—15 cm), bleibt aber in Südwesthörn um rund 40 cm hinter dem HHW vom 10. 10. infolge der Windrichtung aus WNW bis NW zurück.

Da die Windwirkung nicht so stark gewesen ist, daß sie die Ebbewirkung ganz ausschalten konnte, zeigen alle Pegelkurven einen deutlichen Abfall bei NW, obgleich der Wind am 10. 10. zur NW-Zeit praktisch nicht nachgelassen hatte (vgl. Windstärken in Büsum mit etwa 19 m/s).

10. Sturmflut am 18. Oktober 1936

Diese und die folgende Flut gehören ebenfalls dem Skagerraktyp an. PRÜGEL (30) weist darauf hin, daß bei diesem Typ der Isobarenverlauf sehr günstig für eine Erhöhung des Wasserstandes an der Westküste ist, weil im ganzen Raum der Nordsee die Windrichtung auf die Deutsche Bucht hin gerichtet ist. So kann sich auch der Seegang besser entwickeln als

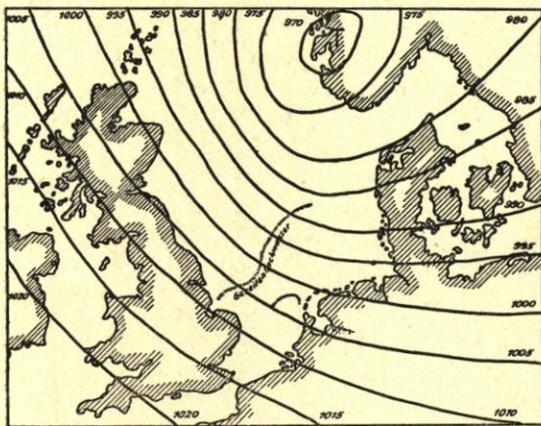


Abb. 32. Wetterkarte 18. Oktober 1936, 8h
(Isobaren in mb)

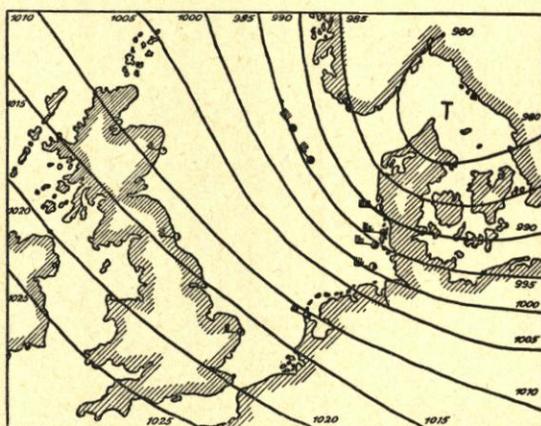


Abb. 33. Wetterkarte 18. Oktober 1936, 14h
(Isobaren in mb)

z. B. bei den Jütland-Tiefs. Vor der eigentlichen Sturmflut wird der Wasserstand meistens auch schon durch die an der Vorderseite des herannahenden Tiefs herrschenden Südwestwinde merklich erhöht. Dies trifft besonders für die Flut am 18. 10. zu, die außerdem noch in die Springzeit fiel (Neumond am 15. 10.). Das Sturmtief zog von Norden kommend in südöstlicher Richtung über Südsandinavien ab, wobei das Kerntief am 18. 10. um 8h über

Skandinavien 970 mb aufwies (Abb. 32, 33). In Husum betrug der Luftdruck zu dieser Zeit 996 mb. Das Gebiet der stärksten Nordwestwinde lag am 18. 10. morgens in der nördlichen Nordsee, wirkte also gemeinsam mit der von Norden eintretenden Gezeitenwelle stark erhöhend auf den Wasserspiegel und führte zur Entwicklung eines starken Seegangs.

Der Wind erreichte mit Stärke 9 seine größte Wirkung zwischen 8^h und 12^h, wobei Böen mit 33 m/s um 14^h15' auftraten. Die Feuerschiff-Beobachtungen von „Amrumbank“ und „Außeneider“ gaben im Mittel neunzehn Stunden lang Windstärke 10 und mehr an (vgl. Tab. 2). Der Wasserstand in Cuxhaven stieg infolge der drei Stunden vor HW einsetzenden Rechtsdrehung des Windes nach WNW auf 922 cm a. P. Auch Büsum und Helgoland weisen am 18. 10. aus diesem Grunde einen höheren Stand auf als bei der neun Tage später aufgetretenen Sturmflut (933 gegen 906 cm a. P. Büsum, 830 gegen 786 cm a. P. Helgoland).

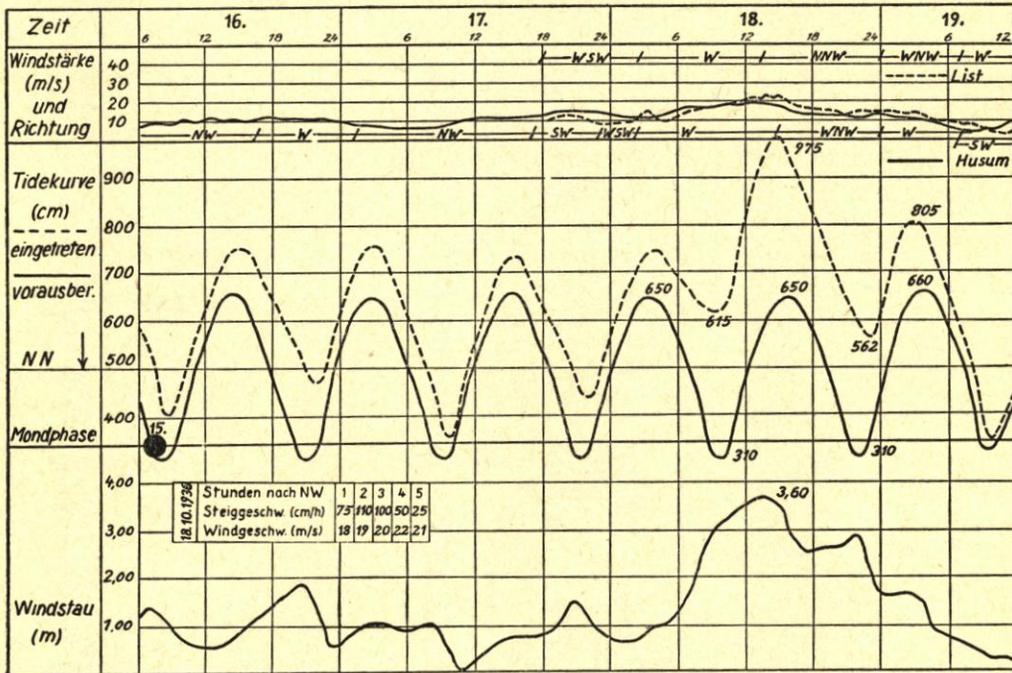


Abb. 34. Sturmflut am 18. Oktober 1936. Pegelstation Husum

Alle ungünstigen Momente trafen für diese Flut zusammen: Springzeit, beträchtliche Wasserstandserhöhung durch Südwestwinde vor der eigentlichen Sturmflut, starker Seegang infolge der Nordwestwinde in der nördlichen Nordsee und dadurch starke Wasseranstauung in der Deutschen Bucht, stärkste Windwirkung an der Küste zur HW-Zeit sowie acht bis neun Stunden vorher schon westliche Winde mit Geschwindigkeiten über 15 m/s (Abb. 34). In Husum stieg das Wasser bis 975 cm a. P. Der größte Windstau trat über HW ein und betrug in Husum kurz vor dem vorausberechneten HW 3,60 m. Abgesehen von Bongsiel und Dagebüll, wo der Höchstwert von 4,00 bzw. 3,10 m etwa eine Stunde nach HW eintrat, liegt der maximale Windstau auch bei allen übrigen Pegeln kurz vor dem vorausberechneten HW. Einen außerordentlich hohen Windstau weist auch der Pegel Hindenburgdamm-Nord mit 3,55 m auf, während südlich des Dammes nur 2,70 m ermittelt wurden. Infolge des langandauernden Westwindes, der später nach N drehte, wurde nördlich des Dammes ein um 18 cm höheres HW registriert als südlich. Wasserstände usw. für diese Flut sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Ergänzend sei noch angegeben, daß in Helgoland 2,57 m über MHW gemessen wurde.

Tabelle 8
Sturmflut am 18. Oktober 1936

Pegelstation	Husum	List	Hörnum	Wittdün	Hooge	Hindenburgdamm Nord	Hindenburgdamm Süd	Strand	Südwesthörn	Dagebüll	Bongsiel	Tönning	Büsum	Meldorf	Cuxhaven	Trischen	Helgoland
MHW	645	564	573	598	608	577	600	628	608	609	633	652	644	657	638	634	573
MNW	313	405	398	364	353	—	—	323	—	355	380	335	328	329	348	302	346
HW (vorausb.)	650	570	590	605	615	590	607	634	615	615	639	656	652	650	650	634	610
HW (vorausb.) Zeit	15h41'	16h08'	15h18'	15h37'	15h17'	16h35'	15h29'	15h46'	16h14'	15h50'	15h46'	15h10'	14h35'	—	14h43'	—	13h23'
HW (eingetr.)	975	842	837	854	886	896	878	938	908	904	946	950	933	952	922	910	830
HW (eingetr.) Zeit	15h00'	15h30'	15h37'	15h00'	14h50'	15h20'	16h00'	14h45'	15h40'	15h30'	15h00'	14h09'	14h10'	13h53'	14h30'	14h29'	13h45'
Windstrau bei vorausberechn.	300	270	250	250	260	280	270	270	290	280	240	270	280	—	260	—	210
Max. Windstrau (cm)	360	290	250	270	280	355	270	340	320	310	400	315	320	—	270	—	240
NW-Zeit	10h00'	9h00'	8h13'	8h00'	8h30'	9h15'	10h00'	9h00'	9h20'	9h00'	8h20'	7h20'	8h08'	7h30'	7h00'	6h45'	—
Steigdauer	5h00'	6h30'	7h24'	7h00'	6h20'	6h05'	6h00'	5h45'	6h20'	6h30'	6h00'	5h49'	6h50'	5h45'	7h00'	7h29'	7h00'
NW (eingetr.)	615	610	585	576	582	626	614	606	626	612	626	606	574	598	565	569	546
Tidestieg (cm)	360	232	252	278	304	270	264	332	282	292	320	344	359	354	357	341	284
Max. Steiggeschwindigkeit (cm/h)	110	60	50	56	70	60	64	93	62	88	102	100	106	122	88	80	62
Mitrl. Steiggeschwindigkeit (cm/h)	72	36	34	40	48	45	44	58	45	43	43	59	53	60	51	46	41
Stärke u. Richtung d. Windes bei HHW	10 WNW	10 NNW	10 NNW	10 NNW	10 NNW	10 NNW	10 NNW	10 NNW	10 NNW	10 NNW	10 NNW	9 WNW	9 WNW	9 WNW	9 WNW	9 WNW	9 WNW
Stärke u. Richtung d. Windes 6 Std. vor HHW	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W	8 W
Dauer d. Windes (> 15 m/s) aus weatl. Richtung vor HHW	8 Std.	9 Std.	9 Std.	9 Std.	8 Std.	9 Std.	9 Std.	8 Std.	9 Std.	9 Std.	8 Std.	3 Std.	3 Std.	3 Std.	3 1/2 Std.	3 1/2 Std.	3 Std.

Maximale Steiggeschwindigkeit (110 cm/h) und Tidesieg (3,60 m) waren in Husum nicht sehr groß. Eine Erhöhung dieser Sturmflut wäre möglich gewesen, wenn in Husum eine größere Windstärke aufgetreten wäre (z. Z. des HHW: Husum 19 m/s, List 30 m/s, Wyk 25—26 m/s). Die Auswirkung der Nähe des Sturmtiefs kommt auch hier wieder zum Ausdruck. List meldete sechs Stunden lang Windgeschwindigkeiten von 24—26 m/s, während in der gleichen Zeit in Wyk nur 17—19 und in Husum ebenfalls maximal nur 19 m/s auftraten. Aber in allen drei Fällen addieren sich Windwirkung und Gestirnsflut in geradezu „idealer“ Weise. Das Drehen des Windes nach N setzte um HW für allerdings nur kurze Zeit ein.

11. Sturmflut am 27. Oktober 1936

Diese Sturmflut wäre vielleicht noch höher aufgelaufen als die vorhergehende, wenn nicht andere Umstände mitgewirkt hätten. So fiel diese Flut noch nicht in die Springzeit.

Das Sturmtief zog in fast gleicher Richtung wie am 18. 10. von N kommend über die nördliche Nordsee ostwärts über das Skagerrak und erreichte am 27. 10. um 8^h in seinem Kern 960 mb (Abb. 35). Weil der Wind bis zum HHW aus W wehte und nicht wie am 18. 10. noch nach NW drehte, erreichte der Wasserstand in Cuxhaven nicht ganz die Höhe der Flut vom 18. 10. PRÜGEL versucht dies damit zu erklären, daß die Gezeitenwelle schon zu weit fortgeeilt war und sich bereits in der südlichen Nordsee befand, als in der nördlichen Nordsee die größte Windwirkung auftrat (27. 10., 8^h), so daß zur HW-Zeit der Gestirnsflut (10^h) noch nicht die größte Windwirkung eingesetzt hatte.

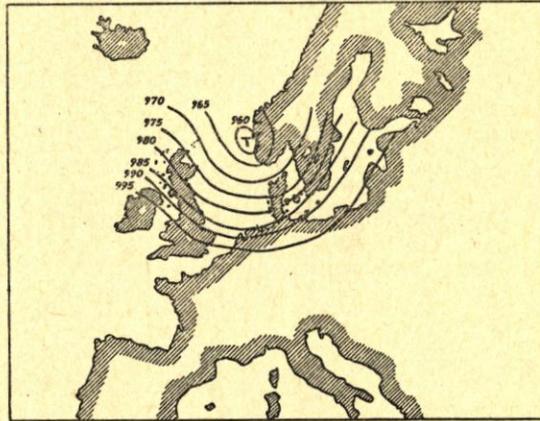


Abb. 35. Wetterkarte 27. Oktober 1936, 8^h
(Isobaren in mb)

Beide Sturmfluten des Jahres 1936 ähneln sich sehr. Das HHW trat bei beiden Fluten zur vorausgerechneten HW-Zeit ein und erreichte in Husum die gleiche Höhe (975 cm a. P.). Auch die maximale Steiggeschwindigkeit (108 bzw. 110 cm/h) und der Windstau (3,60 bzw. 3,40 m) stimmen für Husum weitgehend überein (Abb. 36).

Die Windrichtungen waren am 27. 10. und zwei Tage vorher nur SW und W. Die Windgeschwindigkeit stieg erst fünf Stunden vor HHW auf über 15 m/s an (Tab. 9), während dies am 18. 10. bereits neun Stunden vor HHW der Fall war. Die Höchstwerte wurden kurz vor HHW mit 20—24 m/s in List und 19 m/s in Husum erreicht. Der Wasseranstieg war daher auch im ganzen steiler und anhaltender. Am 27. 10. betrug der Tidesieg in fünfeneinhalb Stunden 5,07 m gegenüber nur 3,60 m in fünf Stunden am 18. 10. Durch die über HHW noch etwa sechs Stunden lang in gleicher Stärke anhaltenden Westwinde, die zwar den normalen Tideverlauf zeitlich nicht beeinflussen konnten, fiel das nachfolgende NW höher aus als am 18. 10. Die Dauer der westlichen Winde mit Stärken über 10 Bft wird nach Beobachtungen der Feuerschiffe „Amrumbank“ und „Außeneider“ mit zwölf Stunden angegeben, ist also um sieben Stunden geringer als am 18. 10. Für die Feuerschiffe vor der ostfriesischen Küste ist das Verhältnis gerade umgekehrt: zwölf Stunden am 18. 10. und sechzehn Stunden am 27. 10.

Die Wasserstände der Sturmflut vom 27. 10. sind in Tabelle 9 zusammengestellt. In Helgoland wurde nur 2,13 m über MHW gemessen, d. h. 44 cm weniger als am 18. 10. Am Hindenburgdamm trat bei dieser Flut die höheren Wasserstände auf der Südseite ein, weil am 18. 10. die zeitweiligen Nordnordwestwinde den Stau nördlich des Dammes gefördert hatten. Der Unterschied zwischen der Nord- und Südseite des Dammes betrug 52 cm gegenüber 18 cm am 18. 10.

Sturmflut am 27. Oktober 1936
Tabelle 9

Regelstation	Husum	List	Hörnum	Wittdünen	Hooge	Hindenburgdamm Nord	Hindenburgdamm Süd	Strand	Südwesthörn	Dagebüll	Bongsiel	Tönning	Büsum	Cuxhaven	Trischen	Helgoland
MHW	645	564	573	598	608	577	600	628	608	609	633	652	644	638	634	573
MNW	313	405	398	364	353	—	—	323	—	355	380	335	328	348	302	346
HW (vorausb.) Zeit (vorausb.)	650 10h55'	590 11h31'	600 11h04'	616 10h51'	623 10h31'	600 11h50'	617 11h43'	638 10h50'	623 11h26'	624 11h04'	642 10h50'	640 10h45'	635 10h00'	650 10h00'	650 10h00'	610 8h45'
HW (eingetr.) Zeit (eingetr.)	975 11h30'	826 11h25'	844 11h30'	850 11h15'	874 11h00'	856 12h00'	908 13h15'	930 11h15'	900 12h00'	900 11h30'	938 12h15'	950 10h30'	906 10h40'	861 10h30'	867 10h44'	786 10h10'
Windstrau bei vorausberedn. HW (cm)	310	240	250	220	240	260	240	310	280	280	270	280	220	210	160	
Max. Wind- strau (cm)	400	280	280	320	322	310	340	360	310	280	420	379	355	301	320	
NW-Zeit	5h00'	4h00'	4h00'	3h30'	3h30'	5h45'	6h30'	4h00'	5h00'	4h30'	5h40'	4h15'	4h20'	4h00'	3h41'	2h15'
Steigdauer	6h30'	7h25'	7h30'	7h45'	7h30'	6h15'	6h45'	7h15'	7h00'	7h00'	6h35'	6h15'	6h20'	6h30'	7h03'	7h55'
NW (eingetr.)	468	526	512	498	492	518	532	498	532	518	510	480	472	462	475	482
Tidestieg (cm)	507	300	332	352	382	338	376	432	368	382	428	470	434	399	392	304
Max. Steig- geschwindigkeit (cm/h)	108	76	58	72	72	84	86	90	68	82	90	105	105	85	80	56
Mitrl. Steig- geschwindigkeit (cm/h)	78	41	44	42	51	54	56	60	53	55	66	75	69	60	57	36
Stärke u. Rich- tung d. Windes bei HHW	10 W	10 W	10 W	10 W	10 W	10 W	10 W	10 W	10 W	10 W	10 W	10 W	10 W	10 W	10 W	10 W
Stärke u. Rich- tung d. Windes 6 Std. vor HHW	8 WSW	8 WSW	8 WSW	8 WSW	8 WSW	9 WSW	9 WSW	8 WSW	9 WSW	8 WSW	9 WSW	8 WSW				
Dauer d. Winde (> 15 m/s) aus westl. Richtung vor HHW	5 Std.	5 Std.	5 $\frac{1}{2}$ Std.	5 Std.	5 Std.	6 Std.	7 Std.	5 Std.	5 Std.	5 Std.	5 Std.	6 Std.				

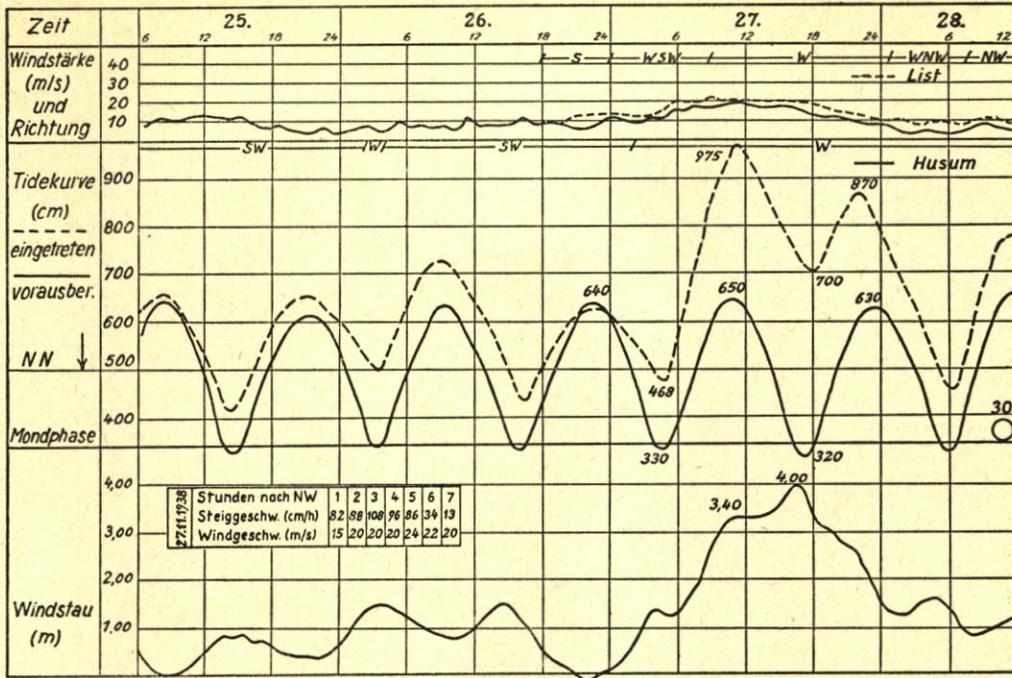


Abb. 36. Sturmflut am 27. Oktober 1936. Pegelstation Husum

12. Sturmflut am 24. November 1938

Diese zum Jütlandtyp gehörende Sturmflut hat für zahlreiche Orte der Küste Wasserstände geliefert, die als die bisher höchsten gelten. Sie ähnelt der Februarflut 1949. Beide Fluten waren kurz, aber sehr heftig, haben große Windgeschwindigkeiten (1938 = 26 m/s, 1949 = 30 m/s) und damit sehr hohe Windstau aufzuweisen.

Die Wetterlage am 24. 11. 1938 (Abb. 37) gehört zu den Seltenheiten an unserer Küste. Das Tief bildete sich wie am 9. 2. 49 über Irland und Mittelengland, um dann in nordöstlicher Richtung nach Süd-Norwegen zu wandern. Dabei fiel der Luftdruck bis auf 982 mb ab.

Der Wind in Büsum begann am 23. 11. von SW auf W zu drehen, um dann gegen 18^h bei Süd zu West auf 18 m/s im Mittel mit Böen von 23 m/s aufzufrischen. Das Maximum wurde gegen 24^h bei Westsüdwestrichtung mit 22 m/s im Mittel und 27 m/s in Böen erreicht (Abb. 38).

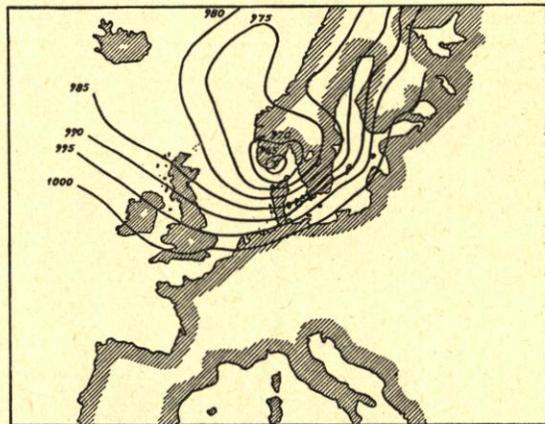


Abb. 37. Wetterkarte 24. November 1938 (Isobaren in mb)

Von diesem Zeitpunkt ab flaute der Wind bei gleichbleibender Richtung aus SW langsam ab. Der Windmesser in List zeigte ab 23. 11. 6^h ein stetiges Ansteigen der Geschwindigkeiten und registrierte gegen 24^h die größte Geschwindigkeit mit 26 m/s im Mittel. Die Windstärke ist hiernach im Nordbezirk noch größer gewesen als südlich von Eiderstedt. Die Windangaben

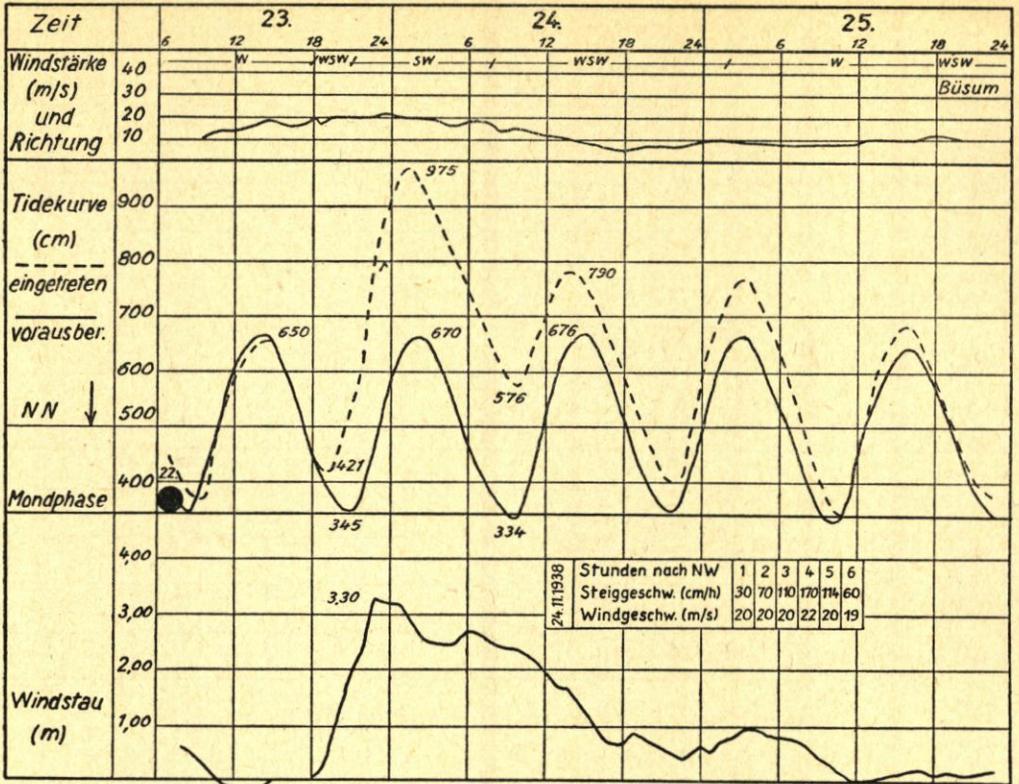


Abb. 38. Sturmflut am 24. November 1938. Pegelstation Tönning

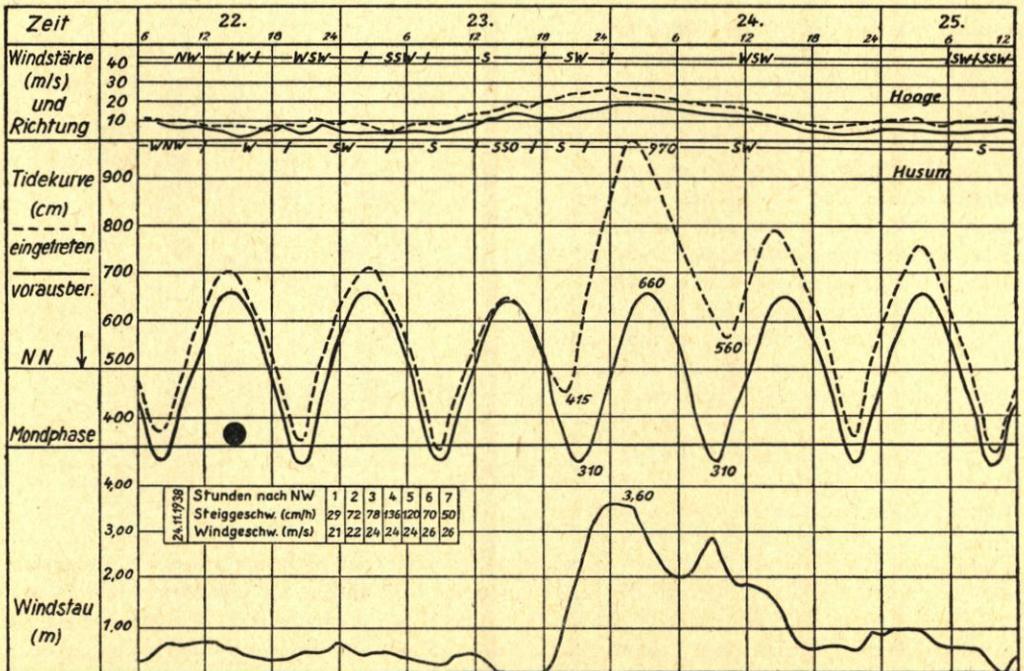


Abb. 39. Sturmflut am 24. November 1938. Pegelstation Husum

für Husum sind infolge des derzeitigen mangelhaften Windmessers zu gering, aber die Kurve verläuft etwa wie die für Hooge. Deutlich zum Ausdruck kommt die den Jütlandtyp kennzeichnende kurze Süd- bis Südostwindlage vor dem HHW, die bei allen Pegeln der Westküste ein normales HW am 23. 11. um 15^h eintreten läßt. Aber bereits das folgende NW ist rund 1,0 m erhöht, obgleich noch bis 17^h bzw. 18^h Südwind herrschte, und es tritt auch eineinhalb bis zwei Stunden früher als vorausberechnet ein. Der anschließende starke Wasseranstieg (maximale Steiggeschwindigkeit in Husum 136 cm/h, in Tönning 170 cm/h) bewirkte in zwei Stunden eine Wasserstandserhöhung von 2,56 m in Husum (1825 nur 1,88 m) und 2,84 m in Tönning (Abb. 38 und 39). Das ist der bisher an der Westküste beobachtete Höchstwert. Auch die mittleren Steiggeschwindigkeiten erreichten mit 83 cm/h für Husum und 91 cm/h für Tönning sehr hohe Werte, die von keiner anderen Flut an der Westküste übertroffen wurden (Tab. 10).

Die noch stets zunehmenden Südwestwinde erzeugten mit dem gleichzeitigen Flutstrom die schon erwähnten sehr hohen Wasserstände. Während im allgemeinen an der Westküste die höchsten Sturmflutwasserstände in Husum auftreten, ist bei dieser Flut der Höchststand in Tönning mit 975 cm a. P. = 4,75 m NN gemeldet worden. Der Grund liegt im Zusatzstau der Eiderbucht bei Südwestwinden. Der Tidestieg erreichte den Höchstwert mit 5,55 m in Husum, gefolgt von Tönning mit 5,54 m und Büsum mit 5,26 m. Im Gegensatz zum Nordbezirk, wo die bisher höchsten Wasserstände auftraten, blieb das HHW vor der Dithmarscher Küste etwa 3 bis 4 Dezimeter unter den Werten vom 18. 10. 1936. Als glücklicher Umstand ist zu bewerten, daß der Wind eineinhalb bis zwei Stunden vor dem vorausberechneten HW nachließ und das Wasser dadurch sofort stark fiel.

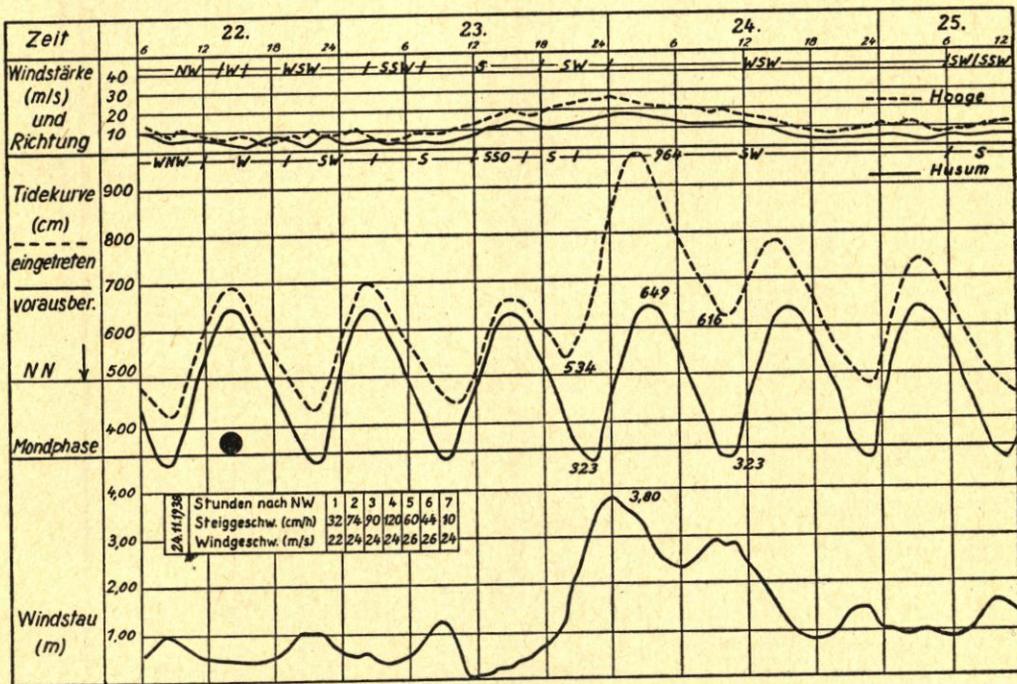


Abb. 40. Sturmflut am 24. November 1938. Pegelstation Bongsiel

Im Verlauf der Pegelkurve ähnelt die Flut von 1938 der vom 27. 10. 1936. Bei beiden Fluten ist das dem HHW vorausgehende HW normal bzw. etwas unterschritten und das NW um 1,00—1,40 m erhöht eingetreten. Der maximale Windstau von 3,60 bzw. 4,00 m fiel fast mit der vorausberechneten HW-Zeit zusammen, und Windrichtung und -stärken waren ebenfalls ähnlich. Nur fiel die Flut 1938 in die Springzeit (Neumond am 22. 11.), und das

vorausberechnete HW lag 10 cm höher als 1936. Die Flutwirkung war stärker (vorausberechneter Tidehub am 27. 10. 1936 = 3,20 m, am 23. 11. 1938 = 3,50 m). Wenn trotzdem das Wasser in Husum bei dieser Flut um 5 cm niedriger aufgelaufen ist als 1936, so liegt dies wahrscheinlich an den mehr südlich als westlich gerichteten Winden. Die übrigen Pegel an der Festlandsküste zeigen außergewöhnlich hohe Wasserstände. Durch die von Südwesten nach Nordosten verlaufenden Wattströme Norder-Hever und Norder-Aue gelangen bei südwestlichen Winden sehr große Wassermengen in das nordfriesische Wattenmeer und werden von den Festlandsdeichen und zwischen den Dämmen angestaut. So ist es z. B. zu erklären, daß am Pegel Bongsiel (Abb. 40), der am Ausläufer der Norder-Hever liegt, die Wasserstände bei der Flut 1938 infolge südwestlicher Winde höher aufgelaufen sind als bei den Fluten 1936. Dasselbe gilt für den Pegel Strand, der seinerzeit zwischen Habel und Hamburger Hallig errichtet war, und für den Pegel Südwesthörn. Für die Pegelorte der Westküste gibt es jeweils eine bestimmte, ungünstige Windrichtung, die die höchsten Sturmflutwasserstände erzeugt (z. B. Husum: Westwind, Tönning: Südwestwind).

13. Sturmflut am 9./10. Februar 1949

Die Wetterlage ähnelt der des Jahres 1938 (Abb. 41—44). Am 8. 2. 1949 deutete der Wetterbericht des Meteorologischen Amtes für Nordwestdeutschland bereits an, daß sich außer

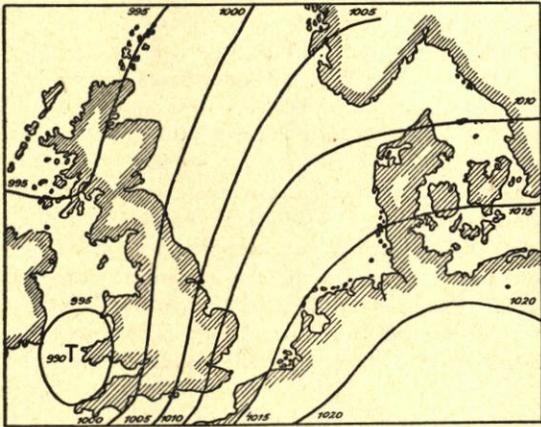


Abb. 41. Wetterkarte 9. Februar 1949, 7^h
(Isobaren in mb)

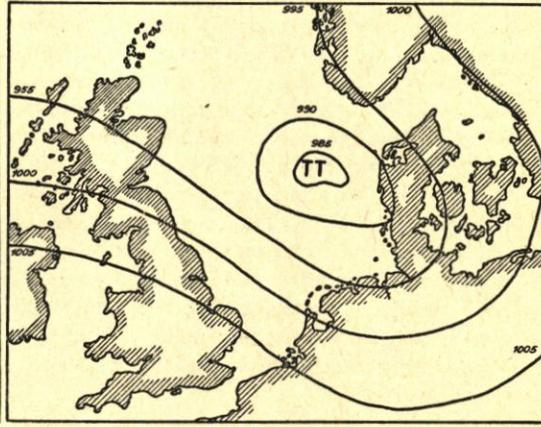


Abb. 42. Wetterkarte 9. Februar 1949, 19^h
(Isobaren in mb)

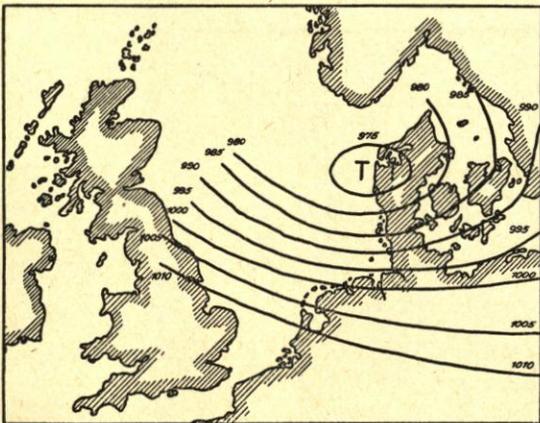


Abb. 43. Wetterkarte 10. Februar 1949, 1^h
(Isobaren in mb)

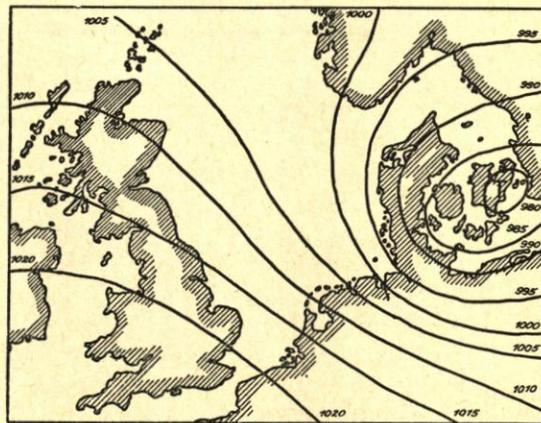


Abb. 44. Wetterkarte 10. Februar 1949, 7^h
(Isobaren in mb)

dem starken Tief über Island eine neue Zyklone bei den Azoren bildete, die schnell in Richtung auf Südengland zog und sich rasch vertiefte. Am 9. 2. morgens hatte sich schon ein Sturmtief mit 990 mb über Südengland entwickelt mit Zugrichtung auf Dänemark und Südschweden. Um 18^h erreichte es die westliche Nordsee und vertiefte sich rasch auf 975 mb. Es zog in gleicher Richtung weiter, bis es gegen 21^h unter gleichzeitiger Vertiefung auf 970 mb fast vier Stunden lang vor der jütländischen Küste liegen blieb. Erst gegen 1^h am 10. 2. setzte es seine Bahn nach NO fort und befand sich um 6^h bereits über Südschweden. Die Geschwindigkeit, mit der das Kerntief die Nordsee überquerte, betrug rund 80 km/h. Etwa 200 km vor der jütländischen Küste verringerte es seine Geschwindigkeit auf rund 20 km/h.

Die Winde am 9. 2. wehten seit 12^h aus südlicher und südöstlicher Richtung, drehten aber um 18^h über SW auf WSW bis W und frischten bis 3^h am 10. 2. im Nordbezirk (im Süden Eiderstedts bis 5^h) auf Sturmstärke auf. Die Windmesser List, Wyk, Hallig Hooge und Büsum zeigten zur Zeit des stärksten Sturmes mittlere Windgeschwindigkeiten von 24—32 m/s, die sich in Böen bis zu 45 m/s steigerten. In der kurzen Zeit von etwa 21^h30' am 9. bis 1^h30' am 10. erhöhte sich die mittlere Windgeschwindigkeit in Hooge bei reinem Westwind von 20 m/s auf rund 30 m/s. Diese hohen, bisher an der Westküste noch nicht gemessenen mittleren Windgeschwindigkeiten traten ein, als das Kerntief vor der jütländischen Küste festlag. Die Winddauer mit Geschwindigkeiten über 15 m/s betrug bei Winden aus SW, WSW und W in Husum etwa acht Stunden. Erst rund dreieinhalb Stunden vor dem vorausberechneten HW setzte stärkerer Sturm ein, so daß die Flutwirkung nicht mehr lange die Windwirkung unterstützen konnte. Der Windmesser in Büsum registrierte die mittlere Windgeschwindigkeit von rund 30—32 m/s etwa drei Stunden lang von 2^h bis 5^h am 10. 2., während in Hooge die maximale Windgeschwindigkeit nur etwa eine Stunde lang von 1^h45' bis 2^h45' mit rund 30 m/s angezeigt wurde. In Cuxhaven ist bereits am 9. 2. um 24^h die höchste Windgeschwindigkeit mit 20,6 m/s aus WSW bis 1^h am 10. 2. eingetreten.

Für die Wirkung des Windes auf den Wasserstand ist die Steiggeschwindigkeit ein gutes Kriterium (Abb. 55). Die maximale Steiggeschwindigkeit betrug am Husumer Pegel 86 cm/h und südlich von Eiderstedt am Pegel Tönning sogar 105 cm/h. Die entsprechenden Werte für Büsum und Meldorf sind 95 und 108 cm/h. Vergleichsweise sei erwähnt, daß die größte Steiggeschwindigkeit bei der Ostsee-Sturmflut 1872 nur 21 cm/h betrug, weil hier allein der Wind den Anstieg bewirkte. Sehr deutlich kommt der große Einfluß der Tide (Ebbewirkung) beim Vergleich der Steiggeschwindigkeit mit der sich ab 20^h ständig steigenden Windgeschwindigkeit zum Ausdruck:

Tabelle 11

Windgeschwindigkeit und Steiggeschwindigkeit am 9./10. 2. 1949

Uhrzeit	Windgeschwindigkeit Hooge (m/s)	Steiggeschwindigkeit a. P. Husum (cm/h)
20—21 ^h	17	86 (Flut)
21—22 ^h	20	70 (Flut)
22—23 ^h	23	75 (Ebbe)
23—24 ^h	26	60 (Ebbe)
24—01 ^h	27	35 (Ebbe)
01—02 ^h	30	20 (Ebbe)
02—03 ^h	30	20 (Ebbe)

Etwa zwei Stunden nach dem vorausberechneten HW macht sich die Ebbewirkung bereits bemerkbar und verursacht eine ausgeprägte Abflachung der Sturmflutkurve. Die Steiggeschwindigkeit nimmt trotz des stark auffrischenden Windes kräftig ab. In den letzten beiden Stunden des stärksten Orkans (30 m/s) steigt das Wasser nur noch 40 cm und entspricht damit den in der Ostsee 1872 ohne Tideeinfluß gemessenen Werten.

Nachdem am 9. 2. um etwa 22^h in Husum das vorausberechnete HW erreicht war, stieg das Wasser noch rund fünfeinhalb Stunden um 2,70 m bis auf 909 cm a. P. = 4,09 m NN. Der Tidesstieg betrug 5,85 m (Mittel für Husum = 3,32 m) und erreichte damit den bisher beobachteten Höchstwert (Abb. 45).

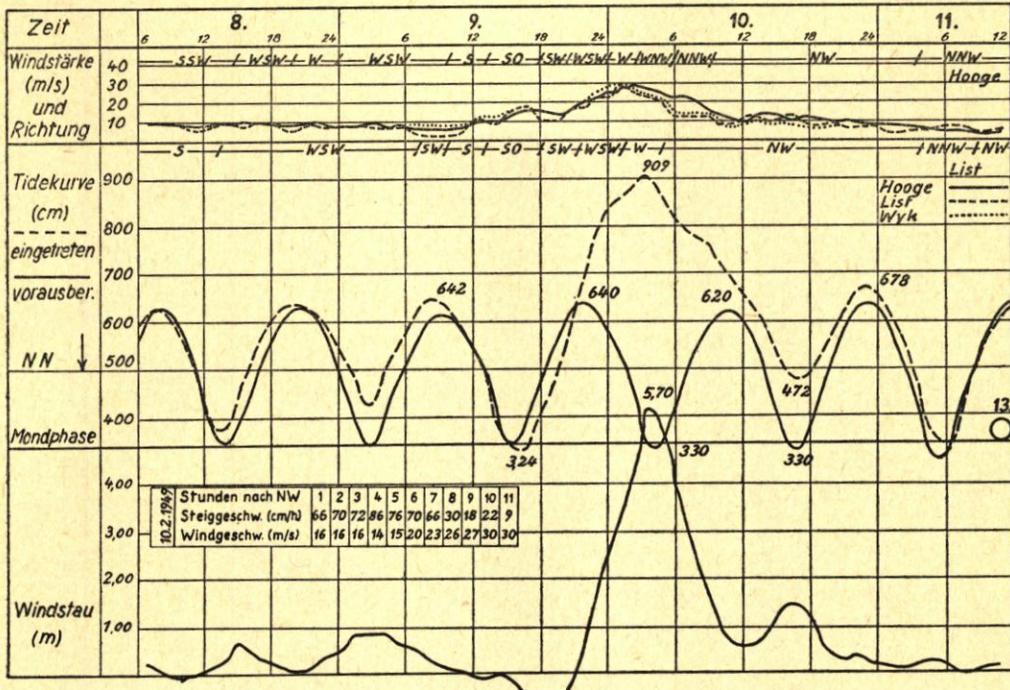


Abb. 45. Sturmflut am 10. Februar 1949. Pegelstation Husum

Für die Messstellen List, Husum und Büsum sind auch die Luftdruckwerte bekannt. In Husum fiel der Luftdruck vom 9. 2. 12^h zum 10. 2. 2^h von 1010 mb auf 984 mb ab, d. h. in rund vierzehn Stunden um 26 mb. In Büsum wurde der Tiefstand am 10. um 2^h mit 989 mb registriert, während in List um dieselbe Zeit 981,2 mb gemessen wurden. Hier fiel der Luftdruck in vierzehn Stunden um 31 mb. Der Kern des Sturmtiefs zog etwas nördlich der Insel Sylt vorbei und vertiefte sich am 10. 2. noch auf 975 mb (Abb. 43).

Der Sturmflutverlauf wurde an der Westküste durch selbstschreibende Pegel an zwölf Beobachtungsstellen einwandfrei aufgezeichnet. Zum Vergleich wurde der Pegel Cuxhaven in die Untersuchung einbezogen, während Helgoland infolge Zerstörung des Pegels leider ausfallen mußte. Auch die an der Westküste errichteten Windmeßgeräte List, Wyk, Hooge und Büsum haben einwandfrei gearbeitet. Die Hauptwerte der einzelnen Pegelstationen sind in Tabelle 2 zusammengestellt worden.

Die Sturmflut ist weniger wegen ihrer Wasserstände, als wegen ihres absonderlichen Verlaufes von Interesse. Während man im allgemeinen bei den schweren Sturmfluten in der Nordsee eine Vorflut mit einer oft wesentlichen Anspannung des Wasserspiegels feststellen kann, erreichte am 9. 2. 1949 das der Sturmflut vorangehende HW noch nicht einmal die Höhe des MThw. Auch die sonst übliche Nachflut ist nur schwach ausgebildet. Es trat der an der Westküste seltene Fall ein, daß sich in 24 Stunden nur je ein HW und ein NW einstellten. Nur die Sturmflutkurven in Büsum (Abb. 46) und Cuxhaven (Abb. 47) weisen noch zwei erkennbare HW auf. Bei einigen früheren Sturmfluten trat wohl eine ein- bis zweistündige Verschiebung des HW auf, aber nicht, wie in diesem Falle, eine Verspätung des voraus-

Tabelle 12
Sturmflut am 9./10. Februar 1949

Pegelstation	Husum	Arlau-Schleuse	Bongsiel	Tümmmlauer Bucht	Dagebüll	Wyk	Wittdün	Hörnum	List	Tönning	Büsum	Cuxhaven	Meldorf
MHW	645	637	633	618	609	606	598	573	564	652	644	638	657
MNHW	313	—	380	—	355	350	364	398	405	335	328	348	329
HW (vorausb.)	640	635	632	621	614	612	606	580	580	630	650	600	—
Zeit (vorausb.)	22h06'	22h12'	22h12'	21h10'	22h22'	22h11'	21h32'	22h45'	22h47'	22h10'	21h00'	21h15'	—
HW (eingetr.)	909	883	864	836	820	806	750	758	738	865	800	792	870
Zeit (eingetr.)	3h35'	3h50'	3h10'	1h30'	2h30'	2h30'	2h00'	2h15'	2h30'	2h30'	6h10'	7h40'	3h00'
Windstrau bei vorausberdn.													
HW (cm)	70	—	50	80	20	30	20	60	20	20	—	30	—
Max. Windstrau (cm)	570	530	460	300	370	400	350	320	260	508	457	410	—
NW-Zeit	16h45'	16h50'	18h00'	—	17h15'	17h00'	16h00'	16h45'	17h30'	16h40'	14h00'	16h40'	16h45'
Steigdauer	10h50'	11h00'	9h10'	—	9h45'	9h30'	10h00'	9h30'	9h00'	9h50'	15h30'	15h00'	10h15'
NW (eingetr.)	324	338	425	—	345	364	382	400	396	340	348	355	325
Tidestieg (cm)	585	545	439	—	475	442	368	358	342	520	452	437	545
Max. Steiggeschwindigkeit (cm/h)	86	80	88	—	70	70	69	64	62	105	95	87	108
Mittl. Steiggeschwindigkeit (cm/h)	54	50	48	—	48	47	37	38	38	53	29	17	53
Stärke u. Richtung d. Windes bei HHW	12 W	11 W	12 W	12 W	12 W	12 W	12 W	12 W	12 W	12 W	12 W	10 NW	12 W
Stärke u. Richtung d. Windes vor HHW	9 SW	9 SW	9 SW	8 SW	8 SW	8 SW	8 SW	8 SW	8 SW	10 SW	10 SW	12 W	10 SW
Dauer d. Windes (> 15 m/s) aus westl. Richtung vor HHW	8 Std.	9 Std.	8 Std.	7 Std.	8 Std.	8 Std.	7 ¹ / ₂ Std.	7 Std.	8 Std.	8 Std.	11 Std.	13 Std.	8 Std.

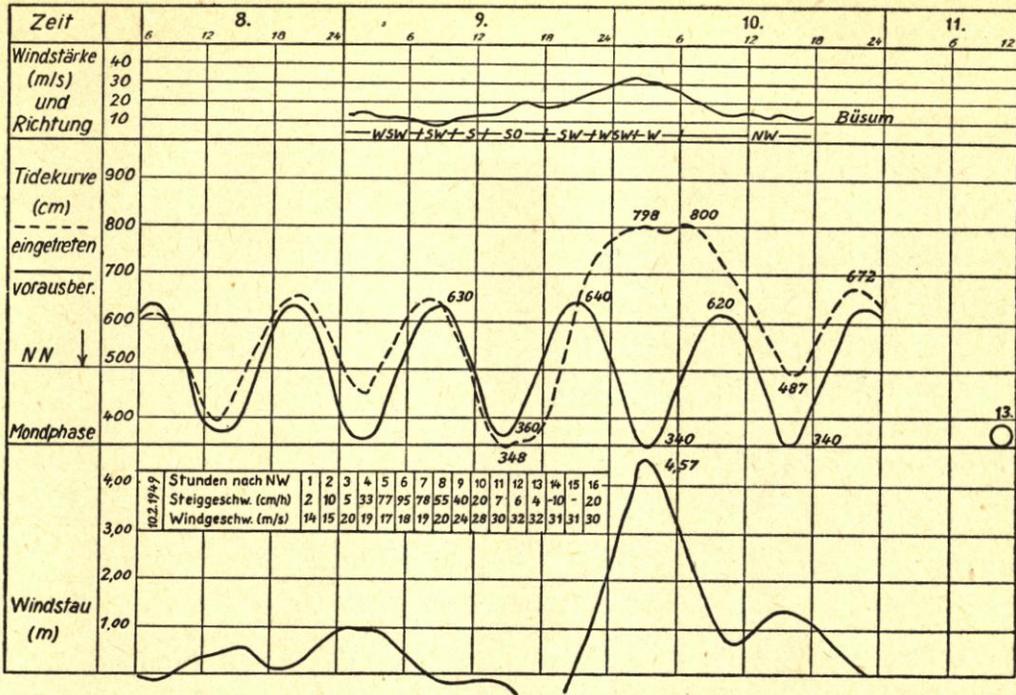


Abb. 46. Sturmflut am 10. Februar 1949. Pegelstation Buisum

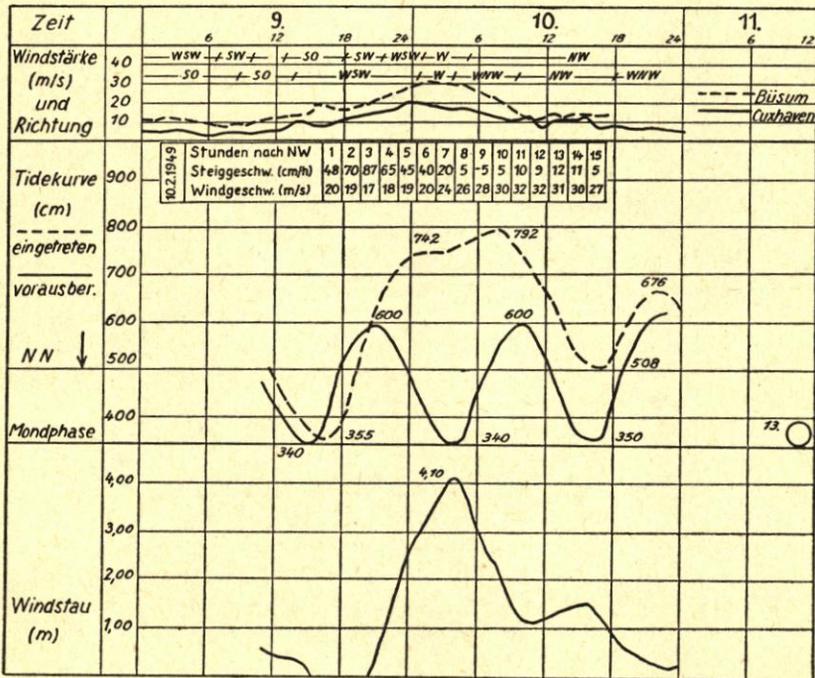


Abb. 47. Sturmflut am 10. Februar 1949. Pegelstation Cuxhaven

berechneten HW von fünfdreiviertel Stunden bis fast zum nächstfolgenden NW. Infolge der südöstlichen Winde zur NW-Zeit (Jütlandtyp!) zeigen alle Pegelkurven am 9./10. 2. 1949 eine Erniedrigung und Verspätung des vorausberechneten NW. Es folgt dann der für die Nordseesturmfluten typische steile Anstieg des Flutastes, der im oberen Teil etwa zwei Stunden nach vorausberechnetem HW eine merkliche Abflachung infolge der Ebbewirkung erfährt. Die Verspätung des HW ist bei allen Pegelstationen ziemlich einheitlich. Nur bei den seewärts liegenden Stationen (Wyk, Wittdün, Hörnum, List) ergibt sich eine etwas geringere Verspätung von etwa vier Stunden. Das astronomische zweite NW am 10. 2. ist bei den Pegeln nördlich Eiderstedts nur durch einen leichten Knick im abfallenden Ast der Sturmflutkurve erkennbar (Abb. 48). Die Pegel südlich von Eiderstedt dagegen geben das astronomische NW vom 10. 2. deutlicher an. Die Büsumer Kurve weist sogar ein zweites, etwas höheres HW auf.

Der Wind hatte in List und Wyk bereits gegen 1^h seine größte Geschwindigkeit erreicht, die bis kurz vor 3^h anhielt, um dann stark nachzulassen. Auch Hooge zeigt diese Windverhältnisse. In Büsum dagegen trat die Höchstgeschwindigkeit erst um 2^h ein und hielt sich dann bis etwa 5^h am 10. 2. Hierdurch entstanden südlich von Eiderstedt breitere Scheitel der Flutkurven. Sobald der Wind um 5^h nachließ, fiel auch hier das Wasser gleichmäßig ab. Nur in Büsum setzte dieses Fallen etwa eineinhalb Stunden später ein. Daraus ergab sich in Büsum der interessante Fall, daß sich zwei HW infolge Verspätung des ersten HW und Verfrühung des zweiten HW bis auf dreieinviertel Stunden nähern. Das um 3^h einsetzende leichte Fallen des Wassers bei gleichbleibenden Windstärken hat seine Ursache in der Ebbewirkung, während in dem folgenden Anstieg die Flutwirkung noch schwach zum Ausdruck kommt. Noch ausgeprägter als bei Büsum erscheint das zweite HW bei Cuxhaven. Nach dem ersten HW, das nur einige Stunden verspätet eintrat, verharrte das Wasser hier ähnlich wie bei der Sturmflut am 22./23. 12. 1894 einige Stunden fast in gleicher Höhe (das NW ist nur leicht angedeutet), um dann mit einsetzender Flut nochmals um etwa 50 cm bis zum HHW anzusteigen. Auch hier trat das HW einige Stunden früher als vorausberechnet ein. Eine Erklärung hierfür gibt das Winddiagramm des Windmessers Cuxhaven. Während in Büsum das Maximum der Windgeschwindigkeit um 2^h mit 32 m/s auftrat und zu dieser Zeit reiner Westwind herrschte, war in Cuxhaven bereits um 23^h30' am 9. 2. die höchste Windgeschwindigkeit erreicht. Sie betrug hier nur noch 20,6 m/s. Ab 1^h am 10. 2. fiel die Windgeschwindigkeit stetig ab, hielt sich aber noch bis 7^h über 15 m/s.

Die Windrichtung wurde von allen vier Windmessern an der Westküste ziemlich gleichlaufend aufgezeichnet. Nach anfänglichen Südostwinden zur NW-Zeit drehte der Wind zwischen 18^h und 19^h nach SW und gegen Mitternacht auf W. Die weitere Rechtsdrehung nach NW erfolgte dann in Hooge und List zwischen 4^h und 5^h. Auch in Büsum setzte die Drehung nach NW am 10. 2. um 5^h ein. Cuxhaven zeigte die Rechtsdrehung auf WNW bereits um 4^h, wodurch sich das zweite HW noch 50 cm über den ersten Stand erheben konnte. Dieser Einfluß machte sich noch bis Büsum bemerkbar, wo das zweite HW um 2 cm höher auflief (Abb. 46).

Da infolge Verspätung des HW das HHW fast mit dem vorausberechneten NW zusammenfiel, ergab sich ein sehr hoher Windstau über NW. Husum erreichte den bisher einmaligen Höchstwert von 5,70 m (Tab. 12). Es folgten Arlauschleuse mit 5,30 m, Tönning mit 5,08 m, Bongsiel mit 4,60 m, Büsum mit 4,57 m und Wyk mit 4,00 m. Trotzdem erreichte das HHW keine außergewöhnliche Höhe (Husum 909 cm a. P. = 4,09 m NN), weil infolge Verspätung des vorausgehenden NW zur vorausberechneten HW-Zeit kaum ein Windstau eingetreten war. Diesem glücklichen Umstand ist es zu verdanken, daß das HHW maximal nur 2,64 m über MThw betrug. Der an Stärke zunehmende Wind war etwa zwei Stunden nach dem vorausberechneten HW nicht mehr imstande, den Wasseranstieg im gleichen Maße zu bewirken. Die Ebbewirkung setzte sich mehr und mehr durch und verursachte die Abflachung der Sturmflutkurve, wie es besonders beim Pegel Büsum zum Ausdruck kommt.

Verhältnismäßig hohe Wasserstände hat bei dieser Sturmflut die Husumer Bucht aufzuweisen. Es bestätigt sich wieder, daß für dieses Gebiet diejenigen Fluten besonders gefährlich sind, bei denen kurz vor dem HW stürmische westliche Winde rasch von SW über W nach

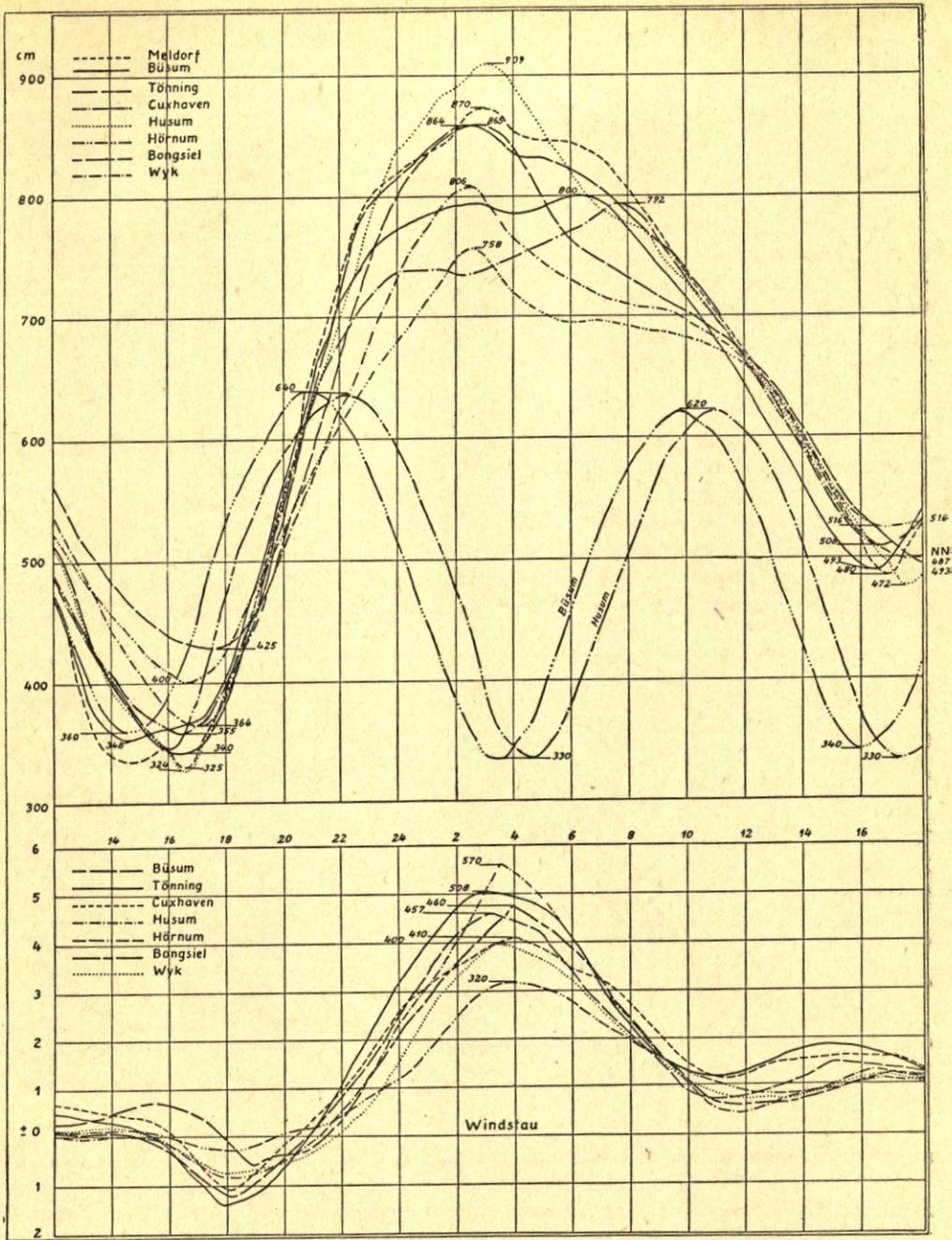


Abb. 48. Tidekurven während der Sturmflut am 9./10. Februar 1949
 (Die beiden unteren Kurven im oberen Diagramm stellen mittlere Tidekurven von Büsum und Husum dar)

NW drehen. Die Verzögerung des Sturmtiefs vor der jütländischen Küste in der Nacht vom 9. zum 10. ist als Ursache für die plötzlich mit orkanartiger Stärke auftretenden Winde und ihre spätere Rechtsdrehung anzusehen. Als weitere Ursache für die hohen Wasserstände in der

Husumer Bucht sind neben der buchtenreichen, durch Dämme und Inseln eingeengten Küste die nach Südwesten und Westen verlaufenden großen und tiefen Wattströme anzuführen. Alle Bedingungen für eine starke Wasseranstauung wären erfüllt gewesen, wenn die Flut in die Springzeit gefallen wäre und der Wind aus SW und W etwa fünf bis sechs Stunden früher in gleicher Stärke eingesetzt hätte.

Nördlich von Hallig Langeness verlief die Sturmflut ganz ähnlich, jedoch waren hier die Wasserstände geringer. In Dagebüll stieg das Wasser z. B. nur bis 820 cm a. P. und blieb damit 89 cm unter dem Husumer Wert. Den Kleinstwert wies der Pegel List mit nur 1,74 m über MThw auf. Südlich von Eiderstedt hatten noch Meldorf und Tönning infolge ihrer nach Westen bzw. Südwesten offenen Lage und der Stauwirkung durch die engen Buchten einen hohen Wasserstand, der aber auch mit 39 bzw. 44 cm unter dem Husumer Maximalwert blieb. Der südliche Teil der Nordsee ist bei dieser Flut wenig in Mitleidenschaft gezogen worden. In Cuxhaven stieg z. B. das Wasser nur 1,92 m über die vorausberechnete Höhe.

14. Sturmflut am 24. und 26. Oktober 1949

Bei Abschluß dieser Arbeit ereigneten sich am 24. und 26. Oktober noch zwei Sturmfluten, die wegen ihrer Besonderheit noch kurz erwähnt werden sollen.

Wetterlage und Zugrichtung des Sturmtiefs sind in den Abbildungen 49 und 50 dargestellt. Die Zugbahnen ähneln sich stark. Am 23. 10. lag das Zentrum des Tiefs südwestlich von Irland, und es entwickelte sich zu einer ausgesprochenen Sturmzyklone, die am 24. 10. in nordöstlicher Richtung die Nordsee mit Richtung auf Südschweden überquerte. Auf der Rückseite des Tiefs mit 980 mb bildete sich über der westlichen Nordsee ein scharfer Trog aus, der

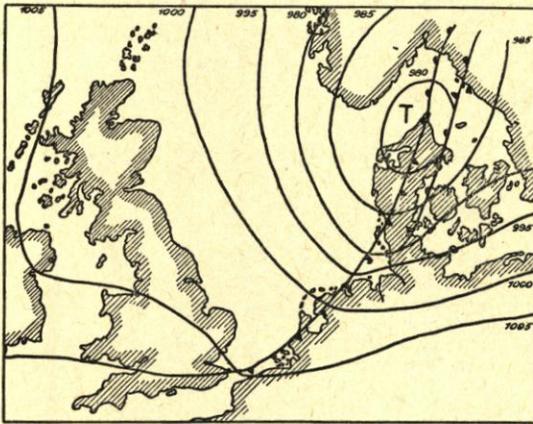


Abb. 49. Wetterkarte 24. Oktober 1949, 13h
(Isobaren in mb)

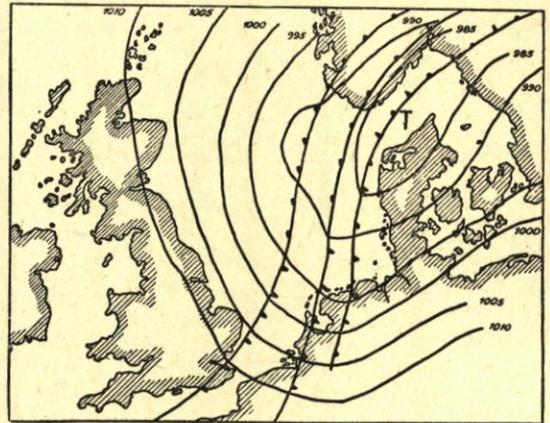


Abb. 50. Wetterkarte 26. Oktober 1949, 19h
(Isobaren in mb)

ostwärts schwenkte und in der südlichen Nordsee zu einem sehr schweren, aber nur kurzen Weststurm führte. Das Sturmtief erreichte den Höhepunkt seiner Entwicklung beim Eintreffen im Skagerrak und verweilte hier unerwartet lange, so daß sich stürmische Winde Stärke 10 aus W bis SW entwickeln konnten.

Ein weiteres Tiefdruckgebiet zog bereits am 24. 10. nördlich der Azoren ostnordostwärts und überquerte am 25. 10. unter kräftiger Vertiefung Südirlund. Am 26. 10. erreichte auch dieses Tief die Nordsee und zog in Nordostrichtung zum Skagerrak. Hierbei entwickelte es ein umfangreiches Sturmfeld mit Südwestwinden in der südlichen Nordsee und vor der Westküste. Beim Eintreffen im Skagerrak hatte das Tief aber bereits den Höhepunkt seiner Entwicklung überschritten. Der nachfolgende Trog, obwohl zum Teiltief entwickelt, schwächte sich auf

seiner Bahn von Südenland über die Doggerbank zum Skagerrak merklich ab. Somit ergab sich an der Westküste eine Winddrehung von SW Stärke 10 auf WNW Stärke 6, während über der westlichen Nordsee noch NW Stärke 10 geweht hatte.

Infolge der starken Winde aus W und WSW (mittl. Windgeschwindigkeit 26 m/s, in Böen laut Windmesser Hooge sogar 35 m/s) zwischen 10^h und 12^h am 24. 10. stieg das Wasser

Tabelle 13
Sturmflut am 24. Oktober 1949

Pegelstation	Husum	Büsum	Tönning	Meldorf
MHW	645	644	652	657
MNW	313	328	335	329
HW (vorausberechnet)	700	700	—	—
Zeit (vorausberechnet)	15 ^h 32'	14 ^h 30'	—	—
HW (eingetreten)	922	900	909	954
Zeit (eingetreten)	13 ^h 40'	12 ^h 50'	12 ^h 40'	13 ^h 15'
Windstau bei vorausberechnetem HW (cm)	100	110	—	—
Max. Windstau (cm)	300	238	—	—
NW-Zeit	9 ^h 50'	9 ^h 10'	9 ^h 20'	9 ^h 12'
Steigdauer	3 ^h 50'	4 ^h 50'	3 ^h 20'	4 ^h 00'
NW (eingetreten)	510	462	514	470
Tidestieg (cm)	412	438	395	484
Max. Steiggeschwindigkeit (cm/h)	170	140	190	150
Mittl. Steiggeschwindigkeit (cm/h)	108	114	119	121
Stärke und Richtung des Windes bei HHW	10 W	9 WSW	9 WSW	9 WSW
Stärke und Richtung des Windes 6 Std. vor HHW	9 WSW	8 SW	8 SW	8 SW
Dauer der Winde (> 15 m/s) aus westl. Richtungen vor HHW	18 Std.	9 Std.	9 Std.	9 Std.

in der zweiten und dritten Stunde nach NW (11^h—13^h) um 2,90 m. Diese Steiggeschwindigkeit ist sonst bei keiner der hier untersuchten Sturmfluten erreicht worden (Höchstwert 1938 für Tönning 284 cm, für Büsum 256 cm in zwei Stunden). Die größte Steiggeschwindigkeit in der Stunde betrug in Husum 170 cm und in Tönning 190 cm. In Meldorf und Büsum betrug die mittlere Steiggeschwindigkeit 121 bzw. 114 cm/h. In Husum erreichte die mittlere Steiggeschwindigkeit mit 108 cm/h ihren bisher höchsten Wert (Tab. 13). Der Tidehub der vorausberechneten Tide betrug rund 4,00 m, weil die Flut gerade in die Springzeit fiel. Wenn der Westsüdwestwind mit Stärke 10 bis zum Eintritt des vorausberechneten HW um 15^h30' angehalten hätte, wäre das Wasser besonders in Husum wahrscheinlich bis zu einer bisher nicht erreichten Höhe aufgelaufen, weil das astronomische HW am 24. 10. nach der Gezeitentafel den Höchstwert von 700 cm a. P. = + 2,00 m NN = 55 cm über MThw aufweist. Glücklicherweise ließ der Wind jedoch etwa zweieinhalb Stunden vor dem vorausberechneten HW um 13^h plötzlich stark nach und, obgleich noch Flut herrschte, fiel das Wasser sofort schnell ab. Folgende HHW-Stände wurden erreicht:

Tabelle 14
HHW am 24. 10. 1949

List	826	cm a. P. = 1,62 m über MThw
Hörnum	776	„ „ = 2,03 „ „ „
Hindenburgdamm-Süd	818	„ „ = 2,18 „ „ „
Wittdün	810	„ „ = 2,28 „ „ „
Südwesthörn	820	„ „ = 2,12 „ „ „
Dagebüll	228	„ „ = 2,19 „ „ „
Wyk/Föhr	826	„ „ = 2,20 „ „ „
Bongsiel	849	„ „ = 2,16 „ „ „
Arlauschleuse	874	„ „ = 2,37 „ „ „
Husum	922	„ „ = 2,77 „ „ „
Pellworm	844	„ „ = 2,24 „ „ „
Tönning	909	„ „ = 2,57 „ „ „
Büsum	900	„ „ = 2,56 „ „ „
Meldorf	954	„ „ = 2,97 „ „ „

Auffällig ist der hohe Wasserstand südlich von Eiderstedt (Tönning, Büsum, Meldorf). Der höchste Wasserstand ist in Meldorf eingetreten, weil der Wind am 23. abends und 24. morgens schon stark (rund 20 m/s) aus SW geweht hat. Der größte Windstau betrug am 24. 10. in Husum 3,00 m und in Büsum 2,38 m (Abb. 51—53).

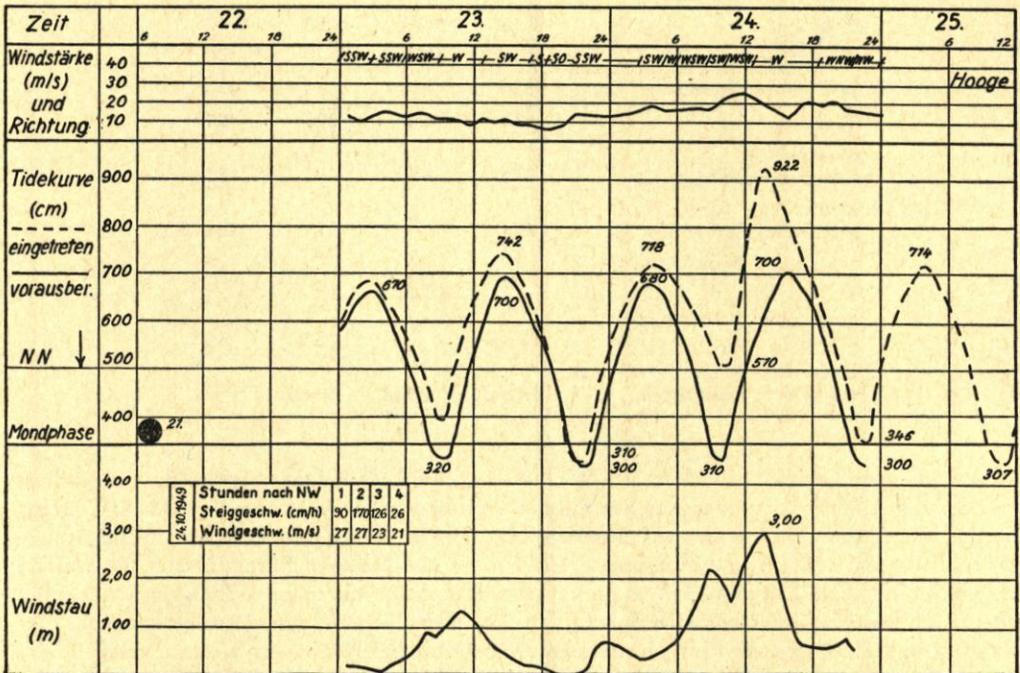


Abb. 51. Sturmflut am 24. Oktober 1949. Pegelstation Husum

Die Sturmflut am 26. 10. erreichte bei starken Südwestwinden mit mittleren Geschwindigkeiten von 26 m/s und Böen von 34 m/s an der Westküste nicht die Höhe der Flut vom 24. 10. Nur südlich des Hindenburgdammes wurde der Wasserstand infolge der starken Südsüdwest- bis Südwestwinde bis zur Höhe von 840 cm a. P. = 2,40 m über MThw angespannt, während in

Husum das Wasser nur 1,49 m über MThw stieg. Auch diese Flut ist ein typisches Beispiel für die enge Abhängigkeit des örtlichen Windstaus von der für den Pegelort ungünstigsten Windrichtung. Der Windmesser in Husum zeigte von 10^h bis 18^h (Eintritt des HHW) nur Windstärken zwischen 6 und 7 Bft aus SSW und SW, desgleichen der Windmesser in List, obgleich

Tabelle 15
HHW am 26. 10. 1949

Hindenburgdamm-Süd	840 cm a. P. = 2,40 m über MThw
Südwesthörn	818 " " = 2,10 " " "
Dagebüll	797 " " = 1,86 " " "
Oland	800 " " = 1,92 " " "
Bongsiel	820 " " = 1,87 " " "
Hörnum	747 " " = 1,74 " " "
Arlauschleuse	790 " " = 1,53 " " "
Husum	792 " " = 1,47 " " "
Pellworm	764 " " = 1,44 " " "
Wittdün	740 " " = 1,42 " " "

hier zwischen 16^h und 18^h infolge starker Böen bis Stärke 11 die mittlere Windstärke zeitweilig auf 9 anstieg. Hooge dagegen zeigte ab 11^h bis 16^h Windstärke 9 und von 17^h bis 21^h Windstärke 10 und 11 aus SW. Vor 9^h wehte der Wind hier aus SSW. Hiernach ergibt sich, daß es sich um ein örtlich eng begrenztes Druckfallgebiet handelte, das nach Angabe der

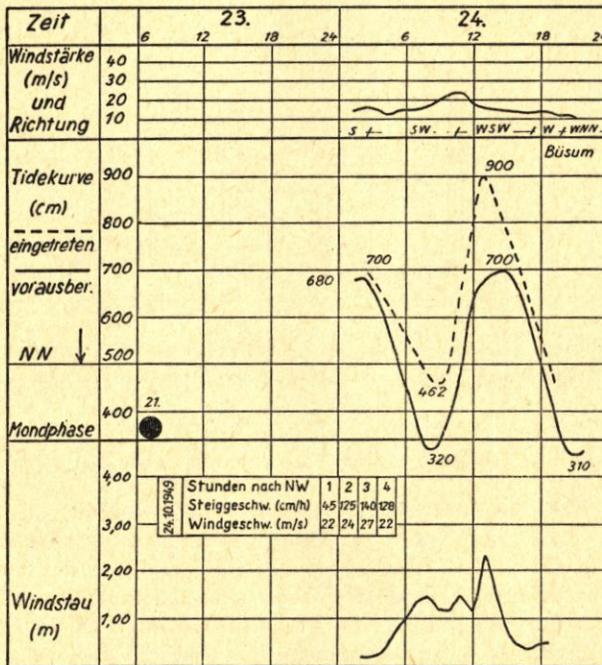


Abb. 52. Sturmflut am 24. Oktober 1949. Pegelstation Büssum

meteorologischen Station in Husum auch eine Gradientenverschärfung gegenüber Husum aufweist. Die besondere Windwirkung im nordfriesischen Wattenmeer, etwa im Raume zwischen Oland, Bongsiel, Südwesthörn und dem Hindenburgdamm, kommt ebenfalls deutlich in den eingetretenen Wasserständen zum Ausdruck (Tabelle 15).

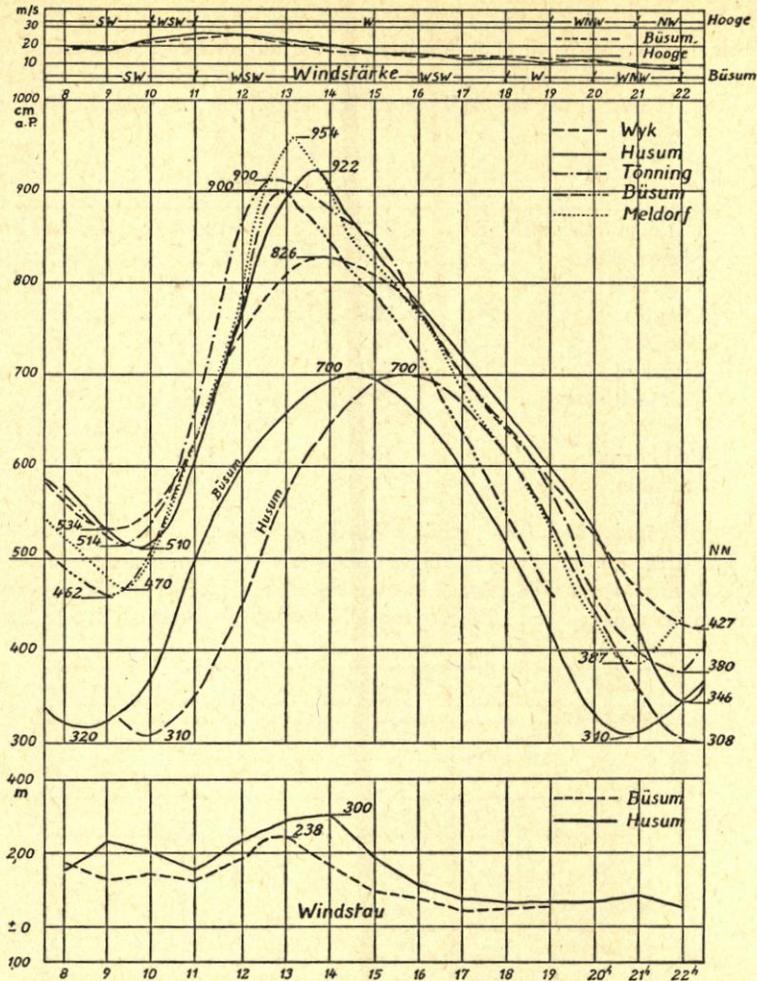


Abb. 53. Tidekurven während der Sturmflut am 24. Oktober 1949
(Kurve „Büsum“ und Kurve „Husum“ sind mittlere Tidekurven)

2. Teil. Vergleich und Auswertung der Sturmfluten

Wenn der Pegel Husum trotz seiner eingegengten Lage am Ende eines Wattstromes diesen Untersuchungen zugrunde gelegt wurde, so waren hierfür in erster Linie die seit 1906 lückenlosen Schreibpegelaufzeichnungen ausschlaggebend. Daß am Pegel Husum auch mit seltenen und geringfügigen Ausnahmen die höchsten Wasserstände auftreten, ist in praktischer Hinsicht vorteilhaft. Dies hat sich auch bei den Windstau-Untersuchungen nicht störend bemerkbar gemacht, weil der Zusatzstau gegenüber den übrigen Pegelstationen ausreichend bekannt ist (Tab. 16). Er beträgt bei Sturmflut an der freien Westküste im Höchsthalle bis zu 1,43 m (List).

A. Sturmflutverlauf und -dauer

Im allgemeinen kann bei den Nordseefluten eine Vorflutbewegung, die eigentliche Sturmflutperiode und eine Nachflut beobachtet werden. Der Sturm verursacht häufig mehr als einen, seltener mehr als zwei Hochwassergipfel, aber in der Regel nur einen von besonderer Höhe

Tabelle 16
Zusammenstellung der Sturmfluthöhenunterschiede gegen Husum

Pegelstation	HHW Husum	Arlau- Schleuse	Süderoog	Pellworm	Hooge	Strand	Bongsiel	Wittdün	Wyk	Dagebüll	Hörnum	Südwesthörn	Hindenburg- damm Süd	Hindenburg- damm Nord	List	Tümmelauer Bucht	Tönning	Büsum	Helgoland	Meldorf	Cuxhaven	Trischen
13. 3. 1906	927	—	—	—	—	—	—	—	—	-70 (857)	—	-72 (855)	—	—	-179 (748)	—	—	—	—	—	+9 (936)	—
6. 11. 1911	965	—	—	-45 (920)	-87 (878)	—	—	—	-59 (906)	-93 (872)	—	-60 (905)	—	—	-95 (870)	—	-18 (947)	—	-206 (759)	-116 (849)	—	—
16. 2. 1916	1009	—	—	-49 (960)	-124 (885)	—	—	-131 (878)	-93 (916)	-101 (908)	—	-79 (930)	—	—	-118 (891)	—	-44 (965)	-63 (946)	-225 (784)	—	-99 (910)	—
10. 10. 1926 (1. Flut)	910	—	—	—	—	—	—	—	-85 (850)	-68 (867)	—	-43 (867)	—	—	—	—	+5 (915)	-55 (855)	-215 (695)	—	-129 (781)	—
10. 10. 1926 (2. Flut)	935	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-75 (860)	—	—	—	—	-6 (929)	-20 (915)	-146 (789)	—	-33 (902)	—
12. 10. 1926	920	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-97 (828)	—	—	—	—	-2 (918)	-15 (905)	-147 (773)	+14 (934)	-23 (897)	—
18. 10. 1936	975	—	—	-50 (925)	-89 (886)	-37 (938)	-29 (946)	-121 (854)	-86 (889)	-71 (904)	-138 (837)	-67 (908)	-97 (878)	-79 (896)	-133 (842)	—	-25 (950)	-42 (933)	-145 (830)	-23 (953)	-53 (922)	-65 (910)
27. 10. 1936	975	—	—	-45 (930)	-101 (874)	-45 (930)	-37 (938)	-125 (850)	-91 (884)	-75 (900)	-131 (844)	-75 (900)	-67 (908)	-119 (856)	-149 (826)	—	-25 (950)	-69 (906)	-189 (786)	-25 (950)	-114 (861)	-108 (867)
24. 11. 1938	970	-20 (950)	-94 (876)	-50 (920)	-86 (884)	-24 (946)	-6 (964)	-105 (865)	-64 (906)	-50 (920)	-114 (856)	-43 (927)	-50 (920)	-146 (824)	-158 (812)	-67 (903)	+5 (975)	-76 (894)	-196 (774)	-40 (930)	-120 (850)	-112 (858)
9. 10. 1949	909	-26 (883)	—	—	-114 (795)	—	-45 (864)	-159 (750)	-103 (806)	-89 (820)	-151 (758)	—	-41 (868)	-92 (817)	-171 (738)	-73 (836)	-44 (865)	-109 (800)	—	-39 (870)	-117 (792)	—
24. 10. 1949	922	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-13 (909)	-22 (900)	—	+32 (954)	—	
Mittel bei Sturmflut	—	-23	-94	-48	-100	-35	-29	-128	-83	-77	-134	-63	-64	-109	-143	-70	-17	-52	-194	-30	-107	-95
Δ MThw.	645	-8 (637)	-35 (610)	-25 (620)	-37 (608)	-17 (628)	-12 (633)	-47 (598)	-39 (606)	-36 (609)	-72 (573)	-37 (608)	-45 (600)	-68 (577)	-81 (564)	-27 (618)	+7 (652)	-1	-70 (575)	+12 (657)	-11 (634)	-10 (635)

(vgl. 10./12. 10. 1926 und 13./14. 1. 1916). Eine Sonderstellung nimmt die Sturmflut vom Februar 1949 ein, die zwei HW in sich vereinigte und das dazwischen liegende NW nur sehr verkümmert in Erscheinung treten ließ. Dieser seltene Fall war die Folge äußerst starker westlicher Winde, die in Husum das HW fast sechs Stunden später als vorausberechnet eintreten ließen.

Ein Vergleich der untersuchten Sturmfluten zeigt, daß die Sturmflutperiode an der Westküste Schleswig-Holsteins meistens verhältnismäßig kurz ist, so daß es nur zu einem besonders stark ausgeprägten HW kommt. Wenn der Sturm auch kurzfristig eine außerordentliche Stärke annehmen kann (1894 bis 35 m/s, 1949 bis 32 m/s mittlere Windgeschwindigkeit), so ist er doch nicht andauernd genug, um mehrere außergewöhnlich hohe HW zu erzeugen. Treten infolge besonderer Umstände doch mehrere überhöhte HW nacheinander auf (z. B. 1895), so erreichen sie nicht die gefährlichen Höhen. Wie die bisherige Erfahrung lehrt, sind sechzigstündige Orkane, wie z. B. 1872 in der Ostsee, in der Nordsee nicht wahrscheinlich. Die Bildung der Sturmtiefs in der Nordsee erfolgt im allgemeinen sehr rasch, und die Zuggeschwindigkeit liegt meistens bei 70—100 km/h. Eine gewisse Verlangsamung beim Übergang auf das Festland kann zwar erfolgen (Febr. 1949), führt aber erfahrungsgemäß noch nicht zu Dauerstürmen. Die hier behandelten Sturmfluten (Tab. 17) zeigen folgende Winddauer für die Westwinde mit Windstärken größer als 8 Bft (15 m/s):

Tabelle 17
Dauer des Windes mit Geschwindigkeiten über 15 m/s

Datum	Winddauer > 15 m/s in Stunden	Maximale Windstärke in Bft	Windmesser bzw. Windschätzung in
22./23. 12. 1894	24	10	Hamburg
12. 2. 1894	25	12	Hamburg
5. 12. 1895	15	9	Hamburg
7. 12. 1895	10	9	Hamburg
12. 3. 1906	10	11	Husum
6. 11. 1911	17	11	Husum
16. 2. 1916	12	12	Husum
10. 10. 1926	21	10	Büsum
12. 10. 1926	9	10	Büsum
18. 10. 1936	12	11	List
27. 10. 1936	18	11	List
24. 11. 1938	24	11	Hooge
9./10. 2. 1949	20	12	Hooge

Eine von 1880 bis 1949 reichende Statistik des Deutschen Hydrographischen Instituts bestätigt die Feststellung, daß in dieser Zeit in der Nordsee kein westlicher Sturm von Windstärke 10 und 24stündiger Dauer vorkam. Nach OTTO und BRANDT (28) sind schwere Sturmfluten an zwei aufeinanderfolgenden Tagen auch an der Südküste nur je einmal in den Jahren 1855, 1880, 1895 und 1917 aufgetreten. An der Westküste erzeugten seit 1868 vier Fluten (1906, 1911, 1917, 1925) an zwei aufeinanderfolgenden Tagen einen Windstau von mehr als 2,50 m über MThw und nur neun (1884, 1894, 1895, 1906, 1911, 1917, 1921, 1926, 1936) einen solchen von mehr als 2,00 m. Der Sturm, der vom 5. bis 8. 12. 1895 über drei Tage lang aus W blies, erreichte nur fünfzehn Stunden lang eine Windgeschwindigkeit von mehr als 15 m/s und nur kurzfristig das Maximum von 26 m/s, so daß an der Westküste keine besonders hohen Wasserstände auftraten. Orkanartige Stürme (Windstärke 11—12) dauerten am 24. 1. 1938 nur zwei Stunden, am 9./10. 2. 1949 in Husum fünfeinhalb Stunden, in Büsum acht Stunden und am 24. 10. 1949 in Husum zwei Stunden. Mit Ausnahme böenartiger Windstöße wurden bei den beiden großen Sturmfluten des Jahres 1936 in List, Tönning und Büsum nur Höchstgeschwindigkeiten von 22—24 m/s registriert.

Entscheidend für die Höhe einer Sturmflut ist:

1. ob die ungünstigste Windrichtung zeitlich mit der Gestirnstide so zusammenfällt, daß sich die Wirkungen der Windflut und der Gestirnstide addieren und der größte Windstau etwa zur Zeit des vorausberechneten HW eintritt;
2. ob die vorherrschende Windrichtung einige Stunden vor HHW für den Pegelort die ungünstigste ist und die Winddauer vor HHW bei Stärke 8 und darüber mindestens sechs bis sieben Stunden beträgt;
3. ob die örtlichen Gegebenheiten (Küstenform, Küstenlage, Wassertiefe, Richtung der Wattströme usw.) das Auflaufen der Sturmflutwelle stark begünstigen;
4. ob die Sturmflutperiode in die ungünstigste Springzeit des Jahres fällt.

B. Der Einfluß des Windes auf den Wasserstand

1. Die Beziehung zwischen Windstau und Windrichtung

An der Westküste Schleswig-Holsteins treten die höchsten Wasserstände bei Winden aus SW und W auf. Daß hierbei aber je nach der Windrichtung auch innerhalb der Westküste Unterschiede auftreten können, zeigt die Sturmflut vom 24. 11. 1938 (Tab. 10). Hierbei spielt die Form der Küste und ihre Lage zur Hauptwindrichtung eine wesentliche Rolle. Während im nordfriesischen Wattenmeer die Winde aus SW und WSW den größten Einfluß ausüben, weil die großen Wattströme etwa von SW bzw. WSW nach NO bzw. ONO fließen und die Stauwirkung durch die von O nach W verlaufenden Dämme gefördert wird, liegt die Westküste südlich der Halbinsel Eiderstedt zum Teil schon im Rückstaugebiet der Elbmündung, was sich besonders bei einer Rechtsdrehung der Winde nach NW zur Sturmflutzeit deutlich bemerkbar macht.

Nach den Aufzeichnungen der Wetterdienststelle Helgoland [vergl. BAHR (3)] überwiegen in der Nordsee im 25jährigen Mittel (1889—1913) die Winde aus SW und WSW. Der größte Seegang in der Deutschen Bucht entsteht aber infolge der größeren Streichlänge bei Winden aus W bzw. NW. Bei diesen Windrichtungen treten in der Elbmündung (WNW) und an der ostfriesischen und holländischen Küste (NW) die höchsten Wasserstände auf, weil in der Regel bei diesen Windrichtungen die den HHW vorhergehenden NW bereits stark angespannt sind. An der Westküste dagegen verursachen die Nordwestwinde nur im Zusammenwirken mit den meistens vorher herrschenden West- und Südwestwinden große Wasseranstauungen (Tab. 18). Schon SALCHOW betont in seinem Generalbericht vom 16. 3. 1804 dies „Gesetz der Hauptstürme aus der Nordsee“. Von den in Tabelle 19 zusammengestellten 34 höchsten Sturmfluten an der Westküste seit 1874 weisen etwa ein Drittel diese typische Rechtsdrehung nach Nordwesten im letzten Abschnitt der Sturmflutperiode auf. Ein Blick auf die Wetterkarten zeigt, daß diese Winddrehung meteorologisch bedingt ist. Für die Sturmflutvorhersage ist daher die Zugbahn der Sturmtiefs, deren Richtung sich mit ziemlicher Sicherheit bestimmen läßt, von großer Bedeutung.

Die in Abbildung 54 dargestellten Winddiagramme für die Jahre 1938 bis 1941 zeigen deutlich, daß die sich ergebende Windrichtung fast mit der Westrichtung zusammenfällt. Auch die nach den Hauptwindrichtungen geordneten 136 Sturmfluten am Pegel Husum seit 1905 (Tab. 18) liefern ein ähnliches Ergebnis. Im einzelnen wurde hierbei folgende Häufigkeit ermittelt:

72 Fluten aus Richtung	W = 3 v. H.
32 „ „ „	WSW = 4 v. H.
22 „ „ „	WNW = 16 v. H.
6 „ „ „	SW = 24 v. H.
4 „ „ „	NW = 53 v. H.

Als weiteres Vergleichsmaß wurde der „Wirkungsgrad“ der verschiedenen Windrichtungen als Quotient Windstau/Windgeschwindigkeit bestimmt. Zu der in Tabelle 18 durchgeführten

Tabelle 18
Die Sturmfluten am Pegel Husum seit 1905 mit einem Wasserstand von 1,55 m über MThw
(645 cm am Pegel).

Lfd. Nr.	Jahr	Tag und Monat	mitl. Wind- geschwin- digkeit m/s	SW	WSW	W	WNW	NW	Sp. = Spring M. = Mittel Np. = Nipp
1	1905	27. 11.	21	—	835	—	—	—	Sp
2	1906	9. 3.	21	—	—	—	811	—	M
3	1906	12. 3.	23	—	—	892	—	—	Sp
4	1906	13. 3.	27	—	—	927	—	—	Sp
5	1906	4. 11.	23	—	—	—	—	844	Sp
6	1907	20. 2.	23	—	827	—	—	—	Np
7	1907	21. 2.	23	—	833	—	—	—	Np
8	1907	18. 3.	20	—	—	805	—	—	Sp
9	1909	3. 12.	23	875	—	—	—	—	M
10	1909	4. 12.	20	810	—	—	—	—	M
11	1911	17. 2.	20	—	816	—	—	—	Sp
12	1911	20. 2.	20	—	—	863	—	—	M
13	1911	24. 2.	20	—	—	820	—	—	Sp
14	1911	5. 11.	20	—	821	—	—	—	M
15	1911	6. 11.	27	—	965	—	—	—	Sp
16	1911	6. 11.	23	—	—	897	—	—	Sp
17	1912	9. 4.	23	—	—	865	—	—	Sp
18	1913	19. 11.	23	—	—	875	—	—	Np
19	1914	18. 9.	20	—	—	848	—	—	M
20	1914	12. 11.	20	—	—	899	—	—	Np
21	1914	6. 12.	20	—	800	—	—	—	Sp
22	1915	9. 12.	20	—	—	—	823	—	Sp
23	1916	2. 1.	20	—	—	820	—	—	M
24	1916	6. 1.	17	—	—	810	—	—	M
25	1916	8. 1.	17	—	—	—	808	—	Sp
26	1916	11. 1.	20	—	—	—	—	800	M
27	1916	13. 1.	25	—	—	935	—	—	Np
28	1916	15. 1.	20	—	—	811	—	—	Np
29	1916	16. 2.	28	—	—	1 009	—	—	M
30	1916	11. 10.	20	—	—	817	—	—	M
31	1916	24. 12.	30	—	940	—	—	—	M
32	1917	14. 9.	20	—	805	—	—	—	Sp
33	1917	21. 9.	20	—	831	—	—	—	M
34	1917	25. 10.	25	—	—	909	—	—	Np
35	1917	26. 10.	20	—	—	815	—	—	Np
36	1917	24. 11.	20	—	—	857	—	—	Np
37	1917	25. 11.	20	—	—	834	—	—	Np
38	1917	28. 11.	20	—	—	839	—	—	M
39	1917	2. 12.	25	—	—	937	—	—	Sp
40	1917	3. 12.	23	—	—	888	—	—	Sp
41	1918	17. 1.	17	—	—	800	—	—	M
42	1918	24. 12.	20	—	—	935	—	—	M
43	1919	30. 6.	17	800	—	—	—	—	Sp
44	1920	9. 1.	17	—	800	—	—	—	Sp
45	1920	11. 2.	17	—	—	823	—	—	M
46	1920	12. 2.	20	—	—	842	—	—	M
47	1921	11. 1.	17	—	844	—	—	—	Sp
48	1921	19. 1.	17	—	—	—	815	—	Np
49	1921	23. 1.	17	—	—	—	806	—	M
50	1921	23. 10.	20	—	—	854	—	—	M
51	1921	1. 11.	17	—	—	—	817	—	Sp
52	1921	2. 11.	20	—	—	891	—	—	Sp
53	1921	18. 12.	17	—	—	867	—	—	Sp
54	1921	18. 12.	17	—	—	842	—	—	Sp
55	1921	21. 12.	17	—	—	883	—	—	Sp

Fortsetzung Tabelle 18

Lfd. Nr.	Jahr	Tag und Monat	mitl. Windgeschwindigkeit m/s	SW	WSW	W	WNW	NW	Sp. = Spring M. = Mittel Np. = Nipp
56	1921	29. 12.	17	—	—	—	816	—	M
57	1921	31. 12.	17	—	—	863	—	—	Sp
58	1922	3. 1.	20	—	—	865	—	—	M
59	1922	24. 8.	17	—	—	—	828	—	Sp
60	1922	20. 9.	20	—	—	—	854	—	M
61	1923	15. 1.	17	—	—	—	800	—	M
62	1923	30. 8.	19	—	923	—	—	—	Sp
63	1923	10. 10.	17	—	—	831	—	—	M
64	1923	10. 10.	17	—	—	822	—	—	M
65	1923	4. 11.	20	—	833	—	—	—	Np
66	1923	18. 12.	25	—	—	903	—	—	Np
67	1924	6. 2.	20	—	—	859	—	—	Sp
68	1924	10. 9.	20	—	—	854	—	—	Np
69	1925	2. 1.	20	—	—	825	—	—	M
70	1925	4. 1.	20	—	815	—	—	—	Np
71	1925	31. 12.	17	—	—	—	815	—	M
72	1926	9. 3.	23	—	830	—	—	—	Np
73	1926	10. 3.	20	—	—	—	810	—	Np
74	1926	22. 8.	18	—	810	—	—	—	M
75	1926	10. 10.	22	—	—	910	—	—	Sp
76	1926	10. 10.	22	—	—	935	—	—	Sp
77	1926	12. 10.	22	—	—	920	—	—	M
78	1927	23. 4.	17	—	810	—	—	—	M
79	1927	29. 10.	19	—	873	—	—	—	Sp
80	1928	10. 2.	17	—	810	—	—	—	M
81	1928	17. 11.	20	—	—	905	—	—	M
82	1928	24. 11.	23	—	—	914	—	—	Np
83	1928	27. 12.	17	—	—	—	807	—	Sp
84	1929	22. 9.	20	—	—	874	—	—	Sp
85	1929	12. 12.	20	—	828	—	—	—	Np
86	1930	13. 1.	20	—	—	849	—	—	M
87	1930	9. 10.	17	—	826	—	—	—	Sp
88	1930	23. 11.	22	—	—	—	922	—	Sp
89	1931	17. 1.	17	—	826	—	—	—	M
90	1931	6. 12.	17	—	818	—	—	—	M
91	1932	7. 1.	20	—	—	867	—	—	M
92	1932	4. 9.	17	—	—	—	801	—	Sp
93	1933	11. 10.	20	—	813	—	—	—	Np
94	1934	8. 2.	20	—	—	842	—	—	Np
95	1934	23. 9.	20	—	—	862	—	—	M
96	1934	3. 2.	17	—	—	—	821	—	M
97	1935	17. 2.	17	—	817	—	—	—	Sp
98	1935	17. 2.	17	—	823	—	—	—	Sp
99	1935	17. 9.	20	—	831	—	—	—	M
100	1935	18. 9.	17	—	809	—	—	—	M
101	1935	19. 10.	20	—	—	894	—	—	M
102	1935	20. 10.	17	—	—	809	—	—	M
103	1936	18. 10.	25	—	—	975	—	—	Sp
104	1936	27. 10.	27	—	—	975	—	—	M
105	1936	1. 12.	22	—	—	910	—	—	Sp
106	1938	30. 1.	14	—	—	877	—	—	M
107	1938	3. 4.	18	—	—	—	873	—	Sp
108	1938	4. 10.	23	834	—	—	—	—	Np
109	1938	24. 11.	24	—	970	—	—	—	Sp
110	1939	23. 4.	17	—	—	830	—	—	Sp
111	1939	27. 11.	20	—	—	880	—	—	Sp
112	1939	30. 12.	17	810	—	—	—	—	Sp
113	1940	24. 8.	17	—	—	—	806	—	M
114	1940	13. 11.	17	—	—	841	—	—	Np

Fortsetzung Tabelle 18

Lfd. Nr.	Jahr	Tag und Monat	mittl. Windgeschwindigkeit m/s	SW	WSW	W	WNW	NW	Sp. = Spring M. = Mittel Np. = Nipp
115	1941	19. 10.	27	—	—	—	—	846	M
116	1941	8. 12.	19	—	863	—	—	—	Sp
117	1942	16. 10.	17	—	—	840	—	—	M
118	1943	13. 2.	17	—	—	831	—	—	M
119	1943	26. 4.	20	—	—	836	—	—	M
120	1943	14. 8.	20	—	—	836	—	—	M
121	1943	13. 11.	14	—	—	822	—	—	M
122	1944	26. 1.	17	842	—	—	—	—	M
123	1944	7. 11.	20	—	—	834	—	—	M
124	1945	2. 3.	23	—	—	874	—	—	Sp
125	1946	24. 2.	20	—	—	—	825	—	Np
126	1947	24. 4.	20	—	835	—	—	—	Sp
127	1948	5. 1.	23	—	—	—	800	—	Np
128	1948	20. 9.	20	—	—	813	—	—	Sp
129	1948	23. 10.	23	—	—	—	—	856	M
130	1948	6. 11.	19	—	—	—	818	—	M
131	1949	20. 1.	16	—	—	806	—	—	M
132	1949	21. 1.	20	—	—	—	844	—	M
133	1949	10. 2.	30	—	—	909	—	—	M
134	1949	3. 8.	20	—	—	818	—	—	Np
135	1949	24. 10.	27	—	—	922	—	—	Sp
136	1949	27. 10.	17	—	—	823	—	—	M
Anzahl der Sturmfluten				6	32	72	22	4	
Σ Windgeschwindigkeiten				117	636	1 472	407	93	
mittl. Windgeschwindigkeit (m/s)				19,5	20,0	20,4	18,5	23,0	
Σ der Wasserstände (cm)				4 971	26 880	62 364	18 120	3 346	
Σ der Sp., M.- und Np.- Wasserstände (cm)				3 879	20 717	46 477	14 226	2 594	
Σ des Windstaus (cm)				1 092	6 063	15 887	3 894	752	
mittl. Windstau (cm)				182	189	221	177	188	
Wirkungsgrad				9,33	9,45	10,83	9,57	8,17	

Ermittlung ist zu bemerken, daß mangels vorausberechneter astronomischer Tidekurven der Windstau als Differenz zwischen den beobachteten HHW und den Spring-, Mittel- oder Nippwerten errechnet wurde. Die Untersuchung ergab für Westwind den höchsten Wirkungsgrad mit 10,83 gegenüber 9,57 bei WNW, 9,45 bei WSW, 9,33 bei SW und 8,17 bei NW. Etwas ausführlicher wurde diese Untersuchung für alle Winde aus Südwest- bis Nordwestrichtung mit Geschwindigkeiten über 4 m/s während der Jahre 1938 bis 1941 wiederholt, wobei sich ähnliche Verhältnisse ergaben (Tab. 20).

Aus diesen Untersuchungen folgt, daß am Pegel Husum bei Westwind mit den relativ höchsten Anstauungen zu rechnen ist.

2. Die größte Höhe des Windstaus nach bisherigen Beobachtungen

Die Sturmflut vom 12./13. 11. 1872 in der Ostsee hat gezeigt, daß der Wind bei genügend langer Dauer und ohne Einfluß der Gezeiten den Meeresspiegel bis zu 3½ m vor der Küste anstauen kann. Eine Übertragung dieses Wertes auf die Westküste kann jedoch nur unter Vorbehalt erfolgen, da einerseits eine Orkandauer von sechzig Stunden hier höchst unwahrscheinlich ist, aber andererseits die im Vergleich zur Ostsee viel flachere Küste den Windstau fördert.

OTTO und BRANDT (28) geben als größten Windstau zur HW-Zeit für den Pegel Geestemünde 3,37 m (1. 1. 1855) und 3,45 m (1825) an. GALLÉ nennt als Höchstwert des Windstaus zur vorausberechneten HW-Zeit für die holländische Küste 3,58 m (13. 3. 1906).

Tabelle 19
34 Sturmfluten am Pegel Husum seit 1874 von > 2,00 m über MThw (645 cm a. Pegel)

Datum	eingetretenes Hochwasser		vorausberechn. Hochwasser		Zeit- unter- schied	Windstau ü. Hw cm	max. Wind- stau cm	Luftdruck in Husum	Luftdruck im Kerntief	mittl. Grad. i. Raume Husum	Wind		Tidestieg		mittl. Steig- geschw. cm/h	
	Zeit	Höhe a.P. cm	Zeit	Höhe a.P. cm							Richtung	Stärke Bft	Dauer	Höhe cm		
22. 10. 1874	10h50'	913	11h06'	650	+ 0h16'	263	—	—	—	—	WNW	11	—	—	—	
15. 10. 1881	6h45'	935	6h32'	650	- 0h13'	285	965	971	6,7	WNW	10	—	—	—	—	
12. 2. 1894	6h20'	935	5h56'	660	+ 0h24'	275	972	960	8,7	WSW/W	10	—	—	—	—	
23. 12. 1894	10h30'	888	10h46'	640	+ 0h16'	248	966	965	6,7	WNW	10	—	—	—	—	
7. 12. 1895	18h00'	853	17h41'	640	- 0h19'	213	953	950	5,1	WNW	9	6h00'	211	35	—	
12. 3. 1906	13h55'	892	14h18'	630	+ 0h23'	262	989	965	4,3	WSW/NW	10	3h50'	300	77	—	
13. 3. 1906	2h30'	927	3h45'	660	+ 1h15'	267	989	965	4,3	WSW/NW	11	3h41'	377	103	—	
6. 11. 1911	1h40'	965	1h29'	640	- 0h11'	325	987	951	6,3	WSW	11	5h32'	414	73	—	
12. 11. 1914	7h49'	899	7h54'	640	+ 0h05'	259	989	971	4,3	WSW/WNW	9	4h45'	330	53	—	
13. 1. 1916	19h15'	935	20h00'	610	+ 0h45'	325	977	972	7,0	WNW	11	6h45'	385	81	—	
16. 2. 1916	23h45'	1009	0h47'	650	+ 1h02'	359	971	957	6,4	W/WNW	12	5h50'	439	75	—	
24. 12. 1916	1h52'	940	0h52'	650	- 1h00'	290	976	977	7,4	WSW	10	6h12'	275	74	—	
25. 10. 1917	19h40'	909	21h14'	610	+ 1h14'	299	975	957	8,5	WNW	10	8h17'	319	65	—	
24. 11. 1917	21h47'	857	22h03'	620	+ 0h16'	237	971	970	6,7	W	9	5h38'	368	38	—	
2. 12. 1917	15h54'	937	16h24'	640	+ 0h30'	297	984	970	7,3	SW/NW	11	4h54'	328	67	—	
18. 12. 1921	4h10'	867	3h57'	680	- 0h13'	187	994	952	5,1	W	8	7h12'	262	37	—	
21. 12. 1921	5h50'	883	6h15'	670	+ 0h25'	213	995	971	7,6	W	8	4h40'	304	65	—	
30. 8. 1923	17h44'	923	16h31'	670	- 1h13'	253	995	989	6,5	WSW	9	8h44'	560	64	—	
18. 12. 1923	23h20'	903	22h50'	620	- 0h30'	283	997	978	8,0	WNW	10	7h37'	511	67	—	
10. 10. 1926	4h30'	910	3h56'	650	- 0h34'	260	981	971	4,8	WSW/W	9	6h30'	450	69	—	
10. 10. 1926	14h35'	935	16h04'	660	+ 1h29'	275	981	971	4,8	W/NW	10	3h35'	210	60	—	
12. 10. 1926	15h55'	920	17h08'	650	+ 1h13'	270	986	971	7,3	WNW/NW	10	6h22'	297	46	—	
29. 10. 1927	15h10'	873	16h07'	650	+ 0h57'	223	1000	977	9,0	WSW/NW	9	5h40'	270	47	—	
17. 11. 1928	4h30'	905	4h26'	650	- 0h04'	255	—	973	963	6,9	W	9	7h55'	296	37	—
24. 11. 1928	9h58'	914	11h03'	670	+ 1h05'	244	968	945	7,1	W	10	4h38'	175	38	—	
23. 11. 1930	15h21'	922	15h51'	620	+ 0h30'	272	990	975	6,3	WNW	10	8h38'	353	41	—	
19. 10. 1935	19h08'	894	19h04'	620	- 0h04'	274	980	954	7,3	WSW	10	5h01'	380	76	—	
18. 10. 1936	15h30'	975	15h41'	650	+ 0h11'	325	996	998	6,7	W/WNW	11	5h00'	360	72	—	
27. 10. 1936	11h35'	975	10h55'	650	- 0h40'	325	989	958	8,1	W	11	6h30'	507	78	—	
1. 12. 1936	15h17'	910	15h57'	660	+ 0h40'	250	987	968	6,3	W/NW	10	4h44'	362	76	—	
24. 11. 1938	1h54'	970	3h10'	660	+ 1h16'	310	982	964	5,7	WSW	11	6h40'	555	83	—	
27. 11. 1939	1h07'	880	1h56'	650	+ 0h40'	230	983	958	5,0	W	9	8h02'	320	40	—	
9/10. 2. 1949	3h35'	909	22h06'	640	- 5h29'	269	975	973	9,2	WSW/W	12	10h50'	585	54	—	
24. 10. 1949	13h40'	922	15h37'	700	+ 1h57'	222	985	975	4,9	SW/W	10	3h50'	412	107	—	

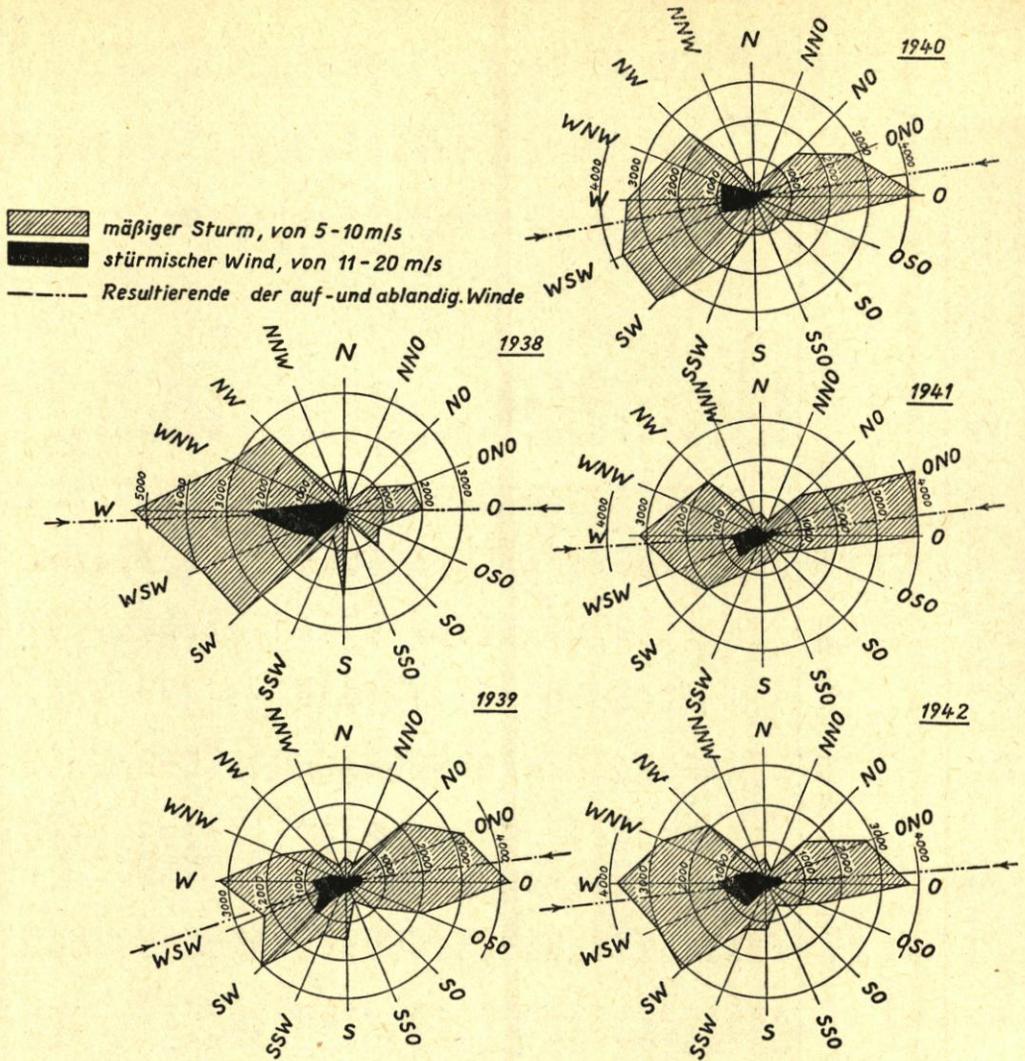


Abb. 54. Winddiagramme für den Windmesser Husum (1938—1942)

An der Westküste beträgt der bisher größte, durch einwandfreie Aufzeichnungen belegte Windstau über dem vorausgerechneten HW 3,59 m bzw. bei vorausgerechneten HW 3,50 m (1916). Bei der bisher größten Sturmflut an der Westküste (1825) soll der Wasserstand in Husum allerdings 14 Fuß über GHW gestiegen sein, das ist 4,01 bzw. 4,39 m über GHW. Da die Sturmflut aber zur Springzeit eintrat, wird das vorausgerechnete HW einige Dezimeter über GHW angenommen werden müssen. Nach NEHLS (27) betrug 1825 in Cuxhaven die Erhöhung des MThw 28 cm. Nimmt man diesen Wert auch für Husum an und legt gleichzeitig den aus den Berichten als oberste Grenze ermittelten Wasserstand von 5,49 m a. P. zugrunde, so würde sich ein Windstau von $1049 - (623 + 28) = 3,98$ m ergeben. Ob dieser Windstau jedoch genau zur Zeit des vorausgerechneten HW eintrat, ist nicht bekannt und unwahrscheinlich, weil erfahrungsgemäß das HHW fast nie auf den vorausgerechneten Zeitpunkt des HW fällt (Tab. 19 und 21).

Tabelle 20

Ermittlung der ungünstigsten Windrichtung für Husum aus den Windaufzeichnungen der Jahre 1938 bis 1941

Monat	NW				WNW				W				WSW				SW							
	Wasserstand			Wind m/s																				
	Sp	M	Np		Sp	M	Np		Sp	M	Np		Sp	M	Np		Sp	M	Np					
1938																								
Nov.	—	660	—	6	—	682	677	5	—	—	670	5	694	687	657	6	—	651	—	6	—	674	640	6
Dez.	—	—	—	—	—	666	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	674	640	6	—	674	640	6
Jan.	746	672	—	9	637	760	—	6	675	770	682	8	—	684	680	9	718	678	651	9	718	678	651	9
Febr.	—	664	—	5	—	626	—	5	702	638	601	7	701	685	648	7	790	—	643	11	790	—	643	11
März	—	652	633	6	—	727	686	9	703	706	675	9	674	680	—	9	677	720	633	8	677	720	633	8
Apr.	795	646	671	10	693	—	622	7	719	699	—	10	690	—	—	9	—	—	—	—	—	—	—	—
Mai	—	629	647	6	648	672	679	7	—	675	644	7	685	663	—	8	685	—	653	8	685	—	653	8
Juni	678	676	—	8	719	648	654	8	675	666	657	8	711	673	—	10	722	650	—	9	722	650	—	9
Juli	—	—	—	—	—	668	—	6	673	657	646	6	—	650	644	6	—	663	—	6	—	663	—	6
Aug.	669	667	—	5	—	678	—	6	692	760	668	10	—	—	—	—	—	666	674	6	—	666	674	6
Sept.	—	637	—	6	651	—	—	5	701	672	—	8	—	676	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—
Okt.	—	616	672	6	—	—	672	5	725	756	—	9	720	734	—	8	718	732	727	9	718	732	727	9
Σ	2888	6519	2623	67	3348	6127	4050	74	6265	6999	5243	87	4875	6132	2629	80	4310	5439	4621	78	4310	5439	4621	78
vorbr.	2636	6450	2504		3295	5805	3756		5931	6450	5008		4613	5805	2504		3954	5160	4382		3954	5160	4382	
Windstau	252	69	119		53	322	294		334	549	235		262	327	125		356	279	239		356	279	239	
mittl. Windgeschw.				6,7				6,2				7,9				8,0								7,8
1939																								
Nov.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	690	—	6	793	686	655	8	751	724	—	9	751	724	—	9
Dez.	—	—	—	—	—	688	—	6	—	716	—	6	—	—	694	7	—	—	652	8	—	—	652	8
Jan.	680	—	—	8	—	—	—	—	—	678	—	6	—	710	—	8	739	705	645	11	739	705	645	11
Febr.	—	772	—	12	—	732	—	9	—	705	—	8	717	679	679	10	685	679	652	8	685	679	652	8
März	707	—	—	9	—	—	636	9	733	636	—	8	703	633	—	9	700	—	—	7	700	—	—	7
Apr.	—	—	—	—	744	666	—	9	691	659	670	9	677	658	619	8	—	—	686	11	—	—	686	11
Mai	—	—	666	8	658	640	—	6	664	662	624	5	—	668	—	7	—	—	—	—	—	—	—	—
Juni	—	641	—	6	658	674	657	7	—	—	657	6	—	—	662	7	—	656	—	8	—	656	—	8
Juli	—	—	640	7	681	—	677	9	680	671	661	8	684	665	645	8	680	656	—	6	680	656	—	6
Aug.	674	—	—	5	—	—	—	—	668	659	—	8	713	—	—	12	678	—	—	7	678	—	—	7
Sept.	—	—	—	—	—	658	—	5	696	—	620	6	—	—	—	—	—	687	—	6	—	687	—	6
Okt.	—	—	—	—	—	—	—	—	723	—	—	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Σ	2061	1413	1306	55	2743	4058	1970	60	4855	6076	3232	85	4287	4699	3954	84	4233	4107	2635	81	4233	4107	2635	81
vorbr.	1977	1920	1252		2636	3870	1878		4613	5805	3130		3954	4515	3756		3954	3870	2504		3954	3870	2504	
Windstau	84	123	54		107	188	92		242	271	102		333	184	198		279	237	131		279	237	131	
mittl. Windgeschw.				7,9				7,5				7,1				8,4								8,1
1940																								
Nov.	—	—	—	—	—	687	—	6	—	799	—	11	761	720	—	9	743	675	—	8	743	675	—	8
Dez.	—	—	—	—	—	—	—	—	724	—	662	7	—	812	—	9	810	698	633	10	810	698	633	10
Jan.	—	—	—	—	—	—	—	—	633	651	—	7	—	648	—	7	—	—	—	—	—	—	—	—
Febr.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	681	670	620	8	—	—	667	7	—	—	667	7
März	696	660	—	9	662	660	749	12	716	717	624	10	—	684	610	7	662	—	—	7	662	—	—	7
Apr.	660	639	—	7	—	—	—	—	—	659	—	7	—	728	—	13	—	—	648	6	—	—	648	6
Mai	673	664	673	9	—	652	—	6	668	650	—	7	—	672	—	7	—	—	—	—	—	—	—	—
Juni	659	644	623	7	659	653	635	6	667	654	640	7	—	693	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—
Juli	—	640	640	8	662	—	654	7	670	667	648	7	695	676	—	6	681	681	—	7	681	681	—	7
Aug.	694	724	625	7	694	722	—	9	685	669	694	7	693	692	675	7	—	696	—	6	—	696	—	6
Sept.	—	—	669	8	698	702	692	9	736	701	—	9	708	674	660	7	780	701	650	7	780	701	650	7
Okt.	—	—	—	—	—	746	—	12	—	699	—	7	719	—	—	11	—	715	—	9	—	715	—	9
Σ	3382	3971	3230	55	3375	4822	2730	67	5499	6866	3268	86	4257	7669	2565	101	3676	4166	2598	67	3676	4166	2598	67
vorbr.	3295	3870	3130		3295	4515	2504		5272	6450	3130		3954	7095	2504		3295	3870	2504		3295	3870	2504	
Windstau	87	101	100		80	307	226		227	416	138		303	574	61		381	296	94		381	296	94	
Mittl. Windgeschw.				7,9				8,4				7,8				8,4								7,4

Fortsetzung Tabelle 20

Monat	NW				WNW				W				WSW				SW			
	Wasserstand			Wind m/s																
	Sp	M	Np		Sp	M	Np		Sp	M	Np		Sp	M	Np		Sp	M	Np	
1941																				
Nov.	—	752	—	7	—	704	640	5	801	710	—	10	706	841	691	9	794	719	671	10
Dez.	—	—	641	6	—	774	—	11	703	673	—	6	714	660	715	8	680	682	664	6
Jan.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	677	—	—	5
Febr.	—	—	—	—	—	—	—	—	650	660	632	8	—	654	648	9	—	—	—	7
März	—	646	656	7	670	622	690	9	—	640	680	8	—	638	—	6	709	667	652	9
Apr.	—	—	—	—	—	—	—	—	681	652	—	6	684	663	620	9	—	—	—	9
Mai	664	—	633	7	674	656	635	6	679	670	—	9	664	650	—	7	—	—	—	9
Juni	722	—	626	7	699	671	—	8	689	653	653	7	—	685	—	11	—	658	—	7
Juli	—	666	653	6	—	659	663	6	—	666	647	6	—	677	—	7	—	660	—	6
Aug.	—	—	644	7	—	755	656	7	694	740	652	7	707	709	654	8	—	709	672	8
Sept.	679	671	628	7	677	661	612	6	666	689	622	6	—	668	—	5	—	—	—	8
Okt.	720	767	658	7	—	—	—	—	755	784	—	9	—	—	—	—	—	650	—	7
Σ	2785	3502	5139	61	2720	5502	3896	58	6318	7537	3886	82	3475	6874	3328	79	2860	4745	3304	65
vorbr.	2636	3225	5008		2636	5160	3756		5931	7095	3756		3295	6450	3130		2636	4515	3130	
Windstau	149	277	131		84	342	140		387	442	130		180	424	198		224	230	174	
Mittl. Windgeschw.				6,8				7,3				7,5				7,9				7,2
Zusammenstellung																				
1938	252	69	119	6,7	53	322	294	6,2	334	549	235	7,9	262	327	125	8,0	356	279	239	7,8
1939	84	123	54	7,9	107	188	92	7,5	242	271	102	7,1	333	184	198	8,4	279	237	131	8,1
1940	87	101	100	7,9	80	307	226	8,4	227	416	138	7,8	303	574	61	8,4	381	296	94	7,4
1941	149	277	131	6,8	84	342	140	7,3	387	442	130	7,5	180	424	198	7,9	224	230	174	7,2
Σ	572	570	404	29,3	324	1159	752	29,4	1190	1678	605	30,3	1078	1509	582	32,7	1240	1042	638	30,5
	1546				2235				3473				3169				2920			
Wirkungsgrad	5,28				7,60				11,46				9,69				9,57			

3. Die Beziehung zwischen Windstau und Gestirnsflut

Der Anstieg des Wassers in einem gezeitenlosen Meer bei verschiedenen starken Windgeschwindigkeiten konnte in der Ostsee anlässlich der Sturmflut 1872 am Pegel Kiel-Ellerbek beobachtet werden [Abb. 5 und (2)]. Hiernach ist die Steiggeschwindigkeit allein unter dem Einfluß des Windes auch bei großen Windgeschwindigkeiten verhältnismäßig gering. Bei einer Windgeschwindigkeit von 30,7 m/s stieg das Wasser nur 21 cm/h, d. h. ein Meter Stau erforderte etwa fünf Stunden.

Im Tidegebiet sind die Steiggeschwindigkeiten des Windstaues stark abhängig von der Tidephase (Abb. 55). Sie sind bei Sturmflut im allgemeinen in der zweiten und dritten Stunde nach NW am größten, weil der Wind dann mit der Gestirnsstide zusammenwirkt, die hier ebenfalls ihre größte Steiggeschwindigkeit erreicht (95 cm/h bei mittlerer Tide, 105 cm/h bei Springtide). Beide zusammen können dann den Wert 190 cm/h erreichen (Tab. 13).

In der letzten Stunde vor HW nimmt die Steiggeschwindigkeit der Gestirnsflut bis auf 15—20 cm/h ab. Die anstauende Kraft, d. h. das Zusammenwirken von Wind und Gestirnsstide, hat zu diesem Zeitpunkt ihr Maximum bereits überschritten und kann auch durch einen Anstieg der Windgeschwindigkeit nicht mehr auf ihrer ursprünglichen Höhe gehalten werden. Die Folge ist häufig ein Absinken des Wasserstandes vor Eintritt des vorausberechneten HW und trotz wachsender Windstärke.

Bei der Sturmflut im Februar 1949 war zur Zeit des vorausberechneten HW noch kein wesentlicher Windstau eingetreten, so daß der stark zunehmende Wind trotz einsetzender Ebbe noch einen Windstau von 2,69 m über vorausberechnetes HW verursachen konnte. Hätte der Sturm einige Stunden früher eingesetzt und wäre er dadurch mit dem auflaufenden

Tabelle 21

Windstauwerte

Pegelstation	13. 3. 1906				6. 11. 1911				16. 2. 1916				10. 10. 1926 (1)				10. 10. 1926 (2)				18. 10. 1936				27. 10. 1936				24. 11. 1938				9./10. 2. 1949				24. 10. 1949			
	max.	ΔN	ΔH	ΔN	max.	ΔN	ΔH	ΔN	max.	ΔN	ΔH	ΔN	max.	ΔN	ΔH	ΔN	max.	ΔN	ΔH	ΔN	max.	ΔN	ΔH	ΔN	max.	ΔN	ΔH	ΔN	max.	ΔN	ΔH	ΔN	max.	ΔN	ΔH	ΔN				
	cm				cm				cm				cm				cm				cm				cm				cm				cm							
Husum	250	210	230	320	220	330	310	420	280	350	310	380	155	250	420	420	420	245	290	420	310	300	280	360	140	310	290	400	240	250	270	360	-20	70	550	570	180	100	—	300
Arlau-Schleuse	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bongsiel	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Strand	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tümmel-Bucht	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Süderoog	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Dagebüll	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Südwest-hörn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hooze	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Wyk	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hindenburgdamm Sud	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hindenburgdamm Nord	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Wittdün	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hörnüm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
List	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tönning	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Büsum	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Helgoland	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cuxhaven	220	250	200	270	160	250	290	300	210	270	230	292	100	140	360	360	360	210	230	360	240	260	210	270	90	210	280	301	110	190	180	195	40	30	410	410	—	—	—	—

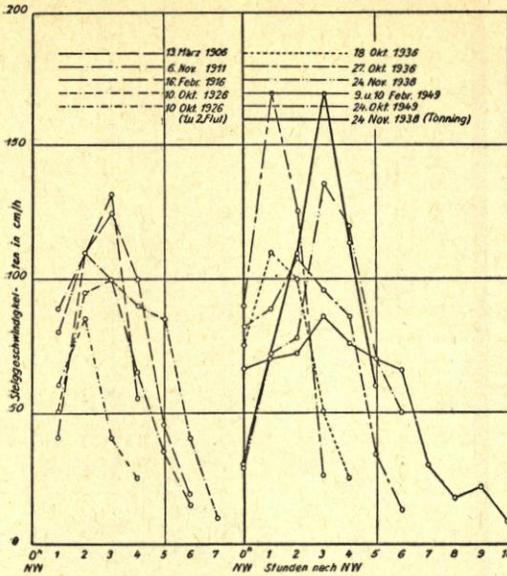


Abb. 55. Steiggeschwindigkeiten einiger Sturmfluten in Husum von NW bis HHW

stimmter Aufstau des Wassers entspricht, der nicht wesentlich überschritten werden kann. Die Gestirnsflut tritt dann im Vergleich zur Windflut etwas abgeschwächt auf, d. h. der Tidehub verringert sich um einige Dezimeter beim angespannten Wasserspiegel. Auch die Sturmfluten vom 22./23. 12. 1894, 10. 10. 1926 (Abb. 8, 29) und die hier nicht dargestellten Sturmfluten am 29. 10. 1927 und 24. 11. 1928 zeigen diese Erscheinung. 1894 kann sich das zweite HW bei gleichbleibender Windstärke (16 bzw. 20 m/s) infolge der Gestirnsflut nur noch um rund 1,25 m (Cuxhaven) und 1,40 m (Husum) bzw. 1926 um 2,10 m und 1928 um 1,40 m (Husum) erhöhen, während der mittlere Tidehub sonst in Cuxhaven rund 2,90 m und in Husum 3,32 m beträgt. Es liegen noch zu wenig eindeutige Beispiele vor, um das Maß dieser Tidehubverringering, das bei verschiedenen hohen Tidehuben örtlich selbstverständlich schwankt, generell festlegen zu können. Mit einer Verringerung um 30—40 v. H. kann aber bei einem vorherigen Aufstau des Wassers von 2,00 m über MThw wahrscheinlich in Husum gerechnet werden.

4. Die Beziehung zwischen Windstau und Windwirkung (Windstaubezugskurve)

Der Anstau des Wassers findet sein Ende, wenn der Windstau sich mit dem am Meeresboden zurückfließenden Wasser das Gleichgewicht hält, d. h. wenn der Aufstau dem erzeugten hydrostatischen Überdruck entspricht. Im flachen Wasser (Wattenmeer) kann sich infolge des geringeren Querschnitts und der größeren Reibung des zurückfließenden Wassers am Meeresboden ein höherer Stau entwickeln als im tieferen Wasser. Der Rückstrom des Wassers ist anfangs klein, wächst aber bei höheren Wasserständen. Nach MÖLLER (25) ergibt sich frühestens nach drei Stunden im Rückstrom des Wassers eine Geschwindigkeit von etwa 1,0 m/s oder bei Berücksichtigung der Reibung des Wassers in der Tiefe mit dem in anderer Richtung strömenden Wasser der Oberfläche erst nach etwa sechs Stunden. Auch muß der Oberflächenstrom infolge Windwirkung einige Stunden auf die Küste zufließen, um diejenigen Wassermengen bewegen zu können, die zur Erzeugung eines HW erforderlich sind. Die Mindestdauer eines Sturmes muß somit mindestens sechs Stunden betragen, um an der Küste eine große Fluthöhe entstehen zu lassen.

Will man, von diesen Voraussetzungen ausgehend, den höchstmöglichen Windstau ermitteln, so wird man sich dabei vor Augen halten, daß die Windwirkung (Stärke, Dauer und

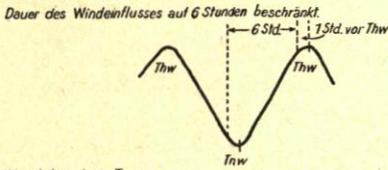
Wasser (Flut) zusammengefallen, so wäre wahrscheinlich ein noch stärkerer Anstieg über HW erfolgt.

Ein lehrreiches Beispiel, wie sich der Windstau bei gleichbleibendem Wind zur NW- und HW-Zeit verhält, ist die Sturmflut des Jahres 1895, als über vier Tiden ein Windstau von rund 3,00 m bei NW und rund 2,00 m bei HW aufgetreten ist (Abb. 11). Trotz der Gleichmäßigkeit dieses Sturmes während etwa sechzig Stunden schwankt der Windstau ziemlich gleichmäßig und verringert sich zur Zeit des HW um etwa 1,00 m. Im allgemeinen ist eine Abnahme des Windstaus bei steigendem Wasser und eine Abnahme bei fallendem Wasser festzustellen. Wenn der Wind von langer Dauer und gleicher Stärke ist, zeigt sich deutlich die auch an der Westküste immer wieder beobachtete größere Windwirkung bei NW. Außerdem lehrt diese Flut, daß einer bestimmten Windstärke bei gleichbleibender Richtung des Windes ein bestimmter Aufstau des Wassers entspricht, der nicht wesentlich überschritten werden kann.

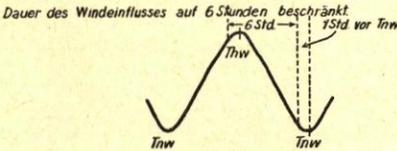
Richtung) bei gegebenen örtlichen Verhältnissen zwar der wichtigste, aber nicht der alleinige Einflußfaktor für die Abweichungen von der Gestirnsstide ist. Aus naheliegenden Gründen soll trotzdem die Untersuchung auf den Einfluß der Windwirkung beschränkt werden. Da immer noch drei Variable bedeuten würde, wird die weitere Vereinfachung getroffen, Dauer und Richtung des Windes als konstante Größen in die Rechnung einzuführen.

1. Bei Winden von kürzerer Dauer.

a. Windstau bei Thw.

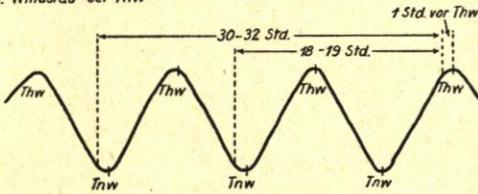


b. Windstau bei Tnw



2. Bei anhaltenden Winden über mehrere Tiden.

a. Windstau bei Thw



b. Windstau bei Tnw

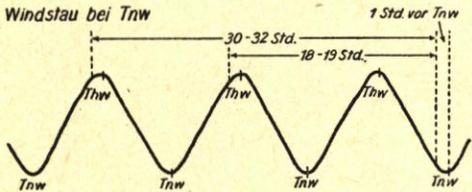


Abb. 56. Berechnung des Windstaues

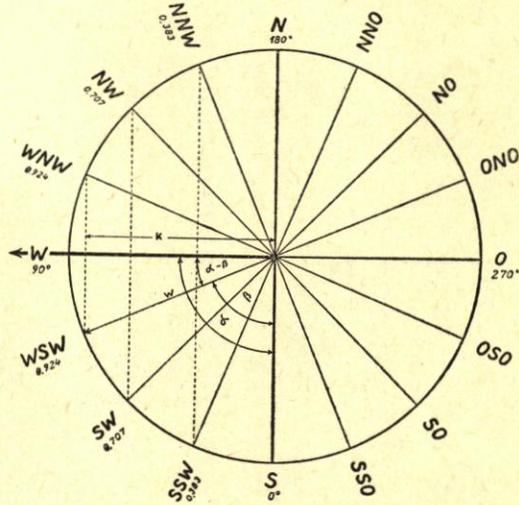


Abb. 57. Windkraftzerlegung auf die West-Achse

$$k = w \cdot \cos(\alpha - \beta)$$

- k = wirksame Windkomponente
- w = gemessene Windgeschwindigkeit in m/s
- α = wirksame Windrichtung
- β = gemessene Windrichtung

Die Winddauer (Abb. 56) wurde bei kurzfristigen Winden auf sechs Stunden vor dem eingetretenen HW beschränkt und von einer Stunde vor dem HHW ab rückwärts gerechnet, weil erfahrungsgemäß der höchste Stau erst etwa eine Stunde nach dem Eintritt der größten Windstärke eintritt. Bei der Ermittlung des Windstaues bei NW wurde entsprechend verfahren. Bei länger als sechs Stunden anhaltenden Winden aus westlichen Richtungen (SW—W—NW) wurde die Winddauer auf 18 bzw. 30 Stunden usw. erweitert.

Als Windrichtung wurde nur die westliche angesetzt, die sich für den Pegel Husum als die ungünstigste ergeben hat. Alle Winde aus SW, WSW und NW wurden zu diesem Zwecke auf die Westrichtung reduziert (Abb. 57).

Die Gleichung für diese Umrechnung $k = w \cdot \cos(\alpha - \beta)$ ergibt dann den Windstau h zu

$$h = n \cdot k = n \cdot w \cdot \cos(\alpha - \beta)$$

wobei „n“ der Intensitätsfaktor des Windes für den jeweiligen Beobachtungsort ist und angibt, welche Wasserstandserhöhung mit einer bestimmten Geschwindigkeit des mittleren Windes verbunden ist. Diese n-Werte schwanken auch örtlich und müssen besonders ermittelt werden.

Da erst in jüngster Zeit einwandfreie Unterlagen über die bei höheren Wasserständen herrschenden Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet vorliegen, mußten sich die nachfolgenden Untersuchungen auf die Jahre 1938, 1942, 1944 und 1949 beschränken. Innerhalb dieser Jahre wurden diejenigen Zeitspannen ausgewählt, in denen westliche Winde mit einer mittleren Geschwindigkeit von mehr als 10 m/s geweht haben. Für jedes Jahr wurde für jede Zeitspanne die wirksame Windkomponente k berechnet und der Durchschnittswert für eine Stunde ermittelt. Dies erfolgte getrennt für HW und NW (Tab. 22—29). Die auf diese Weise

Tabelle 22
Eingetretene Windstau bei westlichen Winden mit Windgeschwindigkeiten > 10 m/s im Jahre 1938
am Pegel Husum für die Windstauermittlung bei HW

HW		Windzeitraum				Stunden	Wind auf West bezogen		HW		Unterschied	Windrichtung
Tag	Zeit	von Tag	Zeit	bis Tag	Zeit		Sa.	im Mittel m/s	voraus-berechnet	ein-getreten		
29. 1.	13h00'	29. 1.	6h00'	29. 1.	12h00'	6	75,0	12,5	620	794	174	W
18. 1.	3h00'	17. 1.	20h00'	18. 1.	2h00'	6	79,0	13,2	680	792	112	W-WNW
26. 1.	9h00'	26. 1.	2h00'	26. 1.	8h00'	6	58,8	9,8	620	713	93	W-WSW
30. 1.	0h00'	29. 1.	17h00'	29. 1.	23h00'	6	76,6	12,8	650	877	227	W-WNW
30. 1.	0h00'	29. 1.	6h00'	29. 1.	23h00'	17	223,5	13,1	635	836	201	W-WNW
31. 1.	2h00'	30. 1.	19h00'	30. 1.	1h00'	6	62,5	10,4	660	760	100	NW-WNW
1. 2.	15h00'	1. 2.	8h00'	1. 2.	14h00'	6	71,7	12,0	640	781	141	WSW-SW
2. 2.	3h00'	1. 2.	20h00'	2. 2.	2h00'	6	74,8	12,5	650	799	149	SW
3. 4.	16h00'	3. 4.	9h00'	3. 3.	15h00'	6	112,1	18,7	645	873	223	W-WNW
5. 4.	5h00'	4. 4.	22h00'	5. 4.	4h00'	6	71,0	11,8	660	694	34	W
5. 4.	17h00'	5. 4.	10h00'	5. 4.	16h00'	6	65,0	10,8	660	692	32	W
6. 4.	6h00'	5. 4.	23h00'	6. 4.	5h00'	6	53,0	8,7	650	678	28	W
6. 4.	18h00'	6. 4.	11h00'	6. 4.	17h00'	6	70,2	11,7	660	699	39	WNW
7. 4.	7h00'	7. 4.	0h00'	7. 4.	6h00'	6	69,5	11,6	640	682	42	WNW-W-WNW
7. 4.	—	5. 4.	10h00'	7. 4.	7h00'	56	598,5	10,7	654	689	35	W-WNW
4. 10.	22h00'	4. 10.	15h00'	4. 10.	21h00'	6	119,7	20,0	610	834	224	SW-WSW
8. 10.	13h00'	8. 10.	6h00'	8. 10.	12h00'	6	71,0	11,8	660	792	132	W
11. 10.	15h00'	11. 10.	8h00'	11. 10.	2h00'	6	61,7	10,3	660	731	71	W-WSW
11. 10.	3h00'	10. 10.	20h00'	11. 10.	14h00'	6	64,8	10,8	670	743	73	WSW
12. 10.	3h00'	11. 10.	20h00'	12. 10.	2h00'	6	77,0	12,8	660	725	65	WSW-WNW
12. 10.	3h00'	10. 10.	20h00'	12. 10.	3h00'	30	345,2	11,5	663	733	70	WSW-W
14. 10.	17h00'	14. 10.	10h00'	14. 10.	16h00'	6	109,8	18,2	640	824	184	WSW-W

Tabelle 23
Eingetretene Windstau bei westlichen Winden mit Windgeschwindigkeiten > 10 m/s im Jahre 1942
am Pegel Husum für die Windstauermittlung bei HW

7. 11.	4h00'	6. 11.	21h00'	7. 11.	3h00'	6	65,6	10,9	660	778	118	WSW-WNW
7. 11.	15h00'	7. 11.	8h00'	7. 11.	14h00'	6	83,2	13,9	650	808	158	WNW
8. 11.	13h00'	7. 11.	21h00'	8. 11.	3h00'	6	69,7	11,6	660	786	126	NW-WNW
—	—	7. 11.	4h00'	8. 11.	3h00'	30	376,4	12,6	657	791	134	WSW-WNW-NW
7. 12.	16h00'	7. 12.	9h00'	7. 12.	15h00'	6	42,5	7,1	640	756	116	SW-W
8. 12.	3h00'	7. 12.	20h00'	8. 12.	2h00'	6	77,6	12,9	660	863	203	WSW
24. 12.	19h00'	24. 12.	12h00'	24. 12.	18h00'	6	100,5	16,9	630	763	133	W-NW
25. 12.	7h00'	25. 12.	0h00'	25. 12.	6h00'	6	76,9	12,2	660	802	142	NW
15. 12.	23h00'	15. 12.	15h00'	15. 12.	21h00'	6	47,5	7,9	630	711	81	SW
16. 12.	12h00'	16. 12.	5h00'	16. 12.	11h00'	6	45,3	7,6	650	709	59	WSW
—	—	15. 12.	15h00'	16. 12.	11h00'	20	152,4	7,6	640	710	70	WSW
13. 12.	8h00'	13. 12.	1h00'	13. 12.	7h00'	6	76,0	12,7	640	777	137	WSW
16. 9.	6h00'	15. 9.	23h00'	16. 9.	5h00'	6	67,1	11,2	650	768	118	WNW-W
16. 9.	18h00'	16. 9.	11h00'	16. 9.	17h00'	6	106,0	17,7	660	807	147	W
17. 9.	6h00'	16. 9.	23h00'	17. 9.	5h00'	6	93,3	15,6	650	742	92	W-WNW-W
15. 10.	17h00'	15. 10.	10h00'	15. 10.	16h00'	6	86,9	14,5	660	778	118	SW-W
16. 10.	5h00'	15. 10.	22h00'	16. 10.	4h00'	6	108,0	18,0	655	840	185	W
16. 10.	18h00'	16. 10.	11h00'	16. 10.	17h00'	6	89,7	15,0	655	752	97	WNW
17. 10.	7h00'	17. 10.	6h00'	17. 10.	6h00'	6	73,4	12,2	645	742	97	WNW-NW
—	—	16. 10.	11h00'	17. 10.	6h00'	19	257,3	13,5	650	747	97	WNW

Tabelle 24

Eingetretene Windstau bei westlichen Winden mit Windgeschwindigkeiten > 10 m/s im Jahre 1944
am Pegel Husum für die Windstauermittlung bei HW

HW		Windzeitraum				Stunden	Sa.	im Mittel m/s	HW		Unterschied	Windrichtung
Tag	Zeit	von Tag	Zeit	bis Tag	Zeit				voraus- berechnet	ein- getreten		
13. 11.	3h00'	12. 11.	20h00'	13. 11.	2h00'	6	94,7	15,8	650	822	172	WNW
2. 1.	6h00'	1. 1.	23h00'	2. 1.	5h00'	6	69,0	11,5	670	750	80	W
2. 1.	19h00'	2. 1.	12h00'	2. 1.	18h00'	6	72,9	12,2	630	725	95	W-WSW
3. 1.	7h00'	3. 1.	0h00'	3. 1.	6h00'	6	62,0	10,3	660	724	64	W
3. 1.	20h00'	3. 1.	13h00'	3. 1.	19h00'	6	50,2	8,4	620	677	57	WNW-N
3. 1.	—	2. 1.	0h00'	3. 1.	7h00'	31	360,7	11,8	653	733	80	W-NW
2. 3.	7h00'	2. 3.	0h00'	2. 3.	6h00'	6	58,9	9,8	630	778	148	SW-W
2. 3.	20h00'	2. 3.	13h00'	2. 3.	19h00'	6	98,0	16,3	620	816	196	W
3. 3.	8h00'	3. 3.	1h00'	3. 3.	7h00'	6	96,0	16,0	610	753	143	W
3. 3.	20h00'	3. 3.	13h00'	3. 3.	19h00'	6	44,0	7,3	610	663	53	WNW
22. 4.	15h00'	22. 3.	8h00'	22. 4.	14h00'	6	80,5	13,4	630	715	85	WSW
23. 4.	3h00'	22. 4.	20h00'	23. 4.	2h00'	6	75,0	12,5	670	722	52	W
2. 5.	23h00'	2. 5.	16h00'	2. 5.	22h00'	6	76,6	12,7	610	674	64	WSW
3. 5.	13h00'	3. 5.	6h00'	3. 5.	12h00'	6	95,0	15,8	590	775	185	WSW-W
3. 5.	0h00'	3. 5.	17h00'	3. 5.	23h00'	6	111,9	18,7	630	804	174	W-WNW
4. 5.	13h00'	4. 5.	6h00'	4. 5.	13h00'	6	87,8	14,6	610	686	76	WNW
23. 4.	3h00'	22. 4.	8h00'	23. 4.	2h00'	18	232,2	12,9	660	722	62	W
3. 5.	—	3. 5.	6h00'	4. 5.	12h00'	17	304,9	17,9	610	790	180	WSW-W
1. 9.	13h00'	1. 9.	6h00'	1. 9.	12h00'	6	92,7	15,4	670	755	85	WSW-W
6. 9.	6h00'	5. 9.	23h00'	6. 9.	5h00'	6	59,4	9,9	680	704	24	SSW-SW
6. 9.	17h00'	6. 9.	10h00'	6. 9.	16h00'	6	65,7	11,0	700	754	54	SW
8. 9.	6h00'	7. 9.	23h00'	8. 9.	5h00'	6	81,3	13,6	660	777	117	SSW-SW

Tabelle 25

Eingetretene Windstau bei westlichen Winden mit Windgeschwindigkeiten > 10 m/s im Jahre 1949
am Pegel Husum für die Windstauermittlung bei HW

4. 11.	16h00'	4. 11.	9h00'	4. 11.	15h00'	6	58,2	9,7	640	733	93	SW-WSW
5. 11.	17h00'	5. 11.	10h00'	5. 11.	16h00'	6	68,1	11,4	650	753	103	W
6. 11.	4h00'	5. 11.	21h00'	6. 11.	3h00'	6	103,2	17,2	660	818	158	W-WNW
10. 11.	8h00'	10. 11.	1h00'	10. 11.	7h00'	6	104,6	17,5	640	780	140	WSW-W
18. 1.	4h00'	17. 1.	21h00'	18. 1.	3h00'	6	60,8	10,1	680	736	56	W-WNW
19. 1.	17h00'	19. 1.	10h00'	19. 1.	16h00'	6	86,0	14,3	640	734	94	WSW
20. 1.	6h00'	19. 1.	23h00'	20. 1.	5h00'	6	89,0	14,8	680	790	110	WSW-WNW
20. 1.	18h00'	20. 1.	11h00'	20. 1.	17h00'	6	89,0	14,8	640	806	166	W
21. 1.	6h00'	20. 1.	23h00'	21. 1.	5h00'	6	99,3	16,6	660	844	184	W-WNW
24. 1.	9h00'	24. 1.	2h00'	24. 1.	8h00'	6	62,0	10,3	640	667	27	WSW
15. 2.	3h00'	14. 2.	20h00'	15. 2.	2h00'	6	70,2	11,7	680	734	54	WSW
26. 2.	13h00'	26. 2.	6h00'	26. 2.	12h00'	6	76,3	12,7	620	702	82	WNW-W
27. 2.	2h00'	26. 2.	19h00'	27. 2.	1h00'	6	73,0	12,2	660	738	78	W
27. 2.	14h00'	27. 2.	7h00'	27. 2.	13h00'	6	78,6	13,1	630	794	164	WNW
14. 3.	1h00'	13. 3.	18h00'	13. 3.	0h00'	6	65,6	10,9	660	764	104	SW-W
14. 3.	14h00'	14. 3.	7h00'	14. 3.	13h00'	6	82,0	13,7	640	786	146	W
14. 3.	14h00'	13. 3.	18h00'	14. 3.	13h00'	19	239,6	12,6	650	775	125	SW-W
3. 8.	21h00'	3. 8.	14h00'	3. 8.	20h00'	6	118,0	19,7	640	818	178	W
19. 10.	0h00'	19. 10.	17h00'	19. 10.	23h00'	6	69,4	11,6	640	730	90	WSW-W
20. 1.	18h00'	19. 1.	10h00'	20. 1.	17h00'	31	449,9	14,5	653	777	124	WSW-W
26. 10.	17h00'	26. 10.	10h00'	26. 10.	16h00'	6	83,2	13,9	660	794	134	SW
27. 10.	5h00'	26. 10.	22h00'	27. 10.	4h00'	6	89,6	14,9	670	823	153	NW-W

Tabelle 26

Eingetretene Windstau bei westlichen Winden mit Windgeschwindigkeiten > 10 m/s im Jahre 1938
am Pegel Husum für die Windstauermittlung bei NW

HW		Windzeitraum				Stunden	Wind auf West bezogen im Mittel m/s		NW		Unterschied	Windrichtung
Tag	Zeit	von Tag	Zeit	bis Tag	Zeit		Sa.	Mittel m/s	voraus-berechnet	ein-getreten		
29. 1.	7h00'	29. 1.	1h00'	29. 1.	6h00'	6	72,1	12,0	320	462	142	WSW
29. 1.	19h00'	29. 1.	12h00'	29. 1.	18h00'	6	87,9	14,7	320	592	272	W
30. 1.	9h00'	30. 1.	2h00'	30. 1.	8h00'	6	66,1	11,0	310	484	174	W
30. 1.	9h00'	29. 1.	0h00'	30. 1.	8h00'	32	418,5	13,1	317	513	196	WSW-W
1. 2.	22h00'	1. 2.	15h00'	1. 2.	21h00'	6	79,0	13,2	310	521	211	SW
3. 4.	10h00'	3. 4.	3h00'	3. 4.	9h00'	6	91,0	15,2	290	447	157	W
3. 10.	15h00'	3. 10.	8h00'	3. 10.	14h00'	6	59,4	9,9	350	454	104	SW
4. 10.	15h00'	4. 10.	8h00'	4. 10.	14h00'	6	42,5	7,1	340	545	205	SSW-WSW
5. 10.	5h00'	4. 10.	22h00'	5. 10.	4h00'	6	105,5	17,6	340	650	310	WSW
6. 10.	6h00'	5. 10.	23h00'	6. 10.	5h00'	6	70,3	11,7	330	466	136	SW-W-
8. 10.	7h00'	8. 10.	0h00'	8. 10.	6h00'	6	61,4	10,2	310	416	106	NW-W
8. 10.	20h00'	8. 10.	13h00'	8. 10.	19h00'	6	75,9	12,7	300	414	114	NW-W
8. 10.	20h00'	8. 10.	0h00'	8. 10.	19h00'	19	219,4	11,5	305	415	110	NW-W
10. 10.	9h00'	10. 10.	2h00'	10. 10.	8h00'	6	77,0	12,8	310	392	82	W
10. 10.	21h00'	10. 10.	14h00'	10. 10.	20h00'	6	64,8	10,8	310	362	52	WSW
11. 10.	9h00'	11. 10.	2h00'	11. 10.	8h00'	6	66,2	11,0	310	353	43	W-WSW
11. 10.	22h00'	11. 10.	15h00'	11. 10.	21h00'	6	77,5	12,9	310	379	69	WSW
13. 10.	23h00'	13. 10.	16h00'	13. 10.	22h00'	6	60,1	10,0	310	429	119	SW
14. 10.	11h00'	14. 10.	4h00'	14. 10.	10h00'	6	73,0	12,2	300	400	100	WSW
14. 10.	0h00'	14. 10.	17h00'	14. 10.	23h00'	6	97,6	16,3	310	415	105	W-WNW
14. 10.	11h00'	13. 10.	16h00'	14. 10.	10h00'	18	209,1	11,6	305	415	110	SW-WSW

Tabelle 27

Eingetretene Windstau bei westlichen Winden mit Windgeschwindigkeiten > 10 m/s im Jahre 1942
am Pegel Husum für die Windstauermittlung bei NW

6. 11.	22h00'	6. 11.	15h00'	6. 11.	21h00'	6	74,8	12,5	310	470	160	WSW
7. 11.	10h00'	7. 11.	3h00'	7. 11.	9h00'	6	83,1	13,9	310	426	116	WNW
7. 11.	23h00'	7. 11.	16h00'	7. 11.	22h00'	6	69,6	11,6	310	444	134	WNW-NW
—	—	7. 11.	3h00'	7. 11.	22h00'	19	251,7	13,3	310	435	125	WSW-NW
7. 12.	23h00'	7. 12.	16h00'	7. 12.	22h00'	6	56,9	9,5	320	487	167	W-WSW
15. 12.	5h00'	14. 12.	22h00'	15. 12.	4h00'	6	80,9	13,5	340	502	162	SW-W
25. 12.	1h00'	24. 12.	18h00'	25. 12.	0h00'	6	69,2	11,5	330	461	131	NW
13. 12.	2h00'	12. 12.	19h00'	13. 12.	1h00'	6	50,6	8,4	340	430	90	WSW
13. 12.	16h00'	13. 12.	9h00'	13. 12.	15h00'	6	73,0	12,2	330	440	110	W
—	—	12. 12.	19h00'	13. 12.	15h00'	20	228,0	11,4	325	435	100	WSW-W
16. 9.	12h00'	16. 9.	5h00'	16. 9.	11h00'	6	81,8	13,6	310	446	136	WNW-W
17. 9.	1h00'	16. 9.	18h00'	17. 9.	0h00'	6	97,8	16,3	310	436	126	W
—	—	16. 9.	5h00'	17. 9.	0h00'	19	285,6	15,6	310	441	131	W
16. 10.	0h00'	15. 10.	17h00'	15. 10.	23h00'	6	92,0	15,3	320	501	181	W
16. 10.	13h00'	16. 10.	6h00'	16. 10.	12h00'	6	81,8	13,6	320	481	161	W-WNW
—	—	15. 10.	17h00'	16. 10.	12h00'	19	300,8	15,8	320	491	171	W-WNW

Tabelle 28

Eingetretene Windstau bei westlichen Winden mit Windgeschwindigkeiten > 10 m/s im Jahre 1944
am Pegel Husum für die Windstauermittlung bei NW

HW		Windzeitraum				Stunden	Wind auf West bezogen		HW		Unterschied	Windrichtung
Tag	Zeit	von Tag	Zeit	bis Tag	Zeit		Sa.	im Mittel m/s	voraus-berechnet	ein-getreten		
12. 11.	21h00'	12. 11.	14h00'	12. 11.	21h00'	6	86,7	14,5	300	500	200	WNW-NW
3. 1.	2h00'	2. 1.	21h00'	3. 1.	2h00'	6	83,9	14,0	330	448	118	WSW-W
3. 1.	14h00'	3. 1.	7h00'	3. 1.	13h00'	6	53,0	8,8	330	380	50	WSW-WNW
6. 1.	4h00'	5. 1.	23h00'	6. 1.	3h00'	6	51,7	8,6	340	387	47	SW
6. 1.	18h00'	6. 1.	11h00'	6. 1.	17h00'	6	85,2	14,2	330	457	127	WSW
7. 1.	6h00'	6. 1.	23h00'	7. 1.	5h00'	6	50,0	8,3	330	398	68	W
—	—	5. 1.	21h00'	7. 1.	5h00'	32	359,1	11,2	333	414	81	SW-W
2. 3.	14h00'	2. 3.	7h00'	2. 3.	14h00'	6	62,7	10,5	320	387	67	WNW
3. 3.	3h00'	2. 3.	20h00'	3. 3.	2h00'	6	107,2	16,9	320	523	203	W-WNW
3. 3.	14h00'	3. 3.	7h00'	3. 3.	13h00'	6	60,4	10,1	320	408	88	W-WNW
2. 5.	16h00'	2. 5.	9h00'	2. 5.	15h00'	6	63,8	11,5	330	386	56	WSW
3. 5.	5h00'	2. 5.	22h00'	3. 5.	4h00'	6	72,9	12,2	320	397	77	WSW
3. 5.	—	2. 5.	9h00'	3. 5.	4h00'	19	226,2	11,9	325	392	67	WSW-W
3. 5.	19h00'	3. 5.	12h00'	3. 5.	18h00'	6	117,0	19,5	330	550	220	W
4. 5.	7h00'	4. 5.	0h00'	4. 5.	6h00'	6	104,5	17,4	310	418	108	WNW
1. 9.	7h00'	1. 9.	0h00'	1. 9.	6h00'	6	63,8	10,6	330	452	122	W-SW-WSW
1. 9.	21h00'	1. 9.	14h00'	1. 9.	20h00'	6	100,0	16,7	320	414	94	W
1. 9.	—	1. 9.	0h00'	1. 9.	20h00'	20	288,5	14,4	325	433	108	WSW-W-
12. 11.	21h00'	12. 11.	14h00'	12. 11.	21h00'	6	86,7	14,5	300	500	200	WNW-NW
3. 5.	—	2. 5.	9h00'	3. 5.	4h00'	19	226,2	11,9	325	392	67	WSW-W

Tabelle 29

Eingetretene Windstau bei westlichen Winden mit Windgeschwindigkeiten > 10 m/s im Jahre 1949
am Pegel Husum für die Windstauermittlung bei NW

5. 11.	23h00'	5. 11.	16h00'	5. 11.	22h00'	6	97,0	16,2	315	548	233	W
10. 11.	2h00'	9. 11.	19h00'	10. 11.	1h00'	6	85,4	14,2	360	517	157	SW-WSW
10. 11.	16h00'	9. 11.	19h00'	10. 11.	15h00'	20	301,3	15,1	350	492	142	SW-WNW
21. 11.	11h00'	20. 11.	16h00'	21. 11.	11h00'	19	155,4	8,2	330	389	59	WSW
29. 12.	20h00'	29. 12.	13h00'	29. 12.	19h00'	6	67,0	11,2	320	496	176	W
9. 1.	1h00'	8. 1.	18h00'	8. 1.	0h00'	6	57,3	9,6	360	408	48	SW
21. 1.	2h00'	20. 1.	19h00'	21. 1.	1h00'	6	110,7	18,5	330	554	224	W-NW
24. 1.	16h00'	24. 1.	9h00'	24. 1.	15h00'	6	45,4	7,6	350	370	20	WSW-NNW
14. 2.	22h00'	14. 2.	15h00'	14. 2.	21h00'	6	63,9	10,7	320	344	24	WSW
27. 2.	9h00'	27. 2.	2h00'	27. 2.	8h00'	6	89,8	15,0	300	460	160	W-WNW
14. 3.	8h00'	14. 3.	1h00'	14. 3.	7h00'	6	81,0	13,5	310	426	116	W
1. 8.	14h00'	1. 8.	7h00'	1. 8.	13h00'	6	82,0	13,7	320	387	67	W
3. 8.	16h00'	3. 8.	9h00'	3. 8.	15h00'	6	99,0	16,5	340	518	178	W
4. 8.	5h00'	3. 8.	22h00'	4. 8.	4h00'	6	111,0	18,5	340	468	128	W
4. 8.	17h00'	4. 8.	10h00'	4. 8.	16h00'	6	99,6	16,6	340	459	119	WNW
4. 8.	17h00'	3. 8.	22h00'	4. 8.	16h00'	18	316,9	17,6	340	464	124	W-WNW
4. 8.	17h00'	3. 8.	9h00'	4. 8.	16h00'	31	554,9	17,9	340	482	142	W-WNW
3. 10.	5h00'	2. 10.	22h00'	3. 10.	4h00'	6	80,0	13,3	330	465	135	W
24. 10.	10h00'	24. 10.	3h00'	24. 10.	9h00'	6	89,2	14,9	310	510	200	SW-WSW
27. 10.	1h00'	26. 10.	18h00'	26. 10.	0h00'	6	89,3	14,9	310	499	189	SW

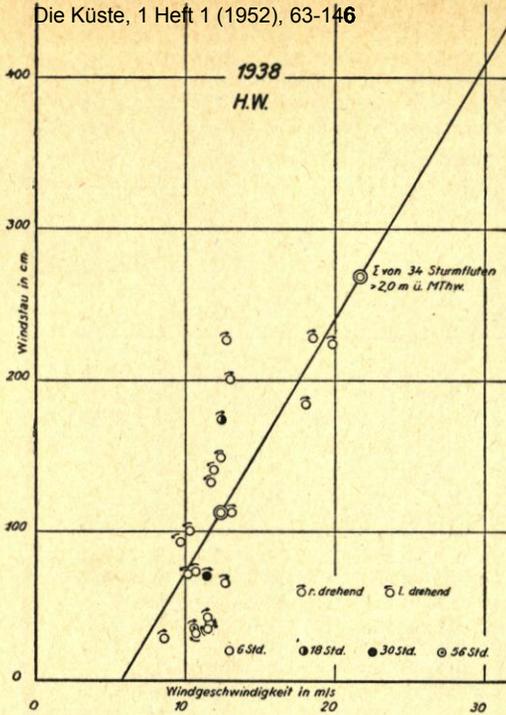


Abb. 58. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1938 bei HW a. P. Husum)

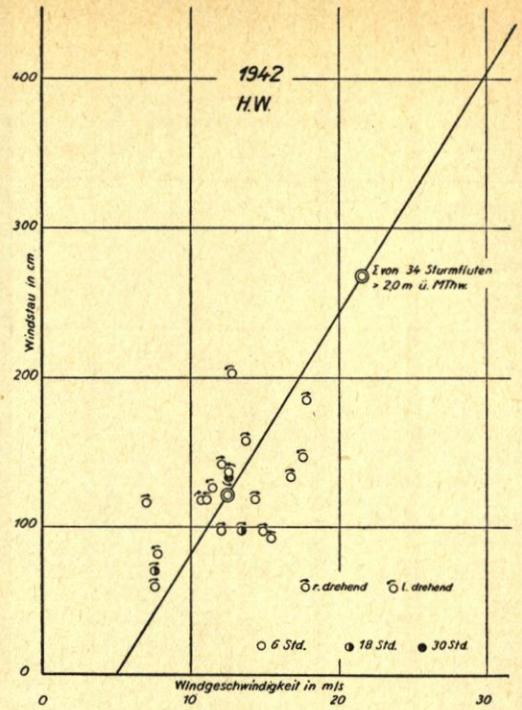


Abb. 59. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1942 bei HW a. P. Husum)

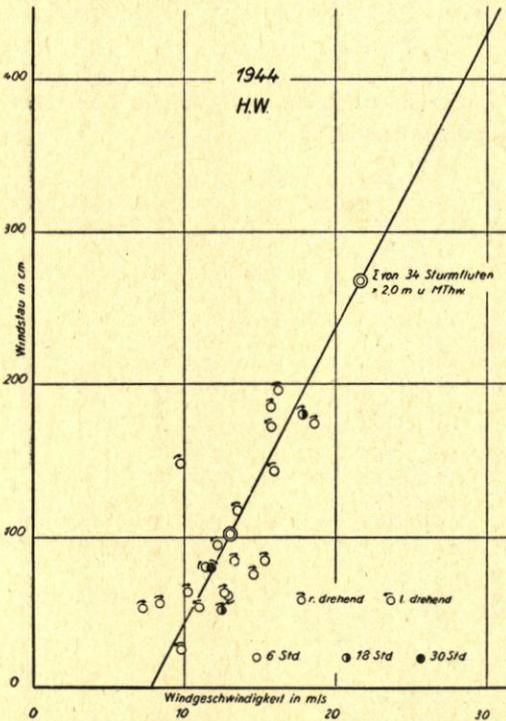


Abb. 60. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1944 bei HW a. P. Husum)

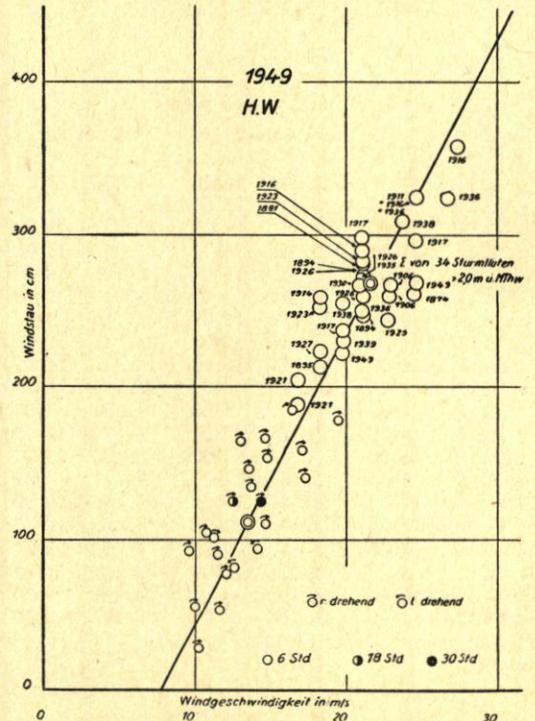


Abb. 61. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1949 bei HW a. P. Husum)

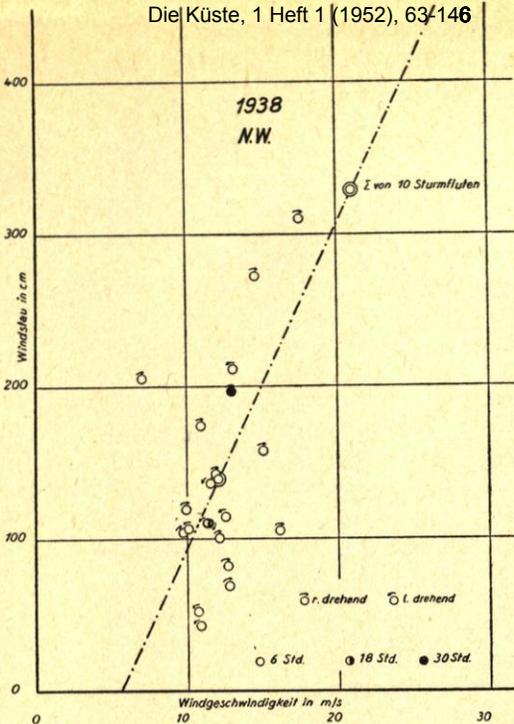


Abb. 62. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1938 bei NW a. P. Husum)

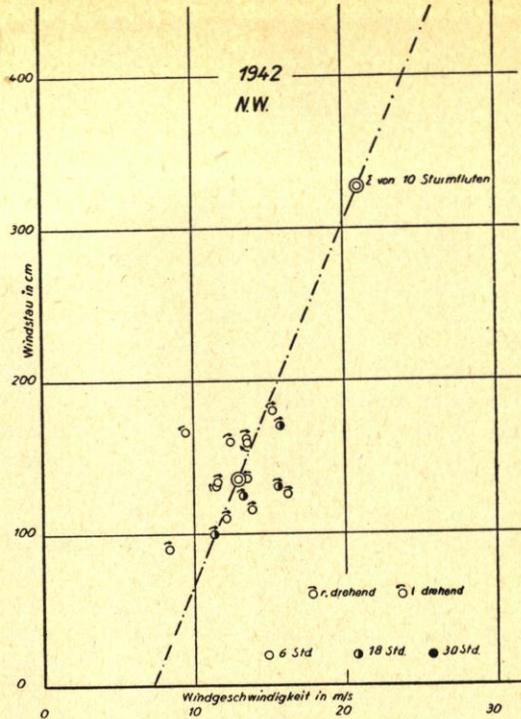


Abb. 63. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1942 bei NW a. P. Husum)

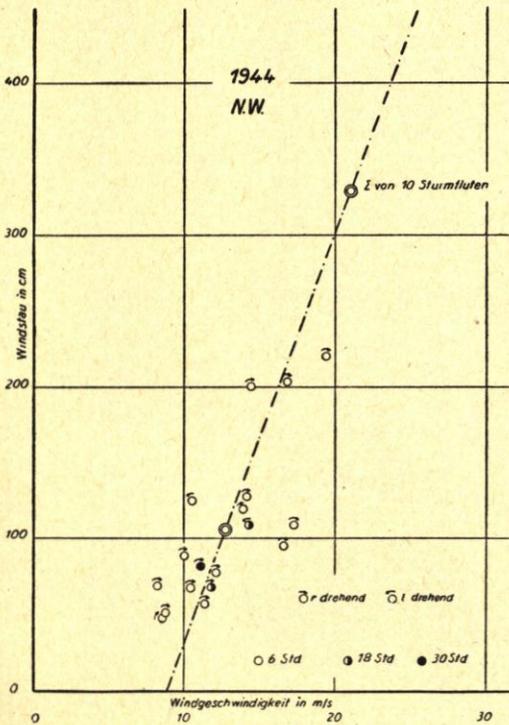


Abb. 64. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1944 bei NW a. P. Husum)

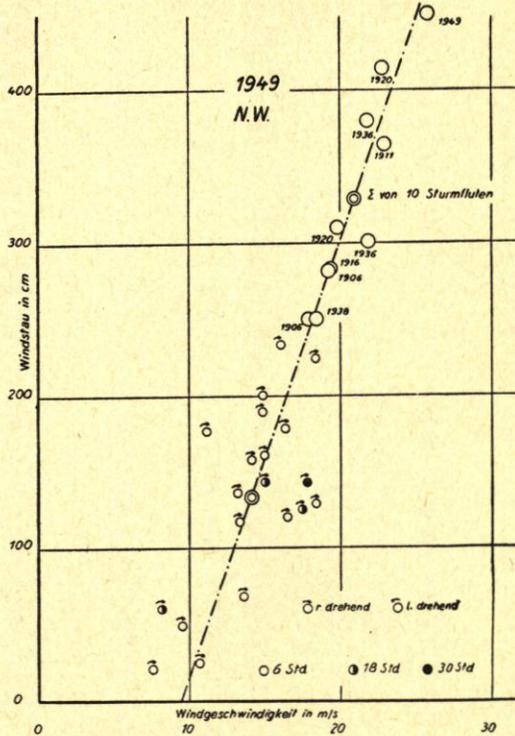


Abb. 65. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1949 bei NW a. P. Husum)

gefundenen mittleren Windgeschwindigkeiten sind mit den am Ende des gewählten Zeitabschnitts eingetretenen Windstauwerten (Differenz zwischen der vorausgerechneten Tidekurve und der eingetretenen) in ein Koordinatennetz eingetragen worden (Abb. 58—65). Für jedes Abflußjahr wurde aus der gefundenen Punktschar der Schwerpunkt errechnet. Der Nullpunkt der Bezugskurve ist bei 4 m/s Windgeschwindigkeit angenommen, weil bei diesen geringen Windgeschwindigkeiten kein merkbarer Einfluß des Windes auf die Wasserstände in Husum mehr festgestellt werden kann. Da die auf diese Weise gefundenen Werte aber nur den Bereich von etwa 10 bis 20 m/s umfassen, mußten zur Festlegung der Bezugslinie im höheren Bereich auch einige Sturmfluten mit Wasserständen von mehr als 2,00 m über MThw herangezogen werden. Mangels genauer örtlicher Windregistrierungen mußten allerdings für die Sturmfluten von 1874 bis 1936 die oft sehr ungenauen örtlichen Windschätzungen aus den Sturmflutberichten benutzt werden (Tab. 30 und 31). Zur Festlegung der Bezugskurve für den Windstau bei NW konnten nur zehn Sturmfluten verwendet werden, weil sich nur für diese der Windstau über NW aus den Unterlagen ermitteln ließ.

Die Höhe der vorhergehenden Wasserstände wurde hierbei nicht berücksichtigt, obgleich diese auf den Windstau auch einen Einfluß haben. Wenn auch einzelne Punkte der Punktscharen noch stark streuen (vor allem bei Winden aus SW bzw. NW, die anscheinend in

Tabelle 30
Eingetretene Windstau- und Windgeschwindigkeiten bei 34 Sturmfluten > 2,0 m über MThw am Pegel Husum für die Windstauermittlung bei HW

Lfd. Nr.	Jahr	Datum	wirksame Windkomponente		Windrichtung	HW		Unterschied
			Stärke	m/s		vorausgerechnet	eingetreten	
1	1874	22. Okt.	11	24,9	WNW	650	913	263
2	1881	15. Okt.	10	21,3	WNW	650	935	285
3	1894	12. Febr.	10	21,3	WSW/W	660	935	275
4	1894	23. Dez.	10	21,3	WNW	640	888	248
5	1895	7. Dez.	9	18,5	WNW	640	853	213
6	1906	12. März	10—11	23,1	WSW/NW	630	892	262
7	1906	13. März	10—11	23,1	WSW/NW	660	927	267
8	1911	6. Nov.	11	24,9	WSW	640	965	325
9	1914	12. Nov.	9	18,5	WSW/WNW	640	899	259
10	1916	13. Jan.	11	24,9	WNW	610	935	325
11	1916	16. Febr.	11—12	27,7	W/WNW	650	1009	359
12	1916	24. Dez.	10	21,3	WSW	650	940	290
13	1917	24. Nov.	9	20,0	W	620	857	237
14	1917	25. Okt.	10	21,3	WNW/W	610	909	299
15	1917	2. Dez.	11	24,9	SW/NW	640	937	297
16	1921	18. Dez.	8	17,0	W	680	867	187
17	1921	21. Dez.	8	17,0	W	670	883	213
18	1923	30. Aug.	9	18,5	WSW	670	923	253
19	1923	18. Dez.	10	21,3	WNW/W	620	903	283
20	1926	10. Okt.	10	21,3	WSW/W	650	910	260
21	1926	10. Okt.	10	21,3	W/NW	660	935	275
22	1926	12. Okt.	10	21,3	WNW/NW	650	920	270
23	1927	29. Okt.	9	18,5	WSW	650	873	223
24	1928	17. Nov.	9	20,0	W	650	905	255
25	1928	24. Nov.	10	23,0	W	670	914	244
26	1930	23. Nov.	9—10	21,3	WNW	650	922	272
27	1935	19. Okt.	9—10	21,3	WSW	620	894	274
28	1936	18. Okt.	11	24,9	W/WNW	650	975	325
29	1936	27. Okt.	11	27,0	W	650	975	325
30	1936	1. Dez.	10	21,3	W/NW	660	910	250
31	1938	24. Nov.	11	24,0	WSW	660	970	310
32	1939	27. Nov.	9	20,0	W	650	880	230
33	1949	9/10. Febr.	11—12	24,9	WSW/W	640	909	269
34	1949	24. Okt.	10	19,9	SW/W	700	922	222

Husum einen noch etwas größeren Windstau hervorrufen, als die Umrechnung ergibt), so zeigt doch die in Abbildung 66 erfolgte Zusammenfassung der vier Abflußjahre und der Sturmfluten eine befriedigende Übereinstimmung und ermöglicht die Konstruktion von Windstau bezugs-kurven für HW und NW. Wenn auch diese verhältnismäßig rohe Untersuchungsmethode keinen Anspruch auf mathematische Genauigkeit erheben kann, so liefert sie doch bereits mit der Erfahrung gut übereinstimmende Windstauwerte (Abb. 67).

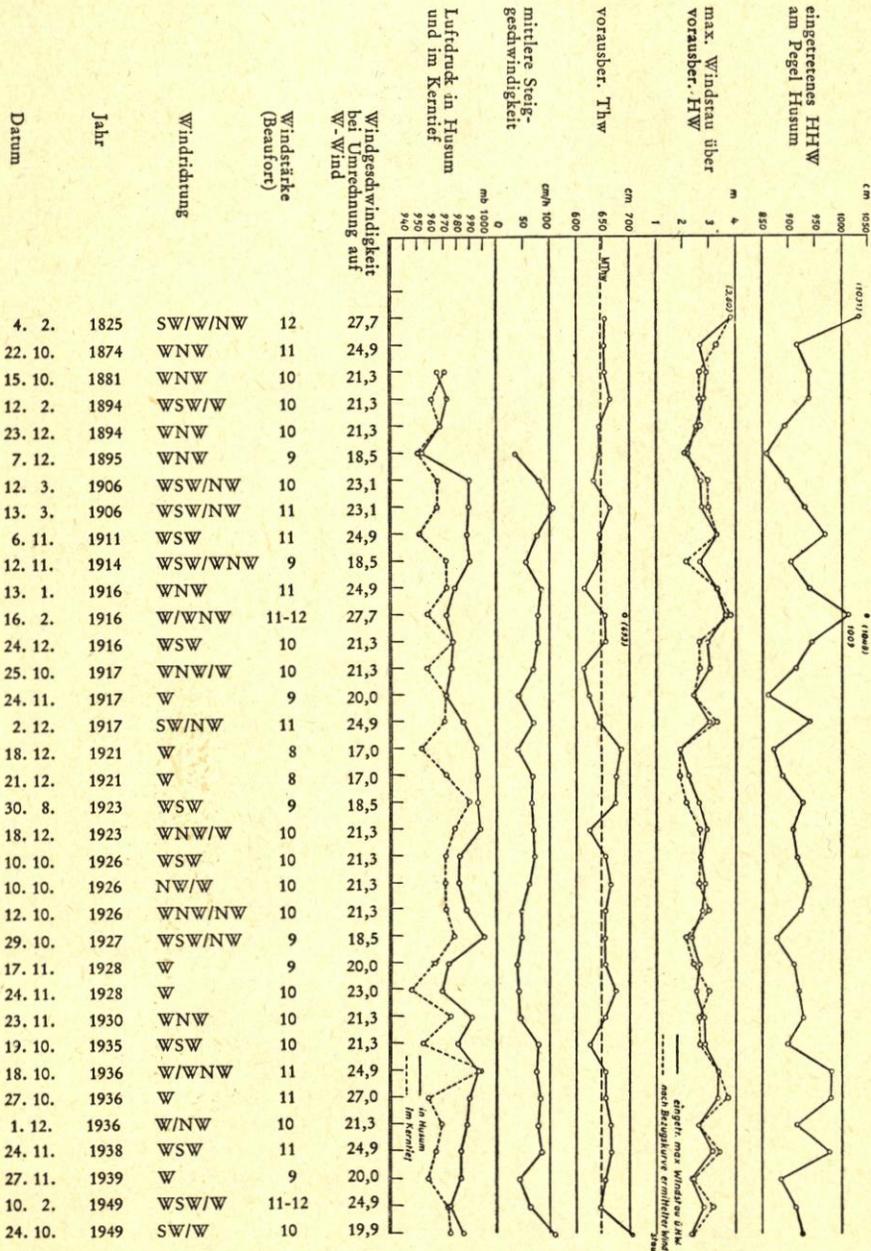


Abb. 67. 35 Sturmfluten am Pegel Husum von > 2 m über MThw

Tabelle 31
Eingetretene Windstau und Windgeschwindigkeiten bei 12 Sturmfluten > 2,5 m über MThw
am Pegel Husum für die Windstauermittlung bei HW

Jahr	Datum	wirks. Komp. Windgeschwindigkeit m/s	Windrichtung	HW		Aufstau cm
				vorber. cm	einget. cm	
1906	12. März	23,1	WSW/NW	630	892	262
1906	13. März	23,1	WSW/NW	660	927	267
1911	6. Nov.	24,9	WSW	640	965	325
1916	16. Febr.	27,7	W/WNW	610	935	359
1926	10. Okt.	21,3	WSW/W	650	910	260
1926	10. Okt.	21,3	W/NW	660	935	275
1926	12. Okt.	21,3	WNW/NW	650	920	270
1936	18. Okt.	24,9	W/WNW	650	975	325
1936	27. Okt.	27,0	W	650	975	325
1938	24. Nov.	24,0	WSW	660	970	310
1949	9./10. Febr.	24,9	WSW/W	640	909	269
1949	24. Okt.	19,9	SW/W	700	922	222

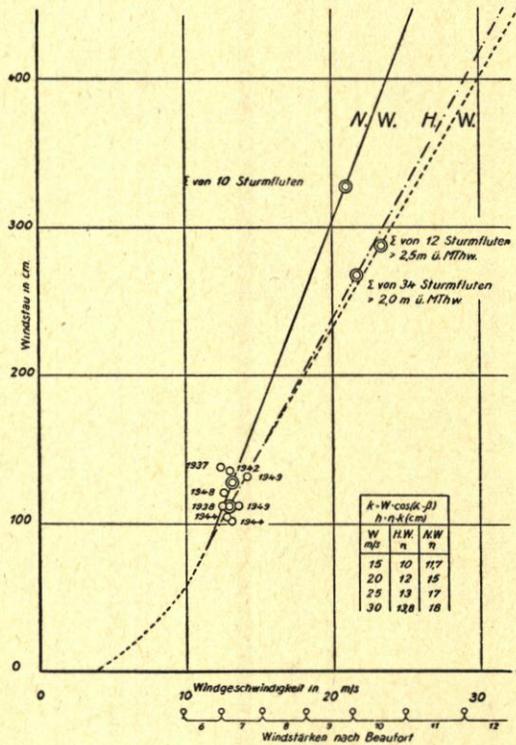


Abb. 66. Windstau bezugscurve bei HW und NW am Pegel Husum

Zur Bezugscurve nach Abbildung 66 ist noch zu bemerken, daß eine lineare Beziehung angenommen wurde, obwohl die Ansichten anderer Untersucher gerade in diesem Punkt auseinandergehen. Eine Entscheidung darüber wird erst dann möglich sein, wenn im Bereich der hohen Windgeschwindigkeiten zahlreichere und einwandfreie Unterlagen zur Verfügung stehen.

Die Werte für den Intensitätsfaktor in Husum lassen sich den Windstaubezugskurven entnehmen und betragen (für h in cm):

für $w = 15$ m/s	etwa	10,0	bei	HW,	etwa	11,7	bei	NW
„ $w = 20$ „	„	12,0	„	„	„	15,0	„	„
„ $w = 25$ „	„	13,0	„	„	„	17,0	„	„
„ $w = 30$ „	„	13,8	„	„	„	18,0	„	„

Auf Grund der so ermittelten Bezugskurve kann man vorläufig annehmen, daß der Windstau in Husum bei Windstärke 12 (30 m/s) bis auf 4,0 m ansteigen kann.

C) Der höchstmögliche Wasserstand am Pegel Husum

1. Ermittlung aus dem bisher größten, einwandfrei beobachteten Windstau

Die Sturmflut vom 16. 2. 1916 gilt als die höchste Sturmflut an der Westküste seit der ungenau überlieferten großen Flut von 1825 und ist eindeutig höhenmäßig festgelegt. Der Windstau von rund 350 cm zur Zeit des vorausberechneten HW ist der größte bisher an der Westküste erfaßte Wert. Die maximale Steiggeschwindigkeit war in Husum 125 cm/h (in 2 Stunden = 245 cm). Die mittlere Steiggeschwindigkeit betrug in Husum 75 cm/h und in Tönning und Büsum 82 cm/h, erreichte also fast die Werte der Sturmflut von 1938.

Vom Deutschen Hydrographischen Institut in Hamburg sind die Gezeitengrundwerte am Pegel Husum für die Zeit von 1936 bis 1947 wie folgt angegeben:

HSpHW	=	700 cm	=	+ 2,00 m NN
MSpHW	=	659 cm	=	+ 1,59 m NN
MThw	=	645 cm	=	+ 1,45 m NN
MNpHW	=	626 cm	=	+ 1,26 m NN
MNpNW	=	339 cm	=	- 1,61 m NN
MTnw	=	313 cm	=	- 1,87 m NN
MSpNW	=	299 cm	=	- 2,01 m NN

Der Unterschied zwischen MSpHW und MNpHW beträgt demnach 33 cm, der entsprechende Wert für NW 40 cm. Der mittlere Tidehub ist zu 332 cm errechnet, die größte tägliche Ungleichheit zur Springzeit zu 40 cm.

Die ungünstigste astronomische Tide kann nach Angabe des Deutschen Hydrographischen Instituts in den Sturmflutmonaten Oktober bis März in Husum eine höchste Höhe von 394 cm über MSpNW erreichen. Da das MSpNW mit - 2,01 m NN angegeben wird, liegt das höchstmögliche vorberechnete HW demnach auf + 193 cm NN. Addiert man hierzu den zur vorausberechneten HW-Zeit bisher beobachteten größten Windstau von 350 cm, so ergibt sich ein höchstmöglicher Sturmflutwasserstand von $193 + 350 = 543$ cm NN, während im Februar 1916 tatsächlich nur 509 cm NN eingetreten sind.

2. Weitere Versuche der Ermittlung

Wenn auch den folgenden Verfahren keinerlei Beweiskraft zugebilligt werden kann, so mögen sie doch von einem gewissen Interesse sein und deshalb kurz erwähnt werden.

a) Der Verlauf der Sturmflut im Februar 1949 war verhältnismäßig günstig, weil die stärkste Windwirkung nicht mit der größten Wirkung der Gestirnstide zusammenfiel. Man kann den Versuch machen, einen möglichen Verlauf dieser Flut zu entwickeln, wenn Windflut und Gestirnsflut voll zusammengewirkt hätten, d. h. wenn der Sturm etwa fünf Stunden früher eingesetzt hätte.

In Abbildung 68 sind die Tidestiege der höchsten Sturmfluten in Husum für die Zeit von 1906 bis 1949 und für Tönning (1938) aufgetragen. Ferner wurde die Sturmflut vom 12. 2. 1894 mit herangezogen, bei der ebenfalls vor HHW außerordentlich hohe Windgeschwindigkeiten

aufgetreten sind. Der unter ungünstigeren, aber denkbaren Verhältnissen mögliche Verlauf der Sturmflut vom Februar 1949 wurde in Abbildung 69 entwickelt. Die Vorverlegung des Windes um fünf Stunden würde bereits zwei Stunden vor NW stärkere Südwestwinde auftreten lassen, die wie bei der ähnlich verlaufenden Sturmflut 1938 eine Erhöhung des NW um 84 cm (424 cm a. P.) erzeugen könnten. Bis fünf Stunden nach NW wurde der Sturmflutverlauf etwa der Sturmflutkurve von Tönning aus dem Jahre 1938 angepaßt, weil damals ähnlich hohe Windgeschwindigkeiten wie 1949 aufgetreten sind. Da aber am 10. 2. 1949 die Windstärke fünf Stunden nach NW noch weiter zunahm, ist für die konstruierte Sturmflutkurve 1949 noch zwei Stunden länger ein Tidesieg von 0,84 bzw. 0,54 m/h beibehalten worden (Abb. 45 und 69). Das ist etwa der gleiche Tidesieg, wie er 1938 in Husum während der letzten zwei Stunden vor HHW vorlag (Abb. 39 und 68). Die Steigdauer wurde somit (entsprechend 1938 in Husum und Büsum) auf insgesamt sieben Stunden angesetzt. Es ergibt sich dann ein Tidesieg von 626 cm und damit ein HHW von 424 (vorausgehendes NW) + 626 (Tidesieg) = 1050 cm a. P. = 5,50 m NN.

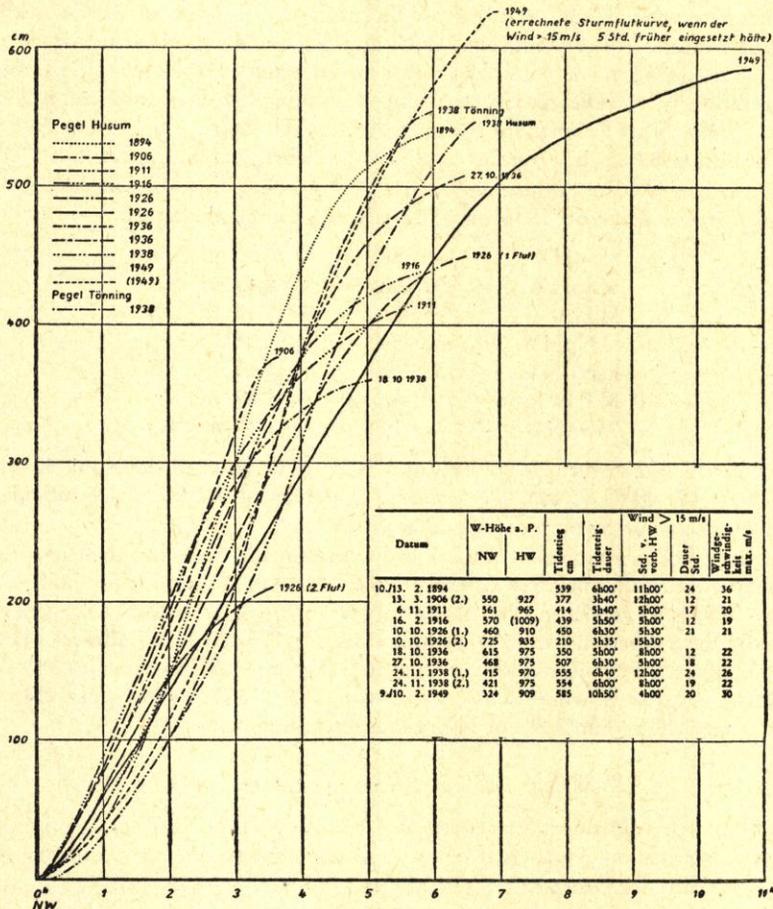


Abb. 68. Tidesieg einiger Sturmfluten von 1906—1949

b) An Hand der Windstaubezugskurve läßt sich der wahrscheinliche Höchstwasserstand der Sturmflut 1825 ermitteln, wenn man die Angaben über die Windverhältnisse als zutreffend ansieht. Nach dem Bericht des Deichinspektors CHRISTENSEN herrschte Windstärke 12 bei einer Windrichtung von SW über W nach NW. Nach Reduzierung auf die Westwindlage entspricht

dies einer mittleren Windgeschwindigkeit von 27,7 m/s. Der dazugehörige Windstauwert bei HW ist nach Abbildung 66 rund 3,80 m. Nimmt man nach GAYE das MThw von 1825 ungünstig zu 623 cm a. P. Husum an und rechnet für die Erhöhung des MThw zur Springzeit 28 cm (nach NEHLS), so ergibt sich das vorausberechnete HW zu $623 + 28 = 651$ cm a. P. Husum. Das HHW in Husum würde demnach $651 + 380 = 1031$ cm a. P. = 5,31 m NN betragen haben.

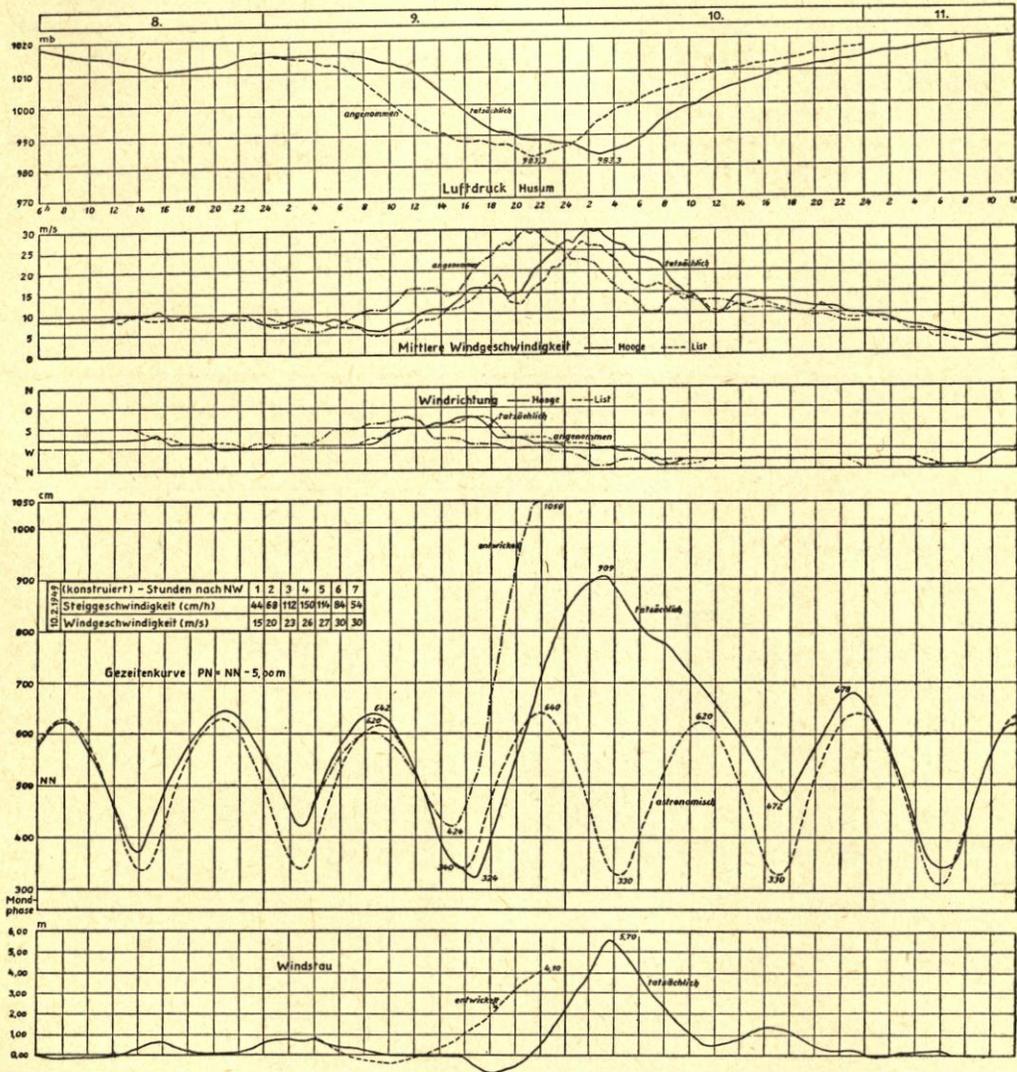


Abb. 69. Tidekurven und Wetterverhältnisse während der Sturmflut am 10. Februar 1949 (Pegel Husum)

3. Der wahrscheinlich höchstmögliche Wasserstand

Wären die anlässlich der Sturmflut vom 16. 2. 1916 aufgetretenen Windverhältnisse mit dem in den Sturmflutmonaten Oktober bis März astronomisch höchstmöglichen Wasserstand zusammengefallen, so hätte sich wahrscheinlich ein HHW von 5,43 m NN ergeben. Die Auswertung alter Berichte über die Sturmflut des Jahres 1825 liefert, auch unter Benutzung der

Windstaubezugskurve, Höchstwasserstände, die zwischen 4,83 m NN und 5,49 m NN liegen. Ebenfalls der reichlich problematische Versuch, einen ungünstigeren Verlauf der Sturmflut vom Februar 1949 zu konstruieren, führt zu einem HHW von 5,50 m NN.

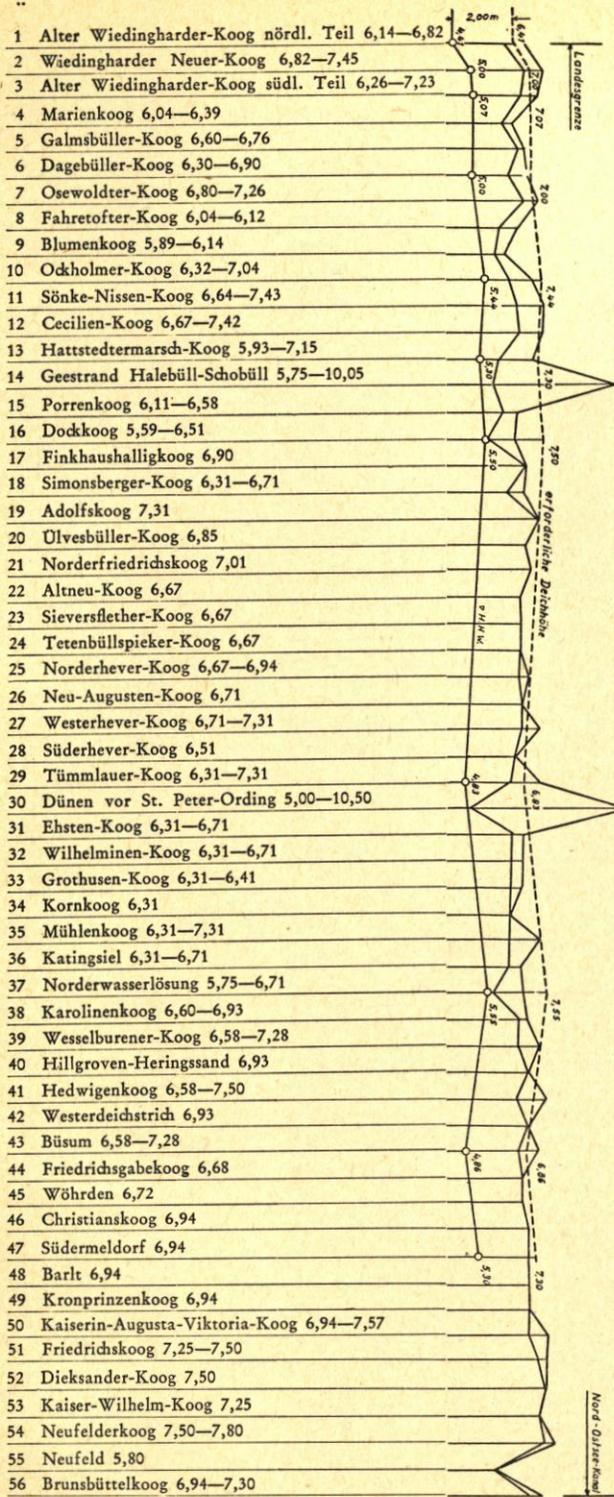
Vergleichsweise sei erwähnt, daß GROSSMANN (12) zu dem Schluß kommt, daß man „für die Nordseeküste nördlich von der Elbe etwa 5 bis 5,2 m über NN als äußerste bisher erreichte Fluthöhe annehmen kann“. Daß auch die zwei höchsten Sturmfluten aus historischer Zeit (1634 und 1717) keine höheren Wasserstände als die vorstehend ermittelten aufzuweisen hatten, darf aus dem Bericht des Deichinspektors SALCHOW entnommen werden. Hiernach soll 1825 das HHW 1 Fuß 5 Zoll höher gestanden haben als am 11. 11. 1634 und auch bei der Weihnachtsflut 1717 soll der Wasserstand $1\frac{1}{2}$ Fuß niedriger gewesen sein als 1825.

Somit darf gefolgert werden, daß der für Husum mit 5,50 m NN ermittelte Höchstwasserstand in historischer Zeit nicht überschritten worden ist und daß zur Zeit keine Anzeichen zu erkennen sind, die auf eine mögliche Überschreitung in absehbarer Zukunft hinweisen.

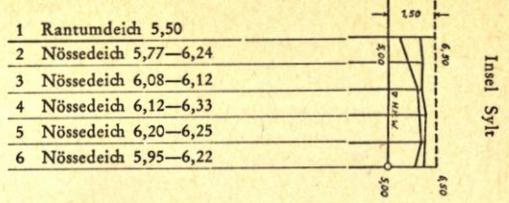
Tabelle 32

Wahrscheinliche Höchstwasserstände an der schleswig-holsteinischen Westküste
(bezogen auf das für Husum ermittelte HHW)

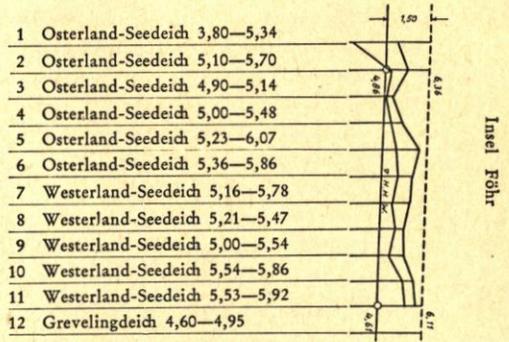
Pegelstation	HHW in Husum (cm)	Unterschied bei Sturm- flut (cm)	HHW cm NN	Unterschied bei Sturm- flut 1938	HHW cm NN	HHW von 1825 cm NN
List	550	— 143	<u>407</u>	— 158	392	—
Hindenburgdamm-Nord	550	— 109	<u>441</u>	— 146	404	—
Hindenburgdamm-Süd	550	— 64	<u>486</u>	— 50	<u>500</u>	—
Hörnum	550	— 134	<u>416</u>	— 114	<u>436</u>	—
Südwesthörn	550	— 63	<u>487</u>	— 43	<u>507</u>	—
Dagebüll	550	— 77	<u>473</u>	— 50	<u>500</u>	—
Bongsiel	550	— 29	<u>521</u>	— 6	<u>544</u>	505
Arlauschleuse	550	— 23	<u>527</u>	— 20	<u>530</u>	—
Husum	550	0	<u>550</u>	0	550	531
Nordstrand-West	550	— 20	<u>530</u>	— 20	530	500
Nordstrand-Ost	550	— 5	<u>545</u>	—	—	—
Pellworm	550	— 48	<u>502</u>	— 50	500	475
Süderoog	550	— 94	<u>456</u>	— 94	456	—
Hooge	550	— 100	<u>450</u>	— 86	<u>464</u>	494
Amrum (Wittdün)	550	— 128	<u>422</u>	— 105	<u>445</u>	—
Föhr (Wyk)	550	— 83	<u>467</u>	— 64	<u>486</u>	444
Die Halligen	550	— 35	<u>515</u>	— 25	<u>525</u>	—
Tümmelauer Bucht	550	— 70	<u>480</u>	— 67	<u>483</u>	481
Tönning	550	— 17	<u>533</u>	+ 5	<u>555</u>	512
Büsum	550	— 52	<u>498</u>	— 76	<u>474</u>	505
Meldorf	550	— 30	<u>520</u>	— 40	510	—
Trischen	550	— 95	<u>455</u>	— 112	438	—



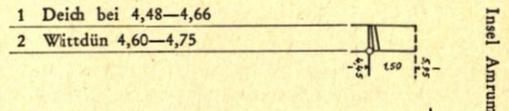
- 1 Alter Wiedingharder-Koog nördl. Teil 6,14—6,82
- 2 Wiedingharder Neuer-Koog 6,82—7,45
- 3 Alter Wiedingharder-Koog südl. Teil 6,26—7,23
- 4 Marienkoog 6,04—6,39
- 5 Galmsbüller-Koog 6,60—6,76
- 6 Dagebüller-Koog 6,30—6,90
- 7 Osewoldter-Koog 6,80—7,26
- 8 Fahretofter-Koog 6,04—6,12
- 9 Blumenkoog 5,89—6,14
- 10 Ockholmer-Koog 6,32—7,04
- 11 Sönke-Nissen-Koog 6,64—7,43
- 12 Cecilien-Koog 6,67—7,42
- 13 Hattstedtermarsch-Koog 5,93—7,15
- 14 Geestrand Halebüll-Schobüll 5,75—10,05
- 15 Porrenkoog 6,11—6,58
- 16 Dockkoog 5,59—6,51
- 17 Finkhaushalligkoog 6,90
- 18 Simonsberger-Koog 6,31—6,71
- 19 Adolfskoog 7,31
- 20 Ulvesbüller-Koog 6,85
- 21 Norderfriedrichskoog 7,01
- 22 Altneu-Koog 6,67
- 23 Sieversflether-Koog 6,67
- 24 Tetenbüllspieker-Koog 6,67
- 25 Norderhever-Koog 6,67—6,94
- 26 Neu-Augusten-Koog 6,71
- 27 Westerhever-Koog 6,71—7,31
- 28 Süderhever-Koog 6,51
- 29 Tümlauer-Koog 6,31—7,31
- 30 Dünen vor St. Peter-Ording 5,00—10,50
- 31 Ehsten-Koog 6,31—6,71
- 32 Wilhelminen-Koog 6,31—6,71
- 33 Grothusen-Koog 6,31—6,41
- 34 Kornkoog 6,31
- 35 Mühlenkoog 6,31—7,31
- 36 Katingsiel 6,31—6,71
- 37 Norderwasserlösung 5,75—6,71
- 38 Karolinenkoog 6,60—6,93
- 39 Wesselburener-Koog 6,58—7,28
- 40 Hillgroven-Heringssand 6,93
- 41 Hedwigenkoog 6,58—7,50
- 42 Westerdeichstrich 6,93
- 43 Büsum 6,58—7,28
- 44 Friedrichsgabekoog 6,68
- 45 Wöhrden 6,72
- 46 Christianskoog 6,94
- 47 Südermeldorf 6,94
- 48 Bartl 6,94
- 49 Kronprinzenkoog 6,94
- 50 Kaiserin-Augusta-Viktoria-Koog 6,94—7,57
- 51 Friedrichskoog 7,25—7,50
- 52 Dieksander-Koog 7,50
- 53 Kaiser-Wilhelm-Koog 7,25
- 54 Neufelderkoog 7,50—7,80
- 55 Neufeld 5,80
- 56 Brunsbüttelkoog 6,94—7,30



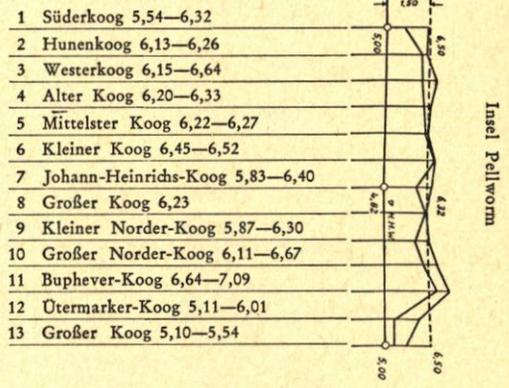
- 1 Rantumdeich 5,50
- 2 Nössedeich 5,77—6,24
- 3 Nössedeich 6,08—6,12
- 4 Nössedeich 6,12—6,33
- 5 Nössedeich 6,20—6,25
- 6 Nössedeich 5,95—6,22



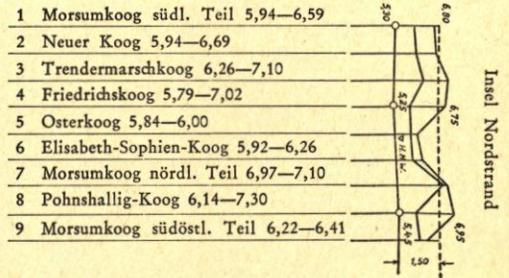
- 1 Osterland-Seedeich 3,80—5,34
- 2 Osterland-Seedeich 5,10—5,70
- 3 Osterland-Seedeich 4,90—5,14
- 4 Osterland-Seedeich 5,00—5,48
- 5 Osterland-Seedeich 5,23—6,07
- 6 Osterland-Seedeich 5,36—5,86
- 7 Westerland-Seedeich 5,16—5,78
- 8 Westerland-Seedeich 5,21—5,47
- 9 Westerland-Seedeich 5,00—5,54
- 10 Westerland-Seedeich 5,54—5,86
- 11 Westerland-Seedeich 5,53—5,92
- 12 Grevelingdeich 4,60—4,95



- 1 Deich bei 4,48—4,66
- 2 Wittdün 4,60—4,75



- 1 Süderkoog 5,54—6,32
- 2 Hunenkoog 6,13—6,26
- 3 Westerkoog 6,15—6,64
- 4 Alter Koog 6,20—6,33
- 5 Mittelster Koog 6,22—6,27
- 6 Kleiner Koog 6,45—6,52
- 7 Johann-Heinrichs-Koog 5,83—6,40
- 8 Großer Koog 6,23
- 9 Kleiner Norder-Koog 5,87—6,30
- 10 Großer Norder-Koog 6,11—6,67
- 11 Buphever-Koog 6,64—7,09
- 12 Utermarker-Koog 5,11—6,01
- 13 Großer Koog 5,10—5,54



- 1 Morsumkoog südl. Teil 5,94—6,59
- 2 Neuer Koog 5,94—6,69
- 3 Trendermarschkoog 6,26—7,10
- 4 Friedrichskoog 5,79—7,02
- 5 Osterkoog 5,84—6,00
- 6 Elisabeth-Sophien-Koog 5,92—6,26
- 7 Morsumkoog nördl. Teil 6,97—7,10
- 8 Pohnshallig-Koog 6,14—7,30
- 9 Morsumkoog südöstl. Teil 6,22—6,41

Abb. 70. Höhen der Seedeiche an der Westküste Schleswig-Holsteins und auf den Inseln, Höhenangaben auf NN bezogen

D. Anwendung auf die Deichhöhen an der schleswig-holsteinischen Westküste

In Tabelle 16 sind die an anderen Pegelorten der Küste eingetretenen Sturmflutwasserstände zusammengestellt und die Höhenunterschiede gegenüber HHW Husum errechnet worden. Ferner wurden die Mittel dieser Höhenunterschiede für die betrachteten Sturmfluten gebildet.

In Tabelle 32 wurden diese mittleren Höhenunterschiede vom HHW Husum (= 5,50 m NN) in Abzug gebracht, woraus sich ein Maß für das am Pegelort zu erwartende HHW ergibt. Da sich jedoch bei der Sturmflut des Jahres 1938 und dem hier aufgetretenen reinen Westsüdwestwind an manchen Pegelorten ein geringerer Höhenunterschied einstellte, wurden auch diese Werte aufgenommen und dort berücksichtigt, wo sie ein höheres HHW bewirken würden. Dies bedeutet für die betreffenden Orte eine Sicherheit von einigen Dezimetern; denn der für Husum ermittelte Höchstwert gilt für Westwind und wäre bei Westsüdwestwind niedriger ausgefallen. Es ergeben sich dann für die Küste, die Inseln und die Halligen etwa die unterstrichenen Werte als höchste Sturmflutwasserstände. Der für die Sturmflut 1825 rekonstruierte, aber nicht einwandfrei belegte Wert wurde lediglich als Vergleich beigelegt.

Ein Vergleich dieser HHW-Werte mit den gegenwärtigen Deichhöhen an der Westküste ist in Abbildung 70 dargestellt. Hierbei sind als Zuschlag für den Wellenaufschlag bei den Festlandsdeichen 2,0 m und bei den Inseldeichen 1,5 m über den ermittelten HHW-Stand eingetragen. Vergleichsweise sei erwähnt, daß der Entwurf für die Deichsicherung Pellworms vom 28. 3. 1714 als Unterschied zwischen Festlands- und Inseldeich 1,10 m und der Plan des Deichinspektors KREBS von 1822 einen Unterschied von 63 cm ansetzt. Der Wellenzuschlag wurde mit 1,90—2,00 m berücksichtigt.

Ob die jetzigen Deichhöhen ausreichend sind, kann aber nicht allein nach den höchsten Sturmflutwasserständen festgelegt werden, sondern ist im einzelnen weitgehend von der Lage des Deiches zur ungünstigsten Windrichtung und zum Vorland bzw. Watt abhängig. Diese Fragen bedürfen jedoch der besonderen Untersuchung.

Zusammenfassung

1. Die Zugbahnen der Sturmtiefs über der Nordsee lassen gewisse Rückschlüsse auf die Dauer und Richtung des Windes, aber nicht auf seine Stärke zu.
2. Die Sturmfluten treten an der Westküste meistens sehr plötzlich auf und können kurzfristig mittlere Windgeschwindigkeiten bis zu 32 m/s (in Böen bis 45 m/s) erreichen. Die Dauer der Sturmflutperiode mit Windgeschwindigkeiten über 15 m/s (Windstärke 8) beträgt im allgemeinen nicht mehr als 24 Stunden. Orkanartige Stürme mit Windstärken von 11—12 Bft haben bisher eine Dauer von acht Stunden nicht überschritten.
3. An der Westküste verursachen die Winde aus den westlichen Sektoren besonders hohe Wasserstände. Dies gilt vor allem für die nordfriesische Küste, weil hier die von Südwesten nach Nordosten bzw. von Westen nach Osten verlaufenden großen Wattströme und Dammbauten den Wasseranstau bei diesen Richtungen sehr begünstigen. Nordwestwinde allein rufen an der Westküste keine besonders hohen Wasserstände hervor, gefährden dafür aber um so mehr die Südküste der Nordsee. Auch der südliche Teil der Westküste, die Dithmarscher Küste, wird bei Winden aus WNW und NW infolge des Rückstaues von der Elbmündung stärker angestaut als die nordfriesische Küste.
4. Von allen am Pegel Husum einen Windstau erzeugenden Winden ruft der Westwind den größten und der Nordwestwind den kleinsten Windstau hervor.
5. Die höchsten Wasserstände bei Sturmflut treten an der Westküste im allgemeinen am Pegel Husum auf (Buchteneffekt). Nur bei starken, andauernden Winden aus SW kann das HHW in Tön-

ning infolge der nach Südwesten offenen Eidermündung einige cm höher auflaufen als in Husum. Durch die Buchtenwirkung tritt an beiden Pegeln gegenüber der freien Seeküste ein Zusatzstau auf, Husum-List = 143 cm.

6. Von wesentlicher Bedeutung für die Sturmfluthöhe ist der zeitliche Eintritt des Sturmes zur Gestirnstide. Von den untersuchten höchsten Sturmfluten am Pegel Husum ist bei 21 Fluten das HHW vor dem vorausgerechneten HW eingetreten. Acht Sturmfluthochwasser traten mit + 5 bis - 19 Minuten Abweichung etwa zur Zeit des vorausgerechneten HW ein. Eine außergewöhnliche Zeitverschiebung ergab sich bei der Sturmflut am 9./10. 2. 1949, wo das HHW in Husum 341 Minuten später eintrat.

7. Die höchsten Wasserstände sind zu erwarten, wenn die größte Windwirkung mit der größten Steiggeschwindigkeit der Gestirnstide (etwa 2—3 Stunden nach T_{nw}) zusammenfällt und der Sturm bis zum vorausgerechneten HW anhält.

8. Die höchsten Windstauwerte von zehn besonders hohen Sturmfluten traten bei sechs Fluten vor und bei vier Fluten nach dem vorausgerechneten HW ein. Eine Gesetzmäßigkeit ist nicht festzustellen. Die Anzahl der Sturmfluten mit einem Windstau größer als 3,00 m über M_{Thw} betrug in Husum in den 81 Jahren seit 1868 insgesamt sechs und an der Südküste der Nordsee in Geestemünde von 1847 bis 1923 insgesamt vier.

9. Der Windstau zeigt in Husum eine fast lineare Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, wenn der Wind auf die für Husum ungünstigste Westrichtung reduziert wird. Die an der Nordseeküste allgemein bekannte Erscheinung, daß der Windstau bei NW höhere Werte annimmt als zur HW-Zeit, wurde auch für den Pegel Husum bestätigt gefunden.

10. Für den Pegel Husum ergibt sich, daß bei orkanartigen Stürmen westlicher Richtung mit mittleren Geschwindigkeiten von etwa 32 m/s und bei wirksamster Überlagerung von Windflut und Gestirnsflut mit einem größten Windstau von etwa 4,0 m über HW und mit einem Höchstwasserstand von etwa 1050 cm a. P. = 5,50 m NN gerechnet werden muß.

11. Ein abschließendes Urteil über die an der Westküste höchstmöglichen Wasserstände setzt unter anderem die Klärung folgender Fragen voraus:

- a) Können Wetterlagen auftreten, die sich für die Wasserstandserhöhung bei Sturmflut noch ungünstiger auswirken, als bisher beobachtet und untersucht wurde? Ist z. B. entgegen der bisherigen Erfahrung der Fall möglich, daß ähnlich wie 1872 über der Ostsee auch über der Nordsee sechzig Stunden lang ein Orkan mit Windstärken von 8—12 Bft, und zwar aus westlicher Richtung auftritt und der Grenzwert des Windstaus dadurch höher zu liegen kommt, als nach den bisherigen Beobachtungen angenommen werden darf?
- b) Sind in den letzten Jahren die westlichen Winde über der Nordsee häufiger und stärker geworden, und ist mit einer weiteren Entwicklung in dieser Richtung zu rechnen?

Beide Fragen zeigen deutlich, wie dringend erforderlich eine enge Zusammenarbeit mit der Meteorologie gerade auf dem Gebiet der Sturmflutforschung ist.

Schriftenverzeichnis

1. ARENDS, F.: Gemälde der Sturmfluten vom 3.—5. Februar 1825. Bremen 1826.
2. BAENSCH: Die Sturmflut vom 12./13. November 1872 an den Ostseeküsten des Preussischen Staates. Zeitschr. f. Bauwesen. 1875.
3. BAHR, M.: Die Veränderungen der Helgoländer Düne und des umgebenden Seegebietes. Jahrb. d. Hafenbautechn. Ges. Berlin 1938.
4. BUBENDEY, J. F.: Der Einfluß des Windes und des Luftdruckes auf die Gezeiten. Zentralbl. d. Bauverw. Berlin 1897.
4. BUBENDEY, J. F.: Die Sturmfluten in der Nordsee vom 12. Februar und 23. Dezember 1894. Zentralbl. d. Bauverw. Berlin 1895.
6. BRANDT, H.: Die Hooger-Flut 1825. Die Heimat, Heft 2. Kiel 1935.
7. EICH: Die Höhe der Sturmflut im Wattenmeer hinter der Insel Sylt. Zentralbl. d. Bauverw. Berlin 1920.

8. FÜLSCHER, J.: Über Uferschutzbauten zur Erhaltung der Ost- und Nordfriesischen Inseln. Zeitschr. f. Bauwesen. Berlin 1905.
9. GAYE, J.: Gutachten für die Gemeinde Pellworm vom 11. Februar 1948. (Unveröffentlichter Bericht beim Deich- und Sielverband Pellworm.)
10. GRANZIEN: Zur Kenntnis des Tidegebietes. Die Bautechnik, Heft 16. Berlin 1928.
11. GALLÉ, P. H.: Sturmfluten längs der Nordsee und der Zuidersee-Küste. Zuidersee-Vereinigung. Leiden 1917.
12. GROSSMANN: Die Sturmfluten an der Deutschen Nordseeküste am 13. Januar und 16./17. Februar 1916. Ann. d. Hydrographie, Juli 1916.
13. HENSEN, W.: Über die Ursachen der Wasserstandshebung an der Deutschen Nordseeküste. Die Bautechnik. Berlin 1938.
14. HENSEN, W.: Die Entwicklung der Fahrwasserverhältnisse in der Außenelbe. Jahrb. d. Hafenbautechn. Ges. Berlin 1939/40.
15. HORN, W.: Über die Sturmflut vom 22./23. Dezember 1894 an der Nordseeküste. Zentralbl. d. Bauverw. Berlin 1895.
16. HORN, W.: Wellenerhebungen im Hafen von Ymuiden. Zentralbl. d. Bauverw. Berlin 1901.
17. HORN, W.: Sturmflut vom 13./14. Januar 1916 in den Niederlanden. Zentralbl. d. Bauverw. Berlin 1916.
18. KREY, H. D.: Der Verlauf von Tide- und Sturmflutwellen in Meeresarmen. Zentralbl. d. Bauverw. Berlin 1916.
19. LENSCH, M.: Jan Adriaansz Leeghwater und seine Beschreibung der großen Sturmflut von 11. Oktober 1634. Jahrb. d. Nordfries. Vereins f. Heimatkunde, Heft 3. Husum 1905.
20. LEVERKINCK: Über den Einfluß des Windes auf die Gezeiten unter besonderer Berücksichtigung Wilhelmshavens und der Deutschen Bucht. Veröffentlichung vom Observatorium in Wilhelmshaven. Berlin 1915.
21. LÜDERS, K.: Die Sturmfluten der Nordsee in der Jade. Zentralbl. d. Bauverw., Heft 50. Berlin 1936.
22. LÜDERS, K.: Über das Ansteigen der Wasserstände an der Deutschen Nordseeküste. Die Bautechnik. Berlin 1936.
23. MEISSNER, O.: Der jährliche Gang des Wasserstandes an der deutschen Ostsee- und Nordseeküste. Zentralbl. d. Bauverw. Berlin 1926.
24. MÖLLER, E.: Die Sturmflut vom 12./13. März 1906. Mitteil. d. Nordfries. Vereins. Husum 1905/06.
25. MÖLLER, E.: Der Höhepunkt einer Sturmflut. Zentralbl. d. Bauverw. Berlin 1895.
26. MÜLLER, F.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Teil I und II. Berlin 1937.
27. NEHLS, Chr.: Die Sturmfluten an der Elbe. Hydrologischer Jahresbericht von der Elbe für 1895. Magdeburg 1896.
28. OTTO u. BRANDT: Die Sturmfluten der Nordsee an der Wesermündung. Die Bautechnik Heft 3. Berlin 1926.
29. PETERSEN u. KAMP: Husumer Hafenaufbau. Husum 1848.
30. PRÜGEL, H.: Die Sturmflutschäden an der Schleswig-Holsteinischen Westküste in meteorologischer und morphologischer Abhängigkeit. Berlin 1942.
31. PFEIFFER, H.: Untersuchungen über den Einfluß des geplanten Dammbaus zwischen dem Festland und der Insel Sylt auf die Wasserverhältnisse am Dämm und der anschließenden Festlandsküste. 11. 5. 1920. (Unveröffentlichter Bericht, vorhanden i. d. Forschungsstelle Westküste, Husum.)
32. SCHULTZE, E.: Die nichtperiodischen Einflüsse auf die Gezeiten der Elbe bei Hamburg. Archiv d. Deutschen Seewarte. Hamburg 1935.
33. SCHOLTEN: Die Strandschutzwerke auf den ostfriesischen Inseln und ihr Verhalten bei den letzten größeren Sturmfluten. Zeitschr. f. Bauwesen. Berlin 1896.
34. WEINOLDT, E.: Hydrologische Voruntersuchungen für die Eiderabdämmung. Teil I vom 10. 2. 1932. (Unveröffentlichter Bericht im Marschenbauamt Heide.)
35. WÖBCKEN, C.: Deiche und Sturmfluten an der Nordseeküste. Friesenverlag. Bremen 1924.