

# Die Küste

ARCHIV  
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK  
AN DER NORD- UND OSTSEE



3950-A-2012-00000103

# Die Küste

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

**HERAUSGEBER:  
DER KUSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE**

**JÄHRGANG 1952  
HEFT 1**

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

**Anschriften der Verfasser dieses Heftes:**

AGATZ, Arnold, Professor Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Der Präsident der bremischen Hafenbauverwaltung, Bremen, Kirchenstr. 4; GAYE, Julius, Ministerialrat. „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247; HENSEN, Walter, Professor Dr.-Ing. Technische Hochschule Hannover. Hannover, Nienburger Str. 4; KURZAK, Günther, Regierungsbaurat. Wasser- und Schiffsamt, Hamburg 36, Moorweidenstr. 14; LORENZEN, Johann M., Wasserstraßendirektor. Wasser- und Schiffsamt, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247; LÜDERS, Karl, Dr.-Ing., Oberregierungsbaurat. Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hannover, Prinzenstr. 8; NIEBUHR, Wulff, Dr.-Ing., Regierungsbaurat. Wasser- und Schiffsamt Ostsee, Kiel, Beselerallee 57; PLATE, Ludwig, Dr.-Ing. E. h. Oberbaudirektor i. R., Bremen, Vasmerstr. 24; ROLLMANN, Adalbert, Regierungs- und Baurat. Wasser- und Schiffsamt, Bremen, Osterdeich 2; SCHELLING †, Heinz, Oberregierungsbaurat; SCHUMACHER, Wilhelm, Oberregierungs- und baurat i. R., Oldenburg i. O., Ziegelhofstr. 72; THILO, Rudolf, Regierungs- und Baurat, Wasser- und Schiffsamt, Norden/Ostfriesland, Bahnhofstr. 37; WALTHER, Friedrich, Wasserstraßendirektor Dr.-Ing. Wasser- und Schiffsamt, Bremen, Osterdeich 2.

Nachdruck aus dem Inhalt nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.  
Schriftleiter: Dr. habil. E. Wohlenberg, Husum, Nissenhaus.

## Inhaltsverzeichnis

### Geleitworte

Der Bundesminister für Verkehr . . . . .	V
Der Niedersächsische Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten . . . . .	VI
Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein . . . . .	VI
Die Mitarbeiter des „Küstenausschusses Nord- und Ostsee“ . . . . .	VII
Organisation und Aufgaben des „Küstenausschusses Nord- und Ostsee“ . . . . .	XIII
THILO, Rudolf, Regierungs- und Baurat und	
KURZAK, Günther, Regierungsbaurat:	
Die Ursachen der Abbrucherscheinungen am West- und Nordweststrand der Insel Norderney . . . . .	S. 1
LÜDERS, Karl, Dr.-Ing., Oberregierungsbaurat:	
Die Wirkung der Buhne H in Wangerooge-West auf das Seegat „Harle“ . . . . .	S. 21
„Küstenausschuß Nord- und Ostsee“, Arbeitsgruppe Norderney:	
Gutachtliche Stellungnahme zu den Untersuchungen über die Ursachen der Ab- brucherscheinungen am West- und Nordweststrand der Insel Norderney sowie zu den zum Schutze der Insel vorgeschlagenen seebautechnischen Maßnahmen . . . . .	S. 27
NIEBUHR, Wulff, Dr.-Ing., Regierungsbaurat:	
Über die neuere Entwicklung der Außenems und ihre vermutlichen Ursachen . . . . .	S. 43
SCHELLING †, Heinz, Oberregierungsbaurat:	
Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Be- rücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum . . . . .	S. 63

## Geleitworte

*Eine Vielzahl von Stellen des Bundes und der Länder, der Hochschulen und wissenschaftlichen Vereinigungen befaßt sich mit Fragen des Wasserbaues, des Küstenschutzes, der geologischen Beziehungen und der Meereskunde an der deutschen Nord- und Ostseeküste. Gerade auf diesem unendlich vielseitigen und schwierigen Arbeitsgebiet, in dem entscheidende, noch nicht genügend erforschte Faktoren sich über weite Räume gegenseitig maßgebend beeinflussen, überdecken, verstärken oder ausschalten, ist ohne Zweifel eine Zersplitterung für die wissenschaftliche Erforschung der theoretischen Grundlagen wie für die praktische Lösung der verschiedensten Aufgaben sehr abträglich. Ich habe es daher sehr begrüßt, daß sich 1949 durch freiwilligen Zusammenschluß aller im Küstengebiet tätigen Behörden und wissenschaftlichen Institute des Bundes und der Länder der „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“ gebildet hat. Die mir unterstellte Wasser- und Schiffsverkehrsverwaltung ist bemüht, die Arbeiten des Küstenausschusses durch Entsendung von Fachleuten für Seebau, Küstenschutz und hydrologische Fragen in die einzelnen Arbeitsgruppen nachhaltig zu unterstützen und zu fördern. Die wachsenden Anforderungen der Schifffahrt schaffen in den Flußmündungen der Deutschen Bucht und der Ostsee schwierige technische Probleme, die nur durch eine genaue Kenntnis der Entwicklungsgeschichte, der im Meer und den Strömen auftretenden Naturkräfte und durch die Auswertung der Erfahrungen bei den bisher durchgeführten Eingriffen in die Natur gelöst werden können. Die Arbeiten des Küstenausschusses auf diesem Gebiet sind daher auch für die See- und Küstenschifffahrt von besonderem Interesse.*

*Wenn der „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“ nunmehr mit der Zeitschrift „Die Küste“ an die Öffentlichkeit tritt, so wird dies von allen Fachleuten, die sich mit den mannigfaltigen Fragen der Meeresküste befassen, warm begrüßt werden. Es wird ihnen die Möglichkeit gegeben, sich laufend über die neuesten Erkenntnisse und Erfahrungen zu unterrichten. Möge „Die Küste“ eine gute Aufnahme und weite Verbreitung finden. Möge diese Zeitschrift vor allem dazu beitragen, unangebrachte partikuläre Einflüsse von der Notwendigkeit zu überzeugen, daß für den echten Föderalisten immer das Ganze zuerst und erst dann die Teilinteressen kommen. Unsere Küsten sind nicht nur die Küsten einzelner deutscher Länder, sondern vor allem die Küsten ganz Deutschlands, für deren Schutz und Erhaltung nicht nur die bedrohten Küstenbewohner, sondern alle Deutschen verpflichtet sind. Darum muß unser Streben sein, die Aufgaben des Küstenschutzes im weitesten Sinn im Bewußtsein jedes Deutschen zu verankern und so zu erreichen, daß diese große Aufgabe als eine zwar vielgestaltige, aber gerade deshalb nur einheitlich zu lösende Aufgabe verstanden wird. Möge die Arbeit des Küstenausschusses und der „Küste“ uns bald zu diesem Ziel führen!*

Bonn a. Rh., den 4. März 1952.

Der Bundesminister für Verkehr

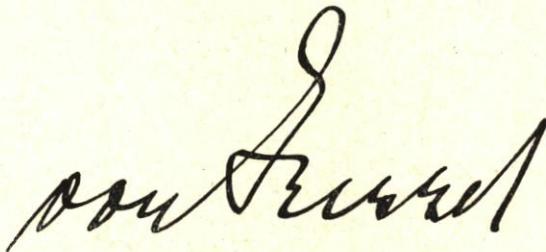
*H. J. Ham - Christoph Seeböck*

Die Herausgabe des 1. Heftes der Schriftenreihe „Die Küste. Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee“ durch den „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“ darf ich zum Anlaß nehmen, auf die bedeutungsvolle und fruchtbare Arbeit hinzuweisen, die der Küstenausschuß in der kurzen Zeit seines Bestehens für den Küsten- und Inselschutz, für die Landgewinnung und den Deichschutz an den deutschen Meeresküsten geleistet hat. Dieses gilt besonders auch für die langen niedersächsischen Küstenstrecken mit den vorgelagerten Düneninseln, die den starken Angriffen des Meeres ausgesetzt sind und zu deren Verteidigung und Instandhaltung der baulichen Schutzanlagen laufend erhebliche Geldmittel aufgewendet werden müssen. Durch die Gründung des „Küstenausschusses Nord- und Ostsee“, in dem die namhaften Praktiker und Wissenschaftler des Seebaues und der Küstenforschung zusammengefaßt sind, ist eine Einrichtung geschaffen worden, die eine erfolgreiche und wirtschaftliche Ausführung der Küstenschutzarbeiten ermöglicht. So hat die Arbeitsgruppe „Norderney“ des Küstenausschusses die schwierige Frage des Schutzes der stark angegriffenen Insel Norderney eingehend untersucht und in einem ausführlichen Gutachten die Grundlagen für die zu ergreifenden Schutzmaßnahmen dargelegt.

Möge der neuen Schriftenreihe des „Küstenausschusses Nord- und Ostsee“ eine erfolgreiche Arbeit zum Nutzen der deutschen Küsten und damit zum Nutzen unseres deutschen Vaterlandes beschieden sein.

Hannover, den 28. Februar 1952.

Der Niedersächsische Minister für Ernährung,  
Landwirtschaft und Forsten



Die Landesregierung Schleswig-Holstein begrüßt die Zusammenfassung von wissenschaftlicher Forschung und praktischer Ausführung auf allen mit Meer und Küste verbundenen Arbeitsgebieten im „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“. Ich darf mit Stolz darauf hinweisen, daß die ersten Ansätze derartiger Gemeinschaftsarbeit in dem derzeitigen Westküstenausschuß der Provinz Schleswig-Holstein und der Schriftenreihe „Westküste“ ihres früheren Oberpräsidiums gegeben waren. Ich wünsche dem nunmehr in erweitertem Rahmen diese Bestrebungen fortsetzenden „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“ erfolgreiches Wirken im Interesse von Landerhaltung und Landgewinnung. Gerade in Schleswig-Holstein, das mit neunhundert Kilometern Küstenlänge von Nord- und Ostsee eingefaßt wird, sind diese Aufgaben von lebenswichtiger Bedeutung.

Kiel, den 22. Februar 1952.

Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft  
und Forsten des Landes Schleswig-Holstein



## Die Mitarbeiter des „Küstenausschusses Nord- und Ostsee“\*)

### Der Vorsitzende:

Professor Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Agatz

### Der Leiter des Arbeitsausschusses:

Ministerialrat Gaye

### Der Verwaltungsausschuß

besteht aus folgenden Behördenvertretern:

Agatz, Arnold Professor Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing.	Hansestadt Bremen Der Präsident der bremischen Hafenbauverwaltung	Bremen, Kirchenstraße 4
Gaye, Julius Ministerialrat	Küstenausschuß Nord- und Ostsee Der Leiter des Arbeitsausschusses	Kiel-Wik, Hindenburgufer 247
Hampe, Bruno Dr.-Ing., Ministerialrat	Bundesverkehrsministerium Abteilung Wasserbau	Bonn/Rhein, Kapuzinerstraße
Kressner, Bernhard Dr.-Ing., Baudirektor	Hansestadt Hamburg Behörde für Wirtschaft und Ver- kehr — Strom- und Hafenaufbau —	Hamburg 11, Dalmannstraße 3
Lorenzen, Johann M. Wasserstraßendirektor	Ministerium für Wirtschaft und Verkehr des Landes Schleswig- Holstein — Abteilung Verkehr —	Kiel-Wik, Hindenburgufer 247
Peter, Herbert Oberregierungs- und -baurat	Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft und Verkehr	Hannover, Hohenzollernstraße 46
Schweicher, Ferdinand Regierungsdirektor	Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten — Abteilung Wasserwirt- schaft —	Hannover, Prinzenstraße 8
Wegner, Hartwig Regierungsbaudirektor	Bundesverkehrsministerium — Ab- teilung Wasserbau —	Bonn/Rhein, Kapuzinerstraße
Weinnoldt, Erich Regierungsbaudirektor	Ministerium für Ernährung, Land- wirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein — Wasser- wirtschaftsverwaltung —	Kiel, Mühlenweg 166

### Der Arbeitsausschuß

besteht aus folgenden Mitgliedern:

Bahr, Martin Dr.-Ing., Oberregierungsbaurat	Leiter der Arbeitsgruppe 8: Sand- wanderung in der Deutschen Bucht	Tönning, Am Hafen 40
Benkendorff, Rudolf Dr., Direktor	Meteorologisches Amt für Nord- westdeutschland	Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Straße 76
Böhnecke, Günther Dr., Präsident	Deutsches Hydrographisches Institut	Hamburg 11, Seewartenstraße 9
Dienemann, Wilhelm Professor Dr.	Amt für Bodenforschung	Hannover, Am Kleinen Felde 12

\*) am 1. März 1952

## VIII

Gaye, Julius Ministerialrat	Leiter der Arbeitsgruppe 2: Küstensenkung, Wasserstands- hebung, Sturmfluten	Kiel-Wik, Hindenburgufer 247
Gripp, Karl Professor Dr.	Universität Kiel und Leiter der Arbeitsgruppe 4: Deutsche Bucht. Entwicklung der Deutschen Bucht in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft	Kiel, Olshausenstraße 40/60
Hahn, Adolf Oberregierungsbaurat	Leiter der Arbeitsgruppe 9: Be- kämpfung der Bohrmuschel	Cuxhaven, Alter Weg 5
Hensen, Walter Professor Dr.-Ing.	Technische Hochschule Hannover und Leiter der Arbeitsgruppe 1: Tideflüsse	Hannover, Nienburger Straße 4
Iwersen, Jens Professor Dr.	Leiter der Arbeitsgruppe 10: Schlickverwertung	Husum, Herzog-Adolf-Straße Nissenhaus
Koch, Emil Professor Dr.	Universität Hamburg — Geologi- sches Landesamt	Hamburg 13, Mollerstraße 2
Lorenzen, Johann M. Wasserstraßendirektor	Leiter der Arbeitsgruppe 3: Kü- stenschutz. Erhaltung der Inseln und des Wattgebietes vor der deutschen Küste	Kiel-Wik, Hindenburgufer 247
Lüders, Karl Dr.-Ing., Oberregierungsbaurat	Leiter der Arbeitsgruppe 7: Wasserbauliche Hydrometrie	Hannover, Prinzenstraße 8
Schroeder, Gerhard Professor Dr.-Ing., Regierungs- oberbaudirektor	Bundesanstalt für Gewässerkunde	Bielefeld, Ravensberger Straße 48
Schumacher, Wilhelm Oberregierungs- und -baurat i. R.	Leiter der Arbeitsgruppe 6: Flach- und Steilküsten an der Ostsee. Er- haltung der im Abbruch befind- lichen Flach- und Steilufer	Oldenburg i. O., Ziegelhofstraße 72
Weinnoldt, Erich Regierungsbaudirektor	Leiter der Arbeitsgruppe 5: Land- gewinnung im Zusammenhang mit Küstenschutz und Wasserwirtschaft	Kiel, Mühlenweg 166
Der Gesamtausschuß besteht aus folgenden Mitarbeitern:		
Bahr, Martin Dr.-Ing., Oberregierungsbaurat	Wasser- und Schiffsamt	Tönning, Am Hafen 40
Bantelmann, Albert Dr.	Landesamt für Vor- und Früh- geschichte von Schleswig-Holstein	Schleswig, Schloß Gottorp
Bavendamm, Werner Professor Dr.	Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft	Reinbeck, Schloß
Becker, Hans Regierungsbaurat	Wasser- und Schiffsamt	Hervest-Dorsten, Dorstenerstr. 12
Becker, Ludwig Domänenrent- und Bauamtman	Marschenbauamt	Husum, Westerende 42
Bell, Georg Dr., Oberregierungsrat	Meteorologisches Amt Schleswig- Holstein	Schleswig, Brockdorff-Rantzau-Str. 2
Boos, Werner Dipl.-Ing.	Bundesanstalt für Wasser-, Erd- und Grundbau — Außenstelle Seebau	Wedel/Holstein, Bauhof

Bothmann, Walter Oberregierungsbaurat	Marschenbauamt	Heide/Holstein, Kaiser-Wilhelm-Platz 5
Brahms, Adolf Oberregierungs- und -baurat	Wasserwirtschaftsamt	Varel i. O., Am Schloßplatz 2
Breuer, Hubert Regierungsbaudirektor	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung	Aurich, Schloßplatz
Christiansen, Willi Dr. E. h.	Landesstelle für Pflanzenkunde	Kiel, Eckernförder Straße 18
Dammann, Walther Dr., Oberregierungsrat	Meteorologisches Amt für Nord- westdeutschland	Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Straße 76
Dechend, Wilfried Dr.	Forschungsstelle des Wasser- und Schifffahrtsamts Norden	Norderney, An der Mühle 4 a
Dewers, Ferdinand Dr., Oberstudiendirektor		Bremen, Heinrich-Heine-Straße 49
Dienemann, Wilhelm Professor. Dr.	Amt für Bodenforschung	Hannover, Am Kleinen Felde 12
Dietrich, Günter Dr. habil.	Deutsches Hydrographisches Institut	Hamburg 11, Seewartenstraße 9
Dittmer, Ernst Dr.	Forschungsstelle Westküste	Husum, Herzog-Adolf-Straße, Nissenhaus
Dormann, Erich Oberregierungsbaurat	Wasser- und Schifffahrtsamt	Bremerhaven, Deichstraße 1
Dücker, Alfred Dr.	Bundesanstalt für Straßenbau — Abteilung Baugrund	Hamburg-Altona, Große Bergstraße 266
Feuerhake, Kurt Dipl.-Ing., Oberregierungsbaurat	Strom- und Hafenaubau	Hamburg 11, Dalmanstraße 3
Gaye, Julius Ministerialrat	Küstenausschuß Nord- und Ostsee	Kiel-Wik, Hindenburgufer 247
Gohlke, Rudolf Oberregierungs- und -baurat	Regierung	Aurich, Schloßplatz
Goschler, Rudolf Dr.	Wasser- und Schifffahrtsdirektion	Hannover, Waterlooplatz 14
Gripp, Karl Professor Dr.	Geologisch-Paläontologisches Insti- tut und Museum der Universität Kiel	Kiel, Olshausenstraße 40/60
Haarnagel, Werner Dr.	Niedersächsische Landesstelle für Marschen- und Wurtenforschung	Wilhelmshaven, Weserstraße 78
Hahn, Arthur Oberregierungs- und -baurat	Bundesanstalt für Gewässerkunde	Bielefeld, Ravensberger Straße 48
Hahn, Adolf Oberregierungsbaurat	Hafenbau- und Verkehrsamt	Cuxhaven, Alter Weg 5
Hansen, Walter Dr., Oberregierungsrat	Deutsches Hydrographisches Institut	Hamburg 11, Seewartenstraße 9
Hansen, Curt Oberregierungsbaurat	Wasser- und Schifffahrtsdirektion	Kiel-Wik, Hindenburgufer 247
Hensen, Walter Professor Dr.-Ing.	Franzius-Institut	Hannover, Nienburger Straße 4
Heym, Franz Regierungsbaurat	Wasserwirtschaftsamt	Schleswig, Gottorpstraße 3

Höhne, Friedrich Regierungsbaurat	Marschenbauamt	Heide/Holstein, Kaiser-Wilhelm-Platz 5
Horn, Walter Oberregierungsrat	Deutsches Hydrographisches Institut	Hamburg 11, Seewartenstraße 9
Hundt, Claus Dipl.-Ing.	Pegelaußenstelle des Marschen- bauamts Heide	Büsum, Hafen
Janssen, Theodor Dr.-Ing., Regierungsbaurat	Forschungsstelle des Wasser- und Schiffahrtsamts Norden	Norderney, An der Mühle 4 a
Joseph, Joachim Regierungsrat	Deutsches Hydrographisches Institut	Hamburg 11, Seewartenstraße 9
Kattenbusch, Ernst Regierungs- und -baurat	Wasserbauamt	Brunsbüttelkoog
Klinge, Wilhelm Regierungs- und Baurat	Wasserwirtschaftsamt	Braunschweig, Adolfstraße 60
Koch, Emil Professor Dr.	Geologisches Landesamt	Hamburg 13, Mollerstraße 2
Koch, Hermann Wasserstraßendirektor i. R.		Hamburg 39, Dorotheenstraße 69
Köhler, Gerhard Regierungsbaurat	Bundesverkehrsministerium	Bonn/Rhein, Kapuzinerstraße
König, Dietrich Dr.	Forschungsstelle Westküste	Husum, Herzog-Adolf-Straße, Nissenhaus
Körner, Burghard Professor Dipl.-Ing.		Bad Pyrmont, Oesbergstraße 36
Kressner, Bernhard Dr.-Ing., Baudirektor	Strom- und Hafenanbau	Hamburg 11, Dalmannstraße 3
Kühl, Heinrich Dr.	Bundesanstalt für Küstenfischerei	Cuxhaven, An der alten Liebe
Kurzak, Günther Regierungsbaurat	Wasser- und Schiffahrtsamt	Hamburg 36, Moorweidenstraße 14
Lackner, Erich Dr.-Ing.		Bremen-Farge, Rekumer Straße, Am Sportplatz
Lang, Arend Wilhelm Dr.		Loga bei Leer/Ostfriesland, Hauptstraße 70
Lang, Friedrich Regierungsbaurat	Wasser- und Schiffahrtsamt	Norden/Ostfriesland, Bahnhofstraße 37
Lange, Otto Dr.-Ing., Oberregierungs- und -baurat	Bundesanstalt für Gewässerkunde	Bielefeld, Ravensberger Straße 48
Linke, Otto Dr.	Forschungsstelle des Wasser- und Schiffahrtsamts Norden	Norderney, An der Mühle 4 a
Lohrberg, Wilhelm Dipl.-Ing., Regierungs- vermessungsrat	Bundesanstalt für Gewässerkunde	Bielefeld, Ravensberger Straße 48
Lorenzen, Johann M. Wasserstraßendirektor	Wasser- und Schiffahrtsdirektion	Kiel-Wik, Hindenburgufer 247
Lüders, Karl Dr.-Ing., Oberregierungsbaurat	Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten	Hannover, Prinzenstraße 8

Lüneburg, Hans Dr.	Institut für Meeresforschung	Bremerhaven, Am Handelshafen 12
Meisel, Konrad Regierungsbaudirektor	Wasser- und Schifffahrtsdirektion	Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Straße 78
Mosecke, Franz-Josef Regierungsbaurat	Wasser- und Schifffahrtsdirektion	Hamburg 36, Moorweidenstraße 14
Nagel, Hans-Heinrich Regierungsbauassessor	Wasser- und Schifffahrtsamt Ostsee	Kiel, Beselerallee 57
Niebuhr, Wulff Dr.-Ing., Regierungsbaurat	Wasser- und Schifffahrtsamt Ostsee	Kiel, Beselerallee 57
Peemöller, Max Oberregierungsvermessungsrat	Wasser- und Schifffahrtsdirektion	Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Straße 78
Petersen, Markus Regierungsbaurat	Landesstelle für Gewässerkunde	Kiel, Mühlenweg 166
Plate, Ludwig Dr.-Ing. E. h. Oberbaudirektor i. R.		Bremen, Vasmerstraße 24
Ramacher, Heinz Regierungsbaurat	Wasser- und Schifffahrtsdirektion	Emden, Friedrich-Naumann-Straße 7
Reinecke, Hermann Dr.-Ing.		Wutha bei Eisenach
Remane, Adolf Professor Dr.	Zoologisches Institut der Universität Kiel	Kiel, Hegewischstraße 3
Rodewald, Martin Dr., Regierungsrat	Meteorologisches Amt für Nord- westdeutschland	Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Straße 76
Rollmann, Adalbert Regierungs- und Baurat	Wasser- und Schifffahrtsdirektion	Bremen, Osterdeich 2
Rudloff, Willy Dr., Regierungsrat	Meteorologisches Amt für Nord- westdeutschland	Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Straße 76
Schauberger, Hans Dr.-Ing., Oberregierungsbaurat	Wasser- und Schifffahrtsamt	Hamburg 36, Moorweidenstraße 14
Schmidt, Heinrich Oberregierungs- und -baurat	Regierung	Oldenburg i. O., Hindenburgstraße 42
Schultz, Helmut Regierungs- und Baurat	Marschenbauamt	Itzehoe, Gut Pünstorf
Schulz, Heinz Oberregierungs- und -baurat	Wasser- und Schifffahrtsdirektion	Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Straße 78
Schumacher, Wilhelm Oberregierungs- und -baurat i. R.		Oldenburg i. O., Ziegelhofstraße 72
Seilkopf, Heinrich Professor Dr.	Meteorologisches Amt für Nord- westdeutschland	Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Straße 76
Snuis, Heinrich Regierungsbaurat	Marschenbauamt	Husum, Westerende 42
Thilo, Rudolf Regierungs- und Baurat	Wasser- und Schifffahrtsamt	Norden/Ostfriesland, Bahnhofstraße 37
Tillessen, Karl Oberregierungsbaurat	Außenstelle des Wasserwirtschafts- amts Varel	Wilhelmshaven, Weserstraße 73
Uhden, Otto Professor Dr.-Ing. E. h.	Technische Hochschule	Hannover, Welfengarten 1
Vick, Friedrich Dr.-Ing.	Landesstelle für Gewässerkunde	Kiel, Mühlenweg 166

<b>Walther, Friedrich</b> Dr.-Ing., Wasserstraßendirektor	Wasser- und Schifffahrtsdirektion	Bremen, Osterdeich 2
<b>Weinnoldt, Erich</b> Regierungsbaudirektor	Landesregierung Schleswig-Holstein — Abteilung Wasserwirtschaft	Kiel, Mühlenweg 166
<b>Wenholt, Karl</b> Domänenoberrent- und Bau- inspektor	Domänenrent- und Bauamt	Norden/Ostfriesland, Am Markt 39
<b>Wohlenberg, Erich</b> Dr. habil.	Forschungsstelle Westküste	Husum, Herzog-Adolf-Straße, Nissenhaus
<b>Wüst, Georg</b> Professor Dr.	Institut für Meereskunde	Kiel, Hohenbergstraße 2

Verstorben ist der frühere Oberregierungsbaurat Heinz Schelling am 12. Februar 1951.

## Organisation und Aufgaben des „Küstenausschusses Nord- und Ostsee“

In den Jahren 1933/34 wurde vom Oberpräsidium der Provinz Schleswig-Holstein ein Zehnjahresplan für Küstenschutz, Landgewinnung und Wasserwirtschaft der Marschen aufgestellt. Gleichzeitig wurde ein „Ausschuß für Untersuchungen an der Schleswig-Holsteinischen Westküste“ — kurz „*Ausschuß Westküste*“ genannt — geschaffen, der sich aus erfahrenen und fachkundigen Männern der Technik, Verwaltung und Wissenschaft zusammensetzte. Aufgabe dieses Ausschusses war es einmal, eine enge Verbindung zwischen der Staatsverwaltung und der Selbstverwaltung, der im Marschengebiet eine besondere Verantwortung für den Schutz des Landes gegen die Nordsee und die Verbesserung des Bodens hinter den Deichen übertragen ist, herbeizuführen, besonders aber die für den Zehnjahresplan erforderlichen Forschungen und Planungen richtunggebend zu beeinflussen und mit Rat und Tat zu fördern.

Dem Ausschuß haben angehört:

Professor Dr.-Ing. AGATZ, Technische Hochschule Charlottenburg (Wasserbau),  
Ministerialrat BARRELMANN, Luftfahrtministerium,  
Architekt R. BRODERSEN, Berlin-Lichterfelde (Planung und Hochbau), Landesbaurat beim Oberpräsidium (Provinzialverwaltung) in Kiel,  
Professor Dr.-Ing. E. h. FRANZIUS, Technische Hochschule Hannover (Wasserbau),  
Landrat OTTO HAMKENS, Tönning (Verwaltung),  
Ministerialrat KÖRNER, Reichsernährungsministerium Berlin (Wasserbau),  
Dr. ERICH KOLUMBE, Altona (Biologie),  
Oberregierungs- und -baurat Dr.-Ing. PFLIFFER, Schleswig, Regierung (Wasserbau- u. Wasserwirtschaft),  
Vizepräsident Dr. SCHOW, Landeshauptmann der Provinz Schleswig-Holstein,  
Ministerialrat Professor WECHMANN, Leiter der Landesanstalt für Gewässerkunde,  
Bauer RICKERTSEN, Bohle,  
Deichhauptmann SIEVERS, Elsdorf, } Selbstverwaltung im Deich- und Wasserwesen  
Deichhauptmann VOSS, Wesselburen, }

Der Ausschuß hat in den wenigen Jahren seines Bestehens in aller Stille eine Forschungs- und Planungsarbeit geleistet, die noch heute an der schleswig-holsteinischen Westküste als Grundlage für alle Seebauten dient. Der zweite Weltkrieg hat seine Tätigkeit zum Erliegen gebracht.

Im Jahre 1941 wurde unter Federführung des Reichsernährungsministers, Abteilung Wasserwirtschaft, der *Ausschuß für Forschungsarbeiten in der Deutschen Bucht* ins Leben gerufen, in dem alle an der Nordseeküste tätigen Behörden sowie besonders erfahrene Fachleute vertreten waren. Zweck dieses Ausschusses war es, eine einheitliche und ständige Zusammenarbeit an den Forschungsarbeiten in der Deutschen Bucht sicherzustellen und damit die wissenschaftlichen und technischen Erkenntnisse zu vertiefen. Auch dieser Ausschuß ist nicht mehr zu fruchtbarer Arbeit gekommen.

Während des Krieges setzte sich die Erkenntnis durch, daß der Wasserschatz, den uns die Natur in Form von Niederschlägen, Flüssen, Seen und Grundwasser zur Verfügung stellt und aus dem die Forderungen der Landeskultur, der Schifffahrt und der Trinkwasserversorgung bestritten werden müssen, nicht unbegrenzt ist und daher einer zentralen Bewirtschaftung bedarf. Die politische Neuordnung nach dem Zusammenbruch brachte es mit sich, daß das Wasserwesen auf verschiedene Bundes- und Länderbehörden verteilt wurde. Damit entstand die Gefahr einer Zersplitterung, eines Nebeneinanderarbeitens, insbesondere die Gefahr einer unwirtschaftlichen Doppelarbeit, die für Deutschland in der heutigen schweren Zeit untragbar ist. Das Wasserwesen an den Küsten der Nordsee und der Ostsee wird in erster Linie beherrscht von der See, von ihren Stürmen, ihren Wasserständen und Gezeiten, ihren Strömungen, den dadurch hervorgerufenen Sink- und Schwebstoffwanderungen und weiteren Einflüssen. Die labile Natur der Seeküsten bringt es mit sich, daß sich natürliche oder künstliche Änderungen an einer Stelle auch an näheren und entfernteren Gebieten auswirken.

Die Forschungen, Planungen und Seebauarbeiten müssen daher im gesamten Küstengebiet planmäßig aufeinander abgestimmt werden, damit unerwartete Folgen vermieden werden. Die Bauten im Seegebiet erfordern fernerhin bei der Gewalt der die Küste angreifenden Kräfte sehr erhebliche Mittel, so daß kostspielige Fehlschläge unter allen Umständen durch rechtzeitige Erforschung der Grundlagen, sorgfältige Planung und Entwurfsarbeit und durch Heranziehen aller Erkenntnisse und Erfahrungen verhütet werden müssen.

Aus diesen Gesichtspunkten heraus wurde auf Anregung einiger im Seebau besonders erfahrener Fachleute im Herbst 1949 der *Küstenausschuß Nord- und Ostsee* gegründet. Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundesverkehrsministeriums, die Wasserwirtschaftsverwaltungen und die Verkehrsverwaltungen der Länder Niedersachsen und Schleswig-Holstein und die Strom- und Hafengebäudeverwaltungen der Hansestädte Bremen und Hamburg schlossen sich mit den im Seegebiet tätigen wissenschaftlichen Instituten: dem Deutschen Hydrographischen Institut, dem Meteorologischen Amt für Nordwestdeutschland, der Bundesanstalt für Gewässerkunde, dem Amt für Bodenforschung in Niedersachsen sowie mit den Hochschulen in Hamburg, Hannover und Kiel zu gemeinsamer Arbeit auf freiwilliger Grundlage zusammen.

Der *Küstenausschuß Nord- und Ostsee* hat folgende Gliederung:

1. Der Vorsitzende.
2. Der Leiter des Arbeitsausschusses.
3. Der Verwaltungsausschuß, bestehend aus dem Vorsitzenden, dem Leiter des Arbeitsausschusses und den Vertretern des Bundes und der Länder.  
Vorsitzender des Verwaltungsausschusses ist der Vorsitzende des Küstenausschusses.
4. Der Arbeitsausschuß, bestehend aus den Leitern des Deutschen Hydrographischen Instituts in Hamburg, des Meteorologischen Amtes für Nordwestdeutschland in Hamburg, der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Bielefeld, den Vertretern der Hochschulen Hamburg, Hannover und Kiel und des Amtes für Bodenforschung in Hannover sowie den Leitern der Arbeitsgruppen. Die Leiter und Mitarbeiter der Arbeitsgruppen sind anerkannte Fachleute aus dem Seewasserbau (Wasserbau und Wasserwirtschaft) und Wissenschaftler aus der Biologie, Geologie, Hydrographie, Landwirtschaft, Marschen- und Wurtenforschung, Meteorologie und Ozeanographie.
5. Der Gesamtausschuß, zusammengesetzt aus den Vertretern der Behörden, Hochschulen und Institute sowie den einzelnen Mitarbeitern des Arbeitsausschusses.

Im Rahmen des Arbeitsausschusses sind bisher folgende Arbeitsgruppen und Untergruppen gebildet worden:

Arbeitsgruppe 1  
Tideflüsse

- Untergruppe a: Ausbau und Abdämmung von Tideflüssen  
b: Verfahren zur Berechnung von Gezeiten und Gezeitenströmungen in seichten Gewässern  
c: Modellversuche

Arbeitsgruppe 2  
Küstensenkung, Wasserstandshebung, Sturmfluten

- Untergruppe a: Küstensenkung und Geologie  
b: Wasserstandshebung  
c: Meteorologie und Klimatologie  
d: Sturmfluten

Arbeitsgruppe 3  
Küstenschutz  
(Erhaltung der Inseln und des Wattengebietes vor der deutschen Küste)

Arbeitsgruppe 4  
Deutsche Bucht  
(Entwicklung der Deutschen Bucht in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft)

Arbeitsgruppe 5  
Landgewinnung  
(im Zusammenhang mit Küstenschutz und Wasserwirtschaft)

Untergruppe a: in wasserbaulicher Hinsicht

b: in biologischer Hinsicht

c: Regelung des Wasserhaushalts der Marschen und der zugehörigen Geest, Versalzung des Grundwassers

d: Ent- und Bewässerung sowie Wasserversorgung der Marschen

Arbeitsgruppe 6

Flach- und Steilküsten an der Ostsee

(Erhaltung der im Abbruch befindlichen Flach- und Steilufer)

Arbeitsgruppe 7

Wasserbauliche Hydrometrie

Untergruppe a: Pegel und Wasserstände

b: Peilgeräte und Lotungen

c: Strommeßgeräte

d: Strömungsmessungen

e: Sand- und Schwebstoff-Meßgeräte

f: Sand- und Schwebstoffmessungen

g: Wellen und Seegang

h: Salzgehalt, Dichte, Temperatur

Arbeitsgruppe 8

Sandwanderung in der Deutschen Bucht

Arbeitsgruppe 9

Bekämpfung der Bohrmuschel

Arbeitsgruppe 10

Schlickverwertung

Die Arbeitsgruppen haben folgende Aufgaben:

1. Ausarbeitung eines Bilanzberichts, aus dem die bisherigen Ergebnisse der Forschungen und der Bauausführungen sowie die noch offenen Fragen hervorgehen,
2. Anregung von Forschungen, die zur Erweiterung und Vertiefung der wissenschaftlichen und bautechnischen Grundlagen für die Seebauten dienen,
3. kritische Würdigung der Forschungsergebnisse.

Der „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“ erstattet ferner für Behörden und private Interessengruppen auf Anfordern Gutachten über schwierige seebautechnische Fragen.

Trotz der starken dienstlichen Inanspruchnahme der Mitarbeiter des Arbeitsausschusses sind von verschiedenen Arbeitsgruppen bereits eingehende Bilanzberichte eingereicht worden, zum Beispiel über das Tidegebiet der Elbe, über die Weser als Seewasserstraße, über die Wasserstandshebung der Nord- und Ostsee in den letzten hundert Jahren, über die Sturmfluten an der schleswig-holsteinischen Westküste, über den Küstenschutz an der ostfriesischen und schleswig-holsteinischen Küste und den vorgelagerten Inseln, über die Erhaltung der Flach- und Steilküsten an der Ostsee, über das wasserbauliche Meßwesen. Weitere Berichte sind in Arbeit.

Ferner wurden Gutachten über die Erhaltung der Insel Norderney und über die Betriebsweise des im Bau befindlichen Ledasperwerkes erstattet.

Bei dem Leiter des Arbeitsausschusses wird zur Zeit eine Zentralkartei aufgestellt, in der nach Möglichkeit alle Veröffentlichungen vermerkt werden sollen, die sich auf das gesamte Arbeitsgebiet des Küstenausschusses beziehen.

Für die Forschungsarbeiten, für den Aufbau einer Zentralkartei und sonstige Aufgaben des Küstenausschusses werden bestimmte Geldbeträge von Bund und Ländern gegeben, die im übrigen ihre Verwaltungs- und Büroeinrichtungen den Mitarbeitern zur Verfügung stellen.

Folgende Forschungsaufträge wurden bis jetzt erteilt:

1. „Die Schwebstoffbewegung in den Küstengewässern — Erscheinungsformen, Theorie und Bedeutung“,
2. „Über ozeanographische und meteorologische Einflüsse auf langjährige Wasserstandsänderungen des Meeres“,

3. „Auswertung der langjährigen Aufzeichnungen des Windmessers Wilhelmshaven“. In einer zwanglos erscheinenden Schriftenreihe:

„Die Küste. Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee“, in der die Tradition der in den Jahren 1938 bis 1943 veröffentlichten Schriftenreihe „Westküste. Archiv für Forschung, Technik und Verwaltung in Marsch und Wattenmeer“ weiterleben soll, ist die Veröffentlichung der Bilanzberichte der einzelnen Arbeitsgruppen und sonstiger Aufsätze von Mitarbeitern des Küstenausschusses und anderer Kreise vorgesehen, soweit diese Arbeiten für die Belange der Küste von besonderem Wert sind. Hiermit ist eine Schriftenreihe geschaffen, die über den auf Schleswig-Holstein begrenzten Bereich der früheren „Westküste“ weit hinausreicht und nunmehr die verschiedenen Probleme der gesamten deutschen Küste der Fachwelt wie auch der breiten Öffentlichkeit darbietet.

Im ersten Heft der Schriftenreihe „Die Küste“ erscheinen folgende Aufsätze:

1. Die Ursachen der Abbruchserscheinungen am Nord- und Nordweststrand der Insel Norderney.
2. Die Wirkung der Buhne H in Wangerooge-West auf das Seegat „Harle“.
3. Gutachtliche Stellungnahme zu den Untersuchungen über die Ursachen der Abbruchserscheinungen am West- und Nordweststrand der Insel Norderney sowie zu den zum Schutz der Insel vorgeschlagenen seebautechnischen Maßnahmen.
4. Über die neuere Entwicklung der Außenems und ihre vermutlichen Ursachen.
5. Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum.

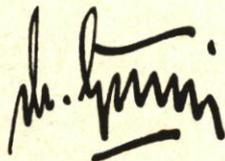
Im zweiten Heft sollen Untersuchungen über die Erhaltung von Steilküsten an der Ostsee veröffentlicht werden. In den folgenden Heften werden die Bilanzberichte der einzelnen Arbeitsgruppen sowie Forschungsarbeiten zum Abdruck gelangen.

Die Hefte der Schriftenreihe „Die Küste“ sollen nicht nur der deutschen Fachwelt dienen, sondern sind auch für den Austausch mit dem Ausland bestimmt.

Alljährlich soll eine Versammlung des Gesamtausschusses stattfinden, in der die Mitarbeiter des Küstenausschusses über die fertiggestellten und geplanten Arbeiten und Forschungen des Arbeitsausschusses, über die geplanten Veröffentlichungen und über die finanzielle Lage des Küstenausschusses unterrichtet werden.

Der Gedanke, durch eine freiwillige Gemeinschaftsarbeit die Erfahrungen und Kenntnisse im Wasserwesen an der Nord- und Ostsee zu vertiefen, diese durch eine enge Verbindung aller Mitarbeiter den beteiligten Kreisen: den Behörden, den wissenschaftlichen Instituten und den Hochschulen zu vermitteln und so die Wissenschaft mit der Technik in enge Beziehung zu bringen, ist auf fruchtbaren Boden gefallen. Es sei der Hoffnung Ausdruck gegeben, daß die künftige Entwicklung des *Küstenausschusses Nord- und Ostsee* einen weiteren guten Verlauf nehmen möge.

Der Vorsitzende



(Professor Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Agatz)

Der Leiter des Arbeitsausschusses



(Ministerialrat Gaye)

# Die Ursachen der Abbrucherscheinungen am West- und Nordweststrand der Insel Norderney\*)

Von Rudolf Thilo und Günther Kurzak

A. Vorbemerkungen . . . . .	1
B. Die Bedeutung des Strandes von Norderney . . . . .	2
1. Die Untersuchungen bis zum Jahre 1949 . . . . .	3
2. Die Untersuchungen des Jahres 1949 . . . . .	5
3. Die morphologischen Veränderungen des Norderneyer Seegats und des Strandes . . . . .	5
4. Die Gezeiten und das Gefälle . . . . .	7
5. Die Wassermengenverteilung . . . . .	9
6. Die Sandwanderung . . . . .	12
7. Die Schlechtwetterlage . . . . .	12
8. Das Kräfteverhältnis im Norderneyer Seegat . . . . .	12
C. Die Beurteilung der wesentlichen seebautechnischen Maßnahmen zum Schutze der Insel Norderney . . . . .	17
1. Der Damm K 4 . . . . .	17
2. Der Damm Juist-Festland . . . . .	18
3. Der Damm Norderney-Steinplate . . . . .	19
4. Der Damm Juist-Nord . . . . .	19
5. Verlängerung der Insel Norderney um 4 km nach Westen . . . . .	19
D. Zusammenfassung . . . . .	20
E. Schriftenverzeichnis . . . . .	20

## A. Vorbemerkungen

Die fast vollständige Zerstörung von rund 450 m Strandschutzmauer am Nordweststrand von Norderney vom Januar bis März 1949 gaben dem Niedersächsischen Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Abteilung Wasserwirtschaft, Veranlassung, die Forschungsstelle Norderney mit ihren wissenschaftlichen Mitarbeitern Drs. LINKE, DECHEND und KRAUSE zu beauftragen, die Strömungs- und Sandwanderungsverhältnisse im Norderneyer Seegat so eingehend zu untersuchen, daß hinreichend begründete Vorschläge für notwendige, zweckmäßige und wirtschaftlich vertretbare seebautechnische Maßnahmen aus diesen Untersuchungen entwickelt werden können, die eine Wiedergewinnung und Erhaltung des Strandes ermöglichen (Abb. 1).

Es sind zwar bereits seit über fünfzig Jahren zahlreiche Untersuchungen angestellt worden, um das Problem zu lösen, doch haben sie bisher noch nicht ausgereicht, um die verschiedenen Vorschläge für Großbaumaßnahmen, die in jedem Falle mit einem erheblichen Kostenaufwand verbunden sind, hinsichtlich ihrer Wirkung und ihres Erfolges mit genügender Sicherheit zu beurteilen.

Der Aufgabenstellung nach mußten sich die im Jahre 1949 zur Ergänzung der früher durchgeführten Messungen und Untersuchungen in erster Linie auf die Frage nach den Möglichkeiten der Erhaltung und möglichst natürlichen Wiederaufhöhung des West- und Nordweststrandes von Norderney richten. Da ein Sandstrand sich erfahrungsgemäß nur dann hält oder gar wieder aufhört, wenn er durch natürliche Sandzufuhr von See her ständig „genährt“ wird, mußte sich die Untersuchungsarbeit im wesentlichen darauf erstrecken, die seebautechnischen Maßnahmen herauszufinden, die in der Lage sind, die strandaufbauenden

\*) Auszug aus dem Bericht des Wasser- und Schiffsamtes Norden, Forschungsstelle Norderney.

Naturkräfte zu fördern und so zu lenken, daß der jetzt weit im Osten liegende Sandanlandungspunkt bereits an den West- und Nordweststrand der Insel vorverlegt wird.

Die Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit von nur einem Jahr für die sehr umfangreichen Untersuchungen machte es notwendig, die Arbeiten nur auf das engere Einflußgebiet des Norderneyer Seegats zu beschränken. Die Untersuchungen haben aber ausgereicht, entscheidende Erkenntnisse zu gewinnen. Es bleibt jedoch trotzdem unbedingt notwendig, die Untersuchungen auch auf das weiter entfernt liegende Gebiet auszudehnen, um erkennen zu können, inwieweit noch andere Ursachen und Zusammenhänge auf das Gebiet des Norderneyer Seegats von Einfluß sein können.

## B. Die Bedeutung des Strandes von Norderney

Die ostfriesische Inselkette ist geologisch ein verhältnismäßig junges Gebilde und war im Laufe der Zeit ständigen Veränderungen unterworfen. Über ihre Entwicklung hat bereits GAYE (1) eingehende Ausführungen gemacht. Hervorzuheben ist, daß die aktiven Veränderungskräfte in den Strömungen der freien See, der Wattengebiete und besonders in denen der Seegaten zu suchen sind, die ihrerseits die Sandwanderungsverhältnisse bestimmen.

Norderney ist als Teil aus der Insel Buise entstanden, die sich im 15. Jahrhundert etwa noch bis zur Mitte der Insel Juist erstreckte. Erst als etwa um 1800 Buise untergegangen war und sich die heutige Gestalt des Seegats herauszubilden begann, kam Norderney unter verstärkten Angriff. Die ersten größeren Abbrüche traten am West- und Nordweststrand etwa um 1823 auf und sind seitdem nicht zur Ruhe gekommen. Seit 1857 ist das Westende der Insel, nachdem leichtere Bauwerke immer wieder zerstört worden waren, durch schwere Strandschutzwerke geschützt, die inzwischen immer mehr erweitert und verstärkt worden sind. Heute beträgt die Länge der Strandschutzmauer rund 5400 m und die Gesamtlänge der 20 Bühnen rund 4800 m. Der Gesamtkostenaufwand ohne Berücksichtigung der Geldwertänderung im Laufe der letzten neunzig Jahre beläuft sich bereits auf 12 Millionen Mark.

Infolge des Unterganges der Insel Buise hat sich für Norderney eine sehr ungünstige Lage gegenüber der Insel Juist ergeben. Der Südstrand von Norderney liegt etwa 600 m nördlicher als der Nordstrand von Juist, so daß Norderney wie ein Strompfeiler in dem von Westen auflaufenden Flutstrom steht.

Die Veränderungen im Gebiet des Norderneyer Seegats im Anschluß an den Untergang von Buise zeigen sich auch im geologischen Aufbau dieses Gebietes. Während westlich der tiefen Rinne des Seegats und des Busetiefs die Sände und Riffe aus feinem Seesand bis zum Geschiebemergel in 10 bis 15 m Tiefe bestehen, sind sie östlich davon noch von Torfen, Schlick und Tonen überlagert. So besteht auch die Insel Norderney aus einem Material, das stärkeren Angriffen durch Strömung und Wellen einen wesentlichen Widerstand nicht entgegenzusetzen vermag. Erst durch den Bau der Strandschutzwerke ist der weiteren Verlagerung des Seegats nach Osten Einhalt geboten und die Insel festgelegt worden. Ein Preisgeben der Bauwerke würde den weiteren Abbruch sofort wieder auslösen. Jede Veränderung der Lage des Seegats nach Osten ist aber heute unerwünscht. Sie würde unabsehbare Folgen für Küstenschutz, Verkehr, Entwässerung und Landgewinnung im Wattengebiet und an der Festlandsküste zur Folge haben. Die Stadt Norderney würde aufgegeben werden müssen. Eine Verlegung des Ortes mit rund 7000 Einwohnern ist aber heute nicht mehr ohne weiteres möglich.

Daher muß das Ziel aller Untersuchungen sein, die Strandschutzwerke mit einem möglichst geringen Kostenaufwand weiterhin zu erhalten. Der beste Schutz ist ein natürlicher Strand, der von See her dauernd selbständig „genährt“ wird, um den ständig arbeitenden Abbruchkräften die nötige Gegenwirkung bieten zu können. Der natürliche hochwasserfreie Strand vor den Strandschutzwerken erfüllt zwei Aufgaben:

- a) Er bildet für die Dünen und Strandschutzwerke das wellenbrechende Vorland und beugt somit der Gefahr einer Unterspülung der Bauwerke vor.
- b) Er dient der Inselgemeinde als Badestrand und bildet so die Grundlage ihrer wirtschaftlichen Existenz.

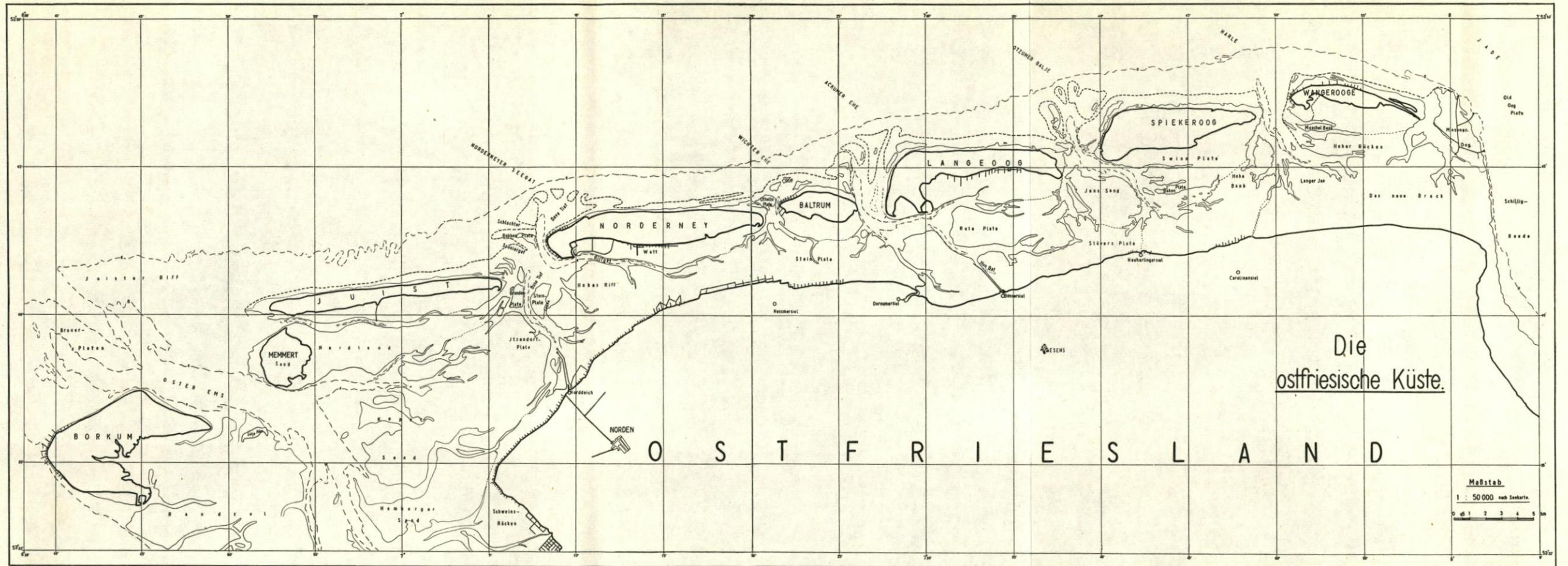


Abb. 1. Die ostfriesische Küste mit den vorgelagerten Inseln

### 1. Die Untersuchungen bis zum Jahre 1949

Die ständigen Strandabbrüche am West- und Nordweststrand von Norderney gaben schon frühzeitig Veranlassung, die Strömungs- und Sandwanderungsverhältnisse im Norderneyer Seegat zu untersuchen, um Wege zu finden, durch welche die Tendenz der Ostwärts-wanderung des Seegats zum Stillstand gebracht oder gar rückläufig gemacht werden könnte.

Die ersten Untersuchungen, über deren Ergebnisse noch Unterlagen bestehen, sind im Jahre 1897 durch den Wasserbau-Inspektor GARSCHINA ausgeführt worden. Er kam zu dem Ergebnis, daß die Ursachen für das Heranwandern der Rinne an Norderney

in dem ungünstigen Größenverhältnis der Einzugsgebiete des Busetiefs und des Riffgats,

in der Wasservertriftung über das Juister Watt durch den Windeinfluß,

in der hierdurch verursachten Ablenkung der Strömung des Riffgats nach Norden und infolge des stärkeren Ausflusses aus dem Busetief sowie

in den größeren Ebbgeschwindigkeiten im Seegat gegenüber den Flutgeschwindigkeiten zu suchen sind.

Die Sandwanderung in dem Sinne, wie wir sie heute verstehen, hat er noch nicht erkannt. Den Aufbau der Riffe westlich von Norderney führte er auf die durch die vorherrschenden Westwinde vertrifteten Sandmengen der Insel Juist zurück.

Er folgerte daraus, daß eine Verlegung der tiefen Seegatrinnen nach Westen nicht möglich sei und Norderney nur durch Erhaltung und weiteren Ausbau der Strandschutzwerke gehalten werden könnte.

Erst bei den Untersuchungen des Jahres 1920 durch Regierungsbaumeister WEISE wurde die Entstehung des Riffgürtels um Norderney auf die Sandwanderung, wie wir sie heute verstehen, zurückgeführt. Im übrigen führte er auch auf Grund von Peilkartenvergleichen und theoretischen Überlegungen die Ursachen der Bildung des Norderneyer Seegats auf die verschiedene Größe der Einzugsgebiete des Busetiefs und Riffgats zurück und kam zu dem Schluß, daß eine günstigere Entwicklung des Seegats durch eine künstliche Verschiebung der Wattwasserscheiden des Juister und Norderneyer Wattes nach Osten durch Dammbauten zu erreichen sein müßte. Wenn außerdem das Riffgat durch Buhnen nach Süden abgedrängt würde, müßte sich die tiefe Rinne nach Westen entwickeln.

Im Jahre 1927 wurden die Professoren Geheimrat DE THIERRY, Berlin und FRANZIUS, Hannover von der Gemeinde Norderney aufgefordert, ein Gutachten über die Sicherung der Insel Norderney und die Wiedergewinnung des Badestrandes abzugeben. Auf Grund von historischen Unterlagen und Seekartenvergleichen sahen sie im Spanier Gat die alte Ausmündung des Busetiefs und in der Robbenplate die alte Insel Buise. Da sie der Ansicht waren, daß das Spanier Gat wieder zum Durchbrechen neige, schlugen sie vor, das Gat zu einer tiefen Rinne von 10 m Tiefe und 200 m Breite auf 2,5 km Länge auszubaggern, um damit die Natur zu unterstützen und die tiefe Rinne des Seegats nach Westen abzulenken. Um aber das auch von ihnen vorausgesagte Wiederumschwenken der Rinne in die heutige Lage zu verhindern, sahen sie es für notwendig an, das Nordufer der neuen Rinne, die Robbenplate, zu befestigen, um so die alte Insel Buise wieder neu zu schaffen. Außerdem sollte die tiefe Seegatrinne durch Buhnen verbaut werden.

Abgesehen davon, daß sich der Ausbaggerung des Spanier Gats sehr große technische Schwierigkeiten entgegenstellen würden, da es sich um eins der schwersten Brandungsgebiete um Norderney handelt, können die Annahmen der beiden Gutachter heute nicht mehr als richtig anerkannt werden. Nach den neuesten historischen Untersuchungen hat das Seegat in früheren Jahrhunderten anders ausgesehen als heute. Das Spanier Gat ist nicht in der Form, wie es die Gutachter sahen, die Mündung des Busetiefs gewesen; die Robbenplate war eine Sandbank, die westlich der Insel Buise gelegen hat und mit dem Tief nach Osten auf die heutige Lage gewandert ist. Eine Neigung des Spanier Gats, sich von selbst auszuwaschen, besteht nicht. Die aus den Seekarten herausgelesene Vertiefung ist vielmehr auf die Ungenauigkeit der alten Peilungen zurückzuführen.

Dieses Gutachten gab 1930 Regierungsbaurat GAYE und Regierungsbaumeister WALTHER Veranlassung, das Norderneyer Seegat eingehend zu untersuchen. Die Ergebnisse sind in der Bautechnik (2) und (3) veröffentlicht. Sie sind im wesentlichen folgende:

1. Der Scheitel der Flutwelle schreitet in freier See von Westen nach Osten fort. In der Nähe der Inseln wird er gehemmt und nach Südwesten zurückgebogen, so daß ein Wellenfortschritt von Nordwesten nach Südosten eintritt. In die Seegaten tritt die Welle in südöstlicher Richtung ein und verzweigt sich nach Osten, Süden und Westen.
2. Die Wattwasserscheiden bilden keine strengen Grenzen für die Gezeiten und Strömungen.
3. Im Norderneyer Seegat herrscht bei Flut ein Quergefälle nach Südwesten, bei Ebbe nach Nordosten geneigt.
4. Die größten Stromgeschwindigkeiten im Seegat treten unter Voraussetzung gleichen Tidehubs bei mittleren Sturmfluten (etwa 1 m über MThw) auf und nicht bei hohen Sturmfluten (etwa 2,5 m über MThw).
5. Bei stärkeren westlichen Winden wurden ähnliche Strömungen im Seegat wie bei Schönwetter angenommen.
6. Die Lage der tiefen Rinne im Seegat ist bedingt durch das ungünstige Verhältnis der Einzugsgebiete von Busetief mit Legde und Riffgat. Bei ablaufendem Wasser drängen die großen Wassermengen des Busetiefs die kleineren des Riffgats an die Insel Norderney heran.
7. In das Norderneyer Seegat dringt der Flutstrom durch die Flutgaten (Spanier Gat, Schluchter und Legde) ein, in denen der Flutstrom überwiegt, während der Ebbstrom durch die Ebbgaten (Busetief, Riffgat, Seegat und Dovetief) austritt, in denen der Ebbstrom überwiegt.
8. Die riffbildenden Kräfte sind Strömung und Brandung.
9. Die Sände wandern an der Seeseite der Insel Juist von Westen nach Osten, wandern dann nach Osten durch das westliche Seegat bis zum Busetief und nach Nordosten über die Robbenplate bis zu den Nordwestgründen. Von dort wandern sie nach Osten bis an die Insel Norderney.
10. Durch die Strandschutzwärke von Norderney ist der Inselsockel gehalten. Der hochwasserfreie Strand jedoch wird von der Brandung abgetragen.

Aus diesen Untersuchungen zogen GAYE-WALTHER folgende Schlüsse.

Maßgebend für die Ausbildung des Norderneyer Seegats sind:

1. die Gezeitenwelle,
2. die Grundriß- und Oberflächengestaltung des Wattes und des Seegats,
3. die wasserführenden Querschnitte des Seegats.

Die Angriffe auf das Westende von Norderney werden durch folgende Kräfte hervorgerufen:

1. Der Flutstrom baut zusammen mit der Brandung die Riffe auf.
2. Die Wassermassen des Busetiefs und der Legde überwiegen die des Riffgats und drängen den Ebbstrom an das Westende der Insel.
3. Die Riffe werden durch den Ebbstrom weit nach Norden hinausgetragen, so daß sie erst in großer Entfernung vom Westende wieder die Insel Norderney erreichen können.
4. Das nach Osten geneigte Quergefälle bei Ebbe begünstigt das Herandrängen des Stroms an die Insel.
5. Der Ebbstrom kann unter diesen Umständen im Riffgürtel ohne besondere Maßnahmen niemals allein eine tiefe Stromrinne in nordwestlicher Richtung offenhalten.

Es muß also erwähnt werden, daß GAYE und WALTHER zwar die Brandung als Kraft benannten, aber hier nicht in dem Maße in Rechnung gestellt haben, wie es ihr zukommt.

Die Ergebnisse wurden in einem Modellversuch nachgeprüft, der in den Jahren 1935—40 von der Preussischen Versuchsanstalt für Wasser-, Erd- und Schiffbau in Berlin durchgeführt wurde mit dem Ziel, alle Möglichkeiten für den Schutz von Norderney zu untersuchen. Das Modell umfaßte das Gebiet von der Mitte der Insel Juist bis zum Westende von Langeoog und reichte im Süden bis zur Festlandsküste und im Norden bis etwa 5 km nördlich von Norderney. In dem Abschnitt des engeren Norderneyer Seegats war auf eng begrenztem Raum zeitweise eine bewegliche Sohle aus Bernsteingrus eingebracht. Im übrigen bestand die Sohle aus aufgerauhtem Beton. Es wurden im allgemeinen nur die Oberflächenströmungen bei mittlerer Tide und Schönwetterlage untersucht. Nicht dargestellt wurden der Windeinfluß, die Brandung und die Sandwanderung. Das Modell zeigte insofern eine wesentliche Abweichung gegenüber der Natur, als die Stromrichtungen im Seegat um 30 Grad nach Westen gedreht waren. Es wirkte sich hier nach Ansicht der Versuchsanstalt die in zu geringer Entfernung liegende nördliche Begrenzungswand des Modells auf die Strömungsgeschwindigkeiten und die Form der Sände aus. Im Spanier Gat und über den westlichen Riffen waren die

Geschwindigkeiten größer, die Robbenplate wurde abgeflacht und die Barre zwischen Busetief und Spanier Gat eingebnet.

Trotz dieser Abweichungen stand die Versuchsanstalt auf dem Standpunkt, daß die Modellergebnisse für eine Beurteilung der Wirkung von Dammbauten zur grundlegenden Veränderung der Strömungen im Norderneyer Seegat insoweit verwendet werden könnten, als zu erkennen sei, daß überhaupt der Ansatz zur Bildung neuer Rinnen nach dem Einbau von Dämmen und den dadurch veränderten Strömungsverhältnissen vorhanden sei.

In dem Modell wurden 25 verschiedene Dämme untersucht. Von ihnen hat sich der Damm K 4 als der zweckmäßigste herausgestellt, nachdem andere bessere Dämme aus verkehrstechnischen und militärischen Gründen ausgeschieden worden waren. Der Damm K 4 im Modell ging von der äußersten Westspitze der Insel Norderney aus, kreuzte das Seegat an der tiefsten Stelle und lief auf der Robbenplate aus. Er sollte eine Gesamtlänge von 1400 m erhalten. An seiner Südseite bildete sich in Nordwestrichtung eine tiefe Rinne. Am Nordweststrand entstanden gute Anlandungsmöglichkeiten. Wie sich allerdings die Sandwanderung auf die Beständigkeit der Lage der Rinne, besonders am Kopf des Dammes, auswirken würde, war zunächst nicht zu erkennen.

## 2. Die Untersuchungen des Jahres 1949

Als im Frühjahr 1949 die schweren Sturmflutschäden an den Strandschutzwerken von Norderney aufgetreten waren, erhob sich die Frage, ob die bisherigen Untersuchungen ausreichten, um die Wirkung des Dammes K 4 so eindeutig beurteilen zu können, daß man es wagen könnte, den Damm mit seinen sehr hohen Baukosten von rund 15—20 Mill. DM herzustellen und damit die Insel Norderney endgültig zu schützen. Die Forschungsstelle Norderney verneinte dieses und hielt es für notwendig, noch folgende grundlegende Zweifel an der Beurteilung der bisher vorliegenden Ergebnisse zu klären:

1. Wenn die Flutwelle von Westen nach Osten fortschreitet, muß vor dem Spanier Gat ein hoher Wasserstand bei Flut und ein niedriger bei Ebbe früher eintreten als vor dem Dove-Tief. Das Gefälle müßte dann in Westostrichtung liegen und das Spanier Gat die Hauptabflußrinne sein. Wenn es in der Natur nicht so ist, müssen andere Kräfte als Gefälle und Strömung die Ausbildung dieser Rinne verhindern.
2. Wenn das Busetief die Hauptabflußrinne und das Riffgat eine Nebenrinne sein soll, dann ist es nicht erklärlich, daß die Trennungsbare zwischen den beiden Rinnen in der Hauptrinne, dem Busetief, und nicht in der Nebenrinne, dem Riffgat, liegt. Es müssen daher andere wesentliche Kräfte vorhanden sein, die diese Barrenbildung erhalten, zumal die Barre aus tiefgründigem, reinem Sand besteht.

Die Forschungsstelle Norderney erhielt daher den Auftrag, die bisherigen Untersuchungen zu überprüfen und die Kräfteverhältnisse im Norderneyer Seegat so eingehend zu klären, daß endgültige Vorschläge zur Sicherung der Insel gemacht werden könnten. Als Arbeitszeit wurde ihr ein Jahr bewilligt\*).

## 3. Die morphologischen Veränderungen des Norderneyer Seegats und des Strandbes

Während sich an der engsten Stelle der Seegatrinne seit dem Bau von Unterwasserschwellen im Jahre 1899 keine Veränderungen am Inselfuß mehr ergeben haben, hat sich von 1866 bis 1898 die 2 m-Tiefenlinie um 1000 m dem Nordweststrand genähert, bis durch den Bau der Strandschutzwerke die Weiterwanderung unterbunden wurde. Der Riffgürtel hat innerhalb von achtzig Jahren seine Lage nicht wesentlich verändert. Auffällig ist, daß im Süden die Steinplate seit 1866 in der 0 m-Tiefenlinie um 700 m und in der 2 m-Tiefenlinie um 400 m nach Westen vorgerückt ist, während die gegenüberliegende Branderplate keine Veränderungen zeigt.

Die Veränderungen des Strandbes von Norderney wurden besonders sorgfältig untersucht, da von der Stadtverwaltung Norderney immer wieder behauptet wird, daß der

\*) Beiträge zur Darstellung der Geomorphologie des Norderneyer Seegats sind in Vorbereitung und werden demnächst veröffentlicht (7).

Inselsockel im Abbruch liegt und damit eine starke Gefährdung des Ortes gegeben sei. Auf Grund von Peilerggebnissen, die teilweise bis zum Jahre 1845 zurückreichen, hat sich folgendes ergeben:

Der Inselsockel im Süden des Ortes Norderney westlich des Hafens zeigt keine Veränderungen. Am Westrand längs der tiefen Rinne des Seegats (Abb. 2) war ein ständiger Abbruch bis zum Jahre 1899 vorhanden. Seit dem Bau der Unterwasserschwellen in diesem Jahre zeigt der Inselsockel keine Veränderungen mehr. Vor dem Nordweststrand hat sich der Vorstrand bis auf 2,5 m bis 3 m unter SKN\*) vertieft und ist dann in dieser Lage verblieben.

Der Inselsockel ist somit seit 1899 durch die Baumaßnahmen gehalten worden. Der Strand selbst aber liegt am West- und Nordweststrand weiterhin im Abbruch, und zwar bis zu einer Tiefe von 2,5 bis 3 m unter SKN. Der Abbruch des Strand es kann aber nicht

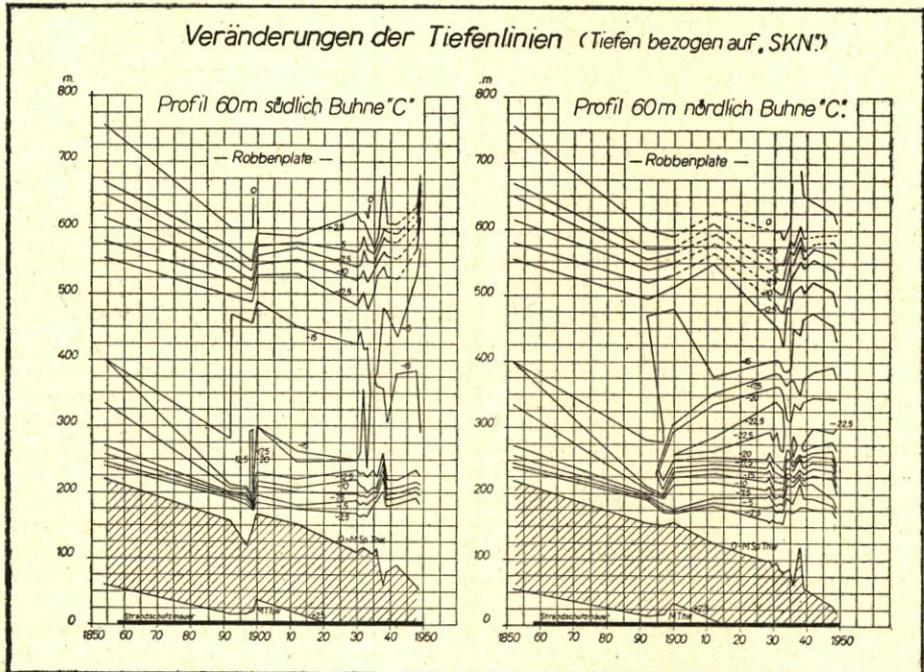


Abb. 2. Zeichnerische Darstellung der Veränderungen am Inselsockel, am Strand und an der Robbenplate

allein auf die Strömungen zurückgeführt werden, denn die Buhnen müßten den Strand gegen Strömungsangriffe ebenso schützen, wie die Unterwasserschwellen den Inselsockel. Die angreifende Kraft kann nur in der Brandung gesehen werden. Die Hauptbrandung läuft von Nordwesten gegen die Insel an. Die Welle schlägt den Sand des Strand es los und wirft ihn gegen das Strandschutzwerk. Ein Teil des Sandes wird von dem Unterstrom zurück in das Seegat befördert. Die Hauptmasse wird von der Welle am Strandschutzwerk entlang verfrachtet. Da die Schutzmauern schräg zur anlaufenden Welle liegen — gemäß der Strandrichtung in West- und Südwest- bzw. in Nordostrichtung — läuft die Welle auf die Mauer auf und schießt weite Strecken auf ihr entlang. Mit ihr wird der Sand in Südost- bzw. Nordostrichtung verfrachtet. Diese Transportrichtung zeigt sich auch in der Verlagerung der Schüttsteine, die zum Schutz vor der Strandschutzmauer eingebracht sind und sich nach schweren Stürmen in den südlichen bzw. östlichen Buhnenwinkeln ansammeln. Wenn die

\*) SKN = Seekartennull = Mittelspringtideniedrigwasser = NN — 1,50 m.

Welle von der Mauer wieder in das Meer zurückläuft, sucht sich der mitgenommene Sand an der neuen Stelle abzulagern. Die südlichen bzw. östlichen Bühnenfelder erhalten somit noch eine ständige Sandzufuhr. Die Abbruchstendenz ist daher hier noch nicht so stark ausgeprägt, wie die der vorhergehenden Felder. Erst wenn das vorhergehende Bühnenfeld eine derartige Tiefe erreicht hat, daß nicht mehr genügend Sand aufgegriffen werden kann, kommt das folgende Bühnenfeld auch in verstärkten Abbruch. Der Strandabbruch schreitet daher am Weststrand nach Süden, am Nordweststrand nach Osten fort.

Daß sich der Strandabbruch nicht tiefer als 2,5—3 m unter SKN auswirkt — im Gegensatz zu der freien Küste und dem Meere, wo die Welle noch in weit größere Tiefe wirkt — ist darauf zurückzuführen, daß die Welle bereits durch die vorgelagerten Riffe umgeformt worden ist.

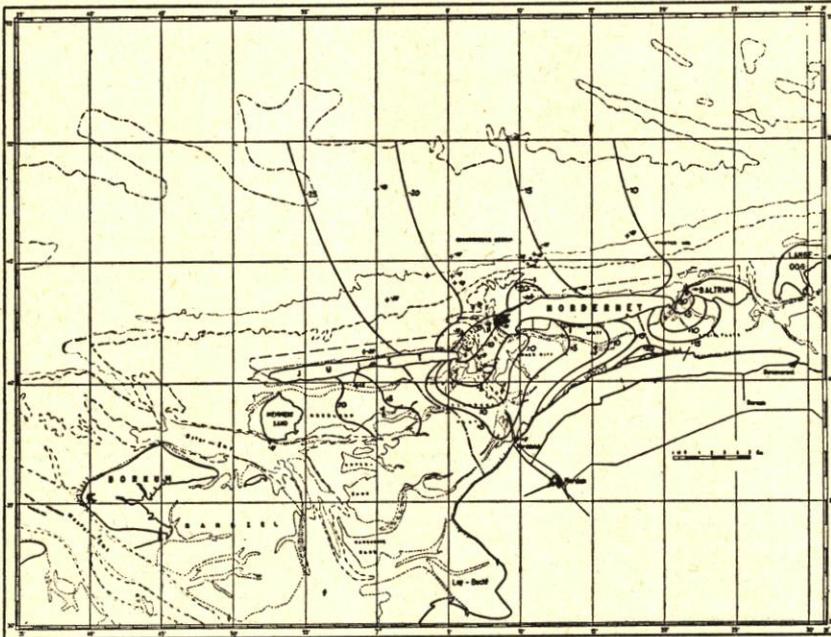


Abb. 3. Wahrscheinlicher Verlauf der Flutstundenlinien bei Norderney

An der Nordwestspitze von Norderney zwischen den Bühnen A und B läuft die Welle senkrecht auf die Strandschutzmauer auf. Ein Seitentransport findet hier kaum statt. Es ist daher auch das einzige Bühnenfeld, das sich noch in ziemlicher Höhe hält, während die Nebenfelder bereits tief ausgeräumt sind. Überlagert wird der ständige Abbruch am Nordweststrand von zeitweisen Strandzunahmen, wobei kurzfristige Zunahmen meistens noch durch anhaltende Ostwindperioden begünstigt waren. Maximale Strandlagen traten in den Jahren 1895 und 1925 auf, stärkste Abbrüche in den Jahren 1885, 1915 und heute, doch war der Strandverlust immer stärker als die vorhergehende Strandzunahme. Woher diese Sandmengen kommen und welchen Weg sie im einzelnen einschlagen, ist noch nicht geklärt.

#### 4. Die Gezeiten und das Gefälle

WALTHER hatte bei seinen Untersuchungen (3) angenommen, daß die in Westostrichtung fortschreitende Flutwelle von der ansteigenden Küste abgebremst wird und sich somit vor den Seegaten eine Richtung des Flutscheitels in Nordost—Südwest ergibt. Vor Spanier Gat und Dovetief müßten sich danach Thw und Tnw nahezu gleichzeitig einstellen. Zahlreiche Hochsepegelmessungen zeigen aber, daß eine abbremsende Wirkung des Küsten-

anstiegs unwahrscheinlich ist, so daß sich ein Fortschreiten der Gezeitenwelle in Westost-richtung mit dem Scheitel in Nordsüdlage einstellt (Abb. 3). Vor den in Nordsüdrichtung verlaufenden Riffen wird die Flut gestaut, die Ebbe abgesaugt. Aus den Messungen ergibt sich, daß Thw und Tnw vor Spanier Gat und Schluchter etwa fünf Minuten früher als vor dem Dovetief eintreten, was einen Wasserstandsunterschied während der Tide von maximal 10 cm bedeutet.

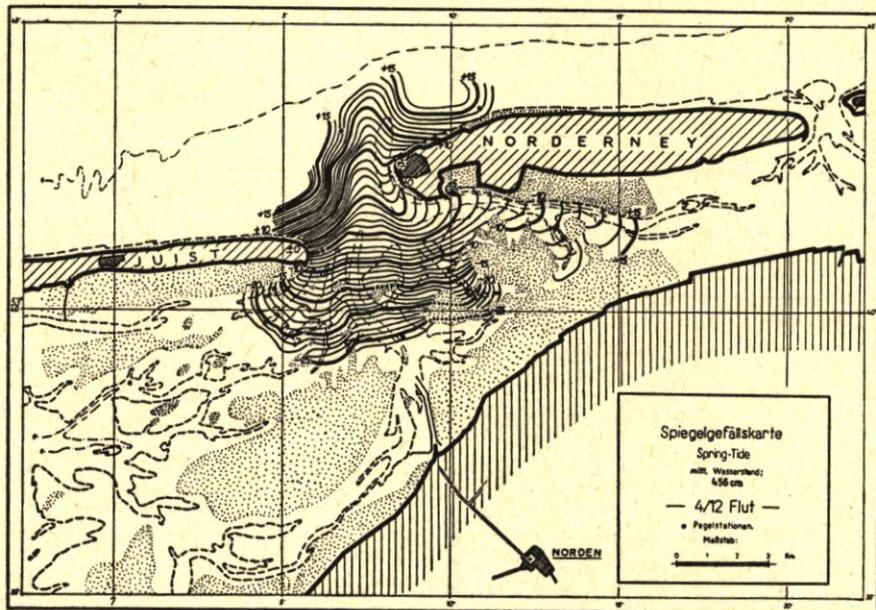


Abb. 4.

Dieser Verlauf der Flutstundenlinien ist auch in den sich einstellenden Wasserspiegelgefällen zu erkennen, die durch ein verhältnismäßig enges Schreibpegelnetz für ruhige Wetterlage sicher erfaßt werden konnten. Da zwischen dem Gefälle bei Nipp- und Springtiden nur quantitative Unterschiede vorhanden sind, wird hier nur das Gefälle bei Springtide dargestellt.

Bei Flut (Abb. 4) ist das Gefälle von See zum Watt gerichtet. Schon bei 3/12 Flut stellt sich im Spanier Gat ein Gefälle von 1 : 10 000 ein, während gleichzeitig in der Rinne ein Gefälle von 1 : 35 000 herrscht. Dieser Zustand hält etwa bis Mittelwasser (6—7/12 Flut) an. Die Linien gleichen Gefälles drehen dann mehr in Ostwestrichtung; das Gefälle wird allgemein schwächer und gleicht sich zwischen Spanier Gat und Rinne mehr an.

Bei Ebbe (Abb. 5) ist schon bei 2/12 Ebbe ein sehr starkes Gefälle im Spanier Gat vorhanden (1 : 12 000), das im Verlauf der Tide noch mehr zunimmt und bis 10/12 Ebbe bestehen bleibt. In der Rinne des Seegats ist das Gefälle stets schwächer (1 : 30—50 000). Aus dem Verlauf der Thw und Tnw in der Linie Dovetief—Seegatrinne—Busetief läßt sich auch der Einfluß der Morphologie auf die Strömungen erkennen. Das Tnw wird danach bei Flut vor den Riffen aufgestellt, fällt in der Rinne bis zur Busetiefbarre zwischen Riffgat und Busetief, wird vor der Engstelle zwischen Branderplate und Steinplate wieder aufgestellt, um dann erst langsam, später schnell eine weitere Aufsteilung bis zur Festlandsküste zu erfahren. Das Tnw steigt erst langsam, dann schneller bis zur Engstelle der Seegatrinne zwischen Norderney und Robbenplate an, um dann stark bis zum Dovetief abzufallen. Die Stauerscheinungen vor den Engstellen der Rinnen sind aber nicht unmittelbar durch die Schwingung der Gezeitenwelle bedingt, sondern es stauen sich in der Enge die strömenden Wassermassen, die bei Flut von Norden, bei Ebbe von Süden herandrängen. Der durch die Querschnittsgestaltung des Strom-

bettes erzeugte Fließzustand der strömenden Wassermassen wirkt wieder rückläufig auf die Gestalt der Gezeitenwelle ein.

Dem Gefälle entsprechen auch die durch Schwimmermessungen festgestellten Richtungen der Oberflächenströmungen. Die Wassergeschwindigkeiten bei Flut und Ebbe überschreiten dabei sowohl im Spanier Gat als auch im Seegat 1,00 m/sec.

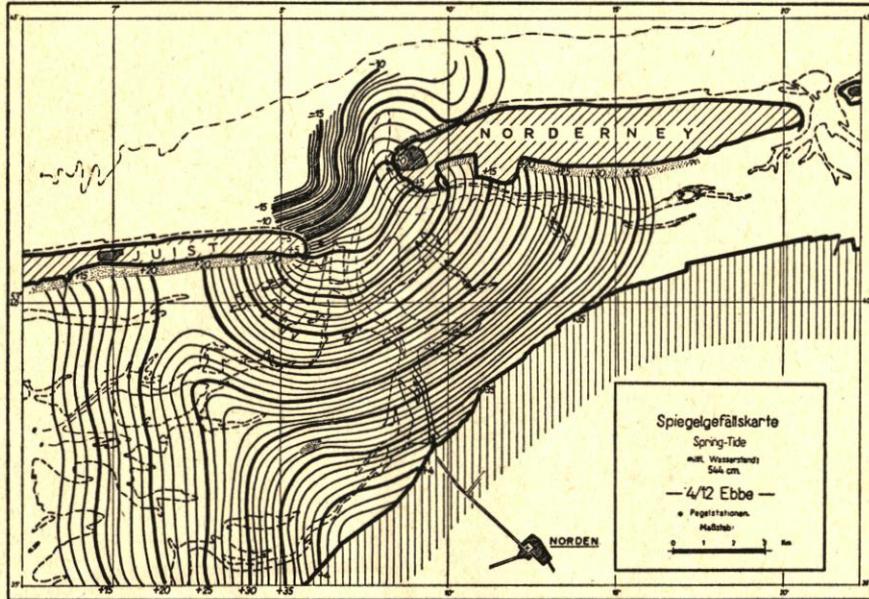


Abb. 5.

### 5. Die Wassermengenverteilung

Ein anders geartetes Bild zeigt die Verteilung der Wassermengen auf die einzelnen Gaten und Rinnen im Verlauf der Tide (Abb. 6 und 7).

Entsprechend dem Gefälle wird das Norderneyer Watt zu Anfang zum überwiegenden Teil vom Spanier Gat aus gefüllt. Mit der Drehung der Gefällelinien steigt die Leistungsfähigkeit der Seegatrinne, doch bleibt die Leistung des Spanier Gats noch immer hoch. Das einströmende Wasser verteilt sich auf die drei Haupttrinnen des Norderneyer Wattes: das Busetief, die Legde und das Riffgat. Das Busetief wird während der ganzen Flut allein vom Spanier Gat, das Riffgat überwiegend vom Seegat und zu einem geringen Teil vom Spanier Gat aus gefüllt. Die Legde wird zu Anfang überwiegend vom Spanier Gat aus gefüllt, wobei die Barre zwischen dem Seegat und dem Busetief in Längsrichtung überströmt wird. Mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit der Seegatrinne im Verlauf der Flut beteiligt sie sich an der Auffüllung der Legde, doch bleibt die Einströmung vom Spanier Gat ständig erhalten.

Im Gegensatz dazu entspricht die Wassermengenverteilung bei Ebbe nicht immer dem vorherrschenden Gefälle. Während zu Beginn der Ebbe die abfließenden Wassermengen fast ausschließlich dem Gefälle entsprechend durch das Spanier Gat ausfließen, macht sich nach 3/12 Ebbe die Barre am Ostende des Spanier Gats bemerkbar, so daß ab 10/12 Ebbe trotz des Gefalles im Spanier Gat das gesamte Wasser durch die Rinne nach Norden abfließt.

Die Wasserführung des Busetiefs ist bei Ebbe wesentlich größer als bei Flut, im Gegensatz zur Legde. Es müssen also erhebliche Wassermengen, die durch die Legde über die südlich in ihr liegende Barre in das Norderneyer Watt eingeströmt sind, durch die Barre abgelenkt und dem Busetief zugeführt werden.

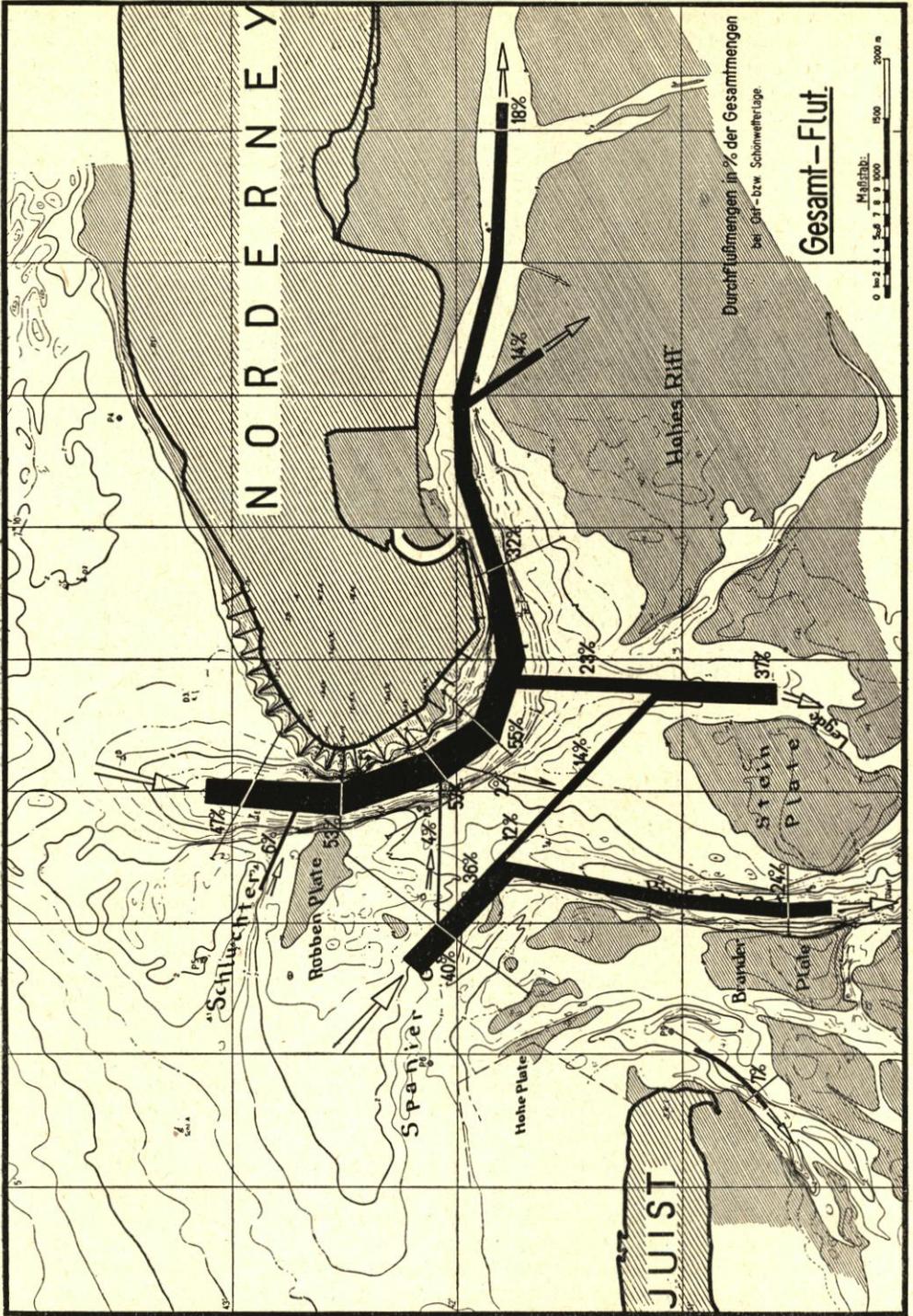


Abb. 6. Durchflussmengen im Norderneyer Seegat in % der Gesamtmengen bei Flut

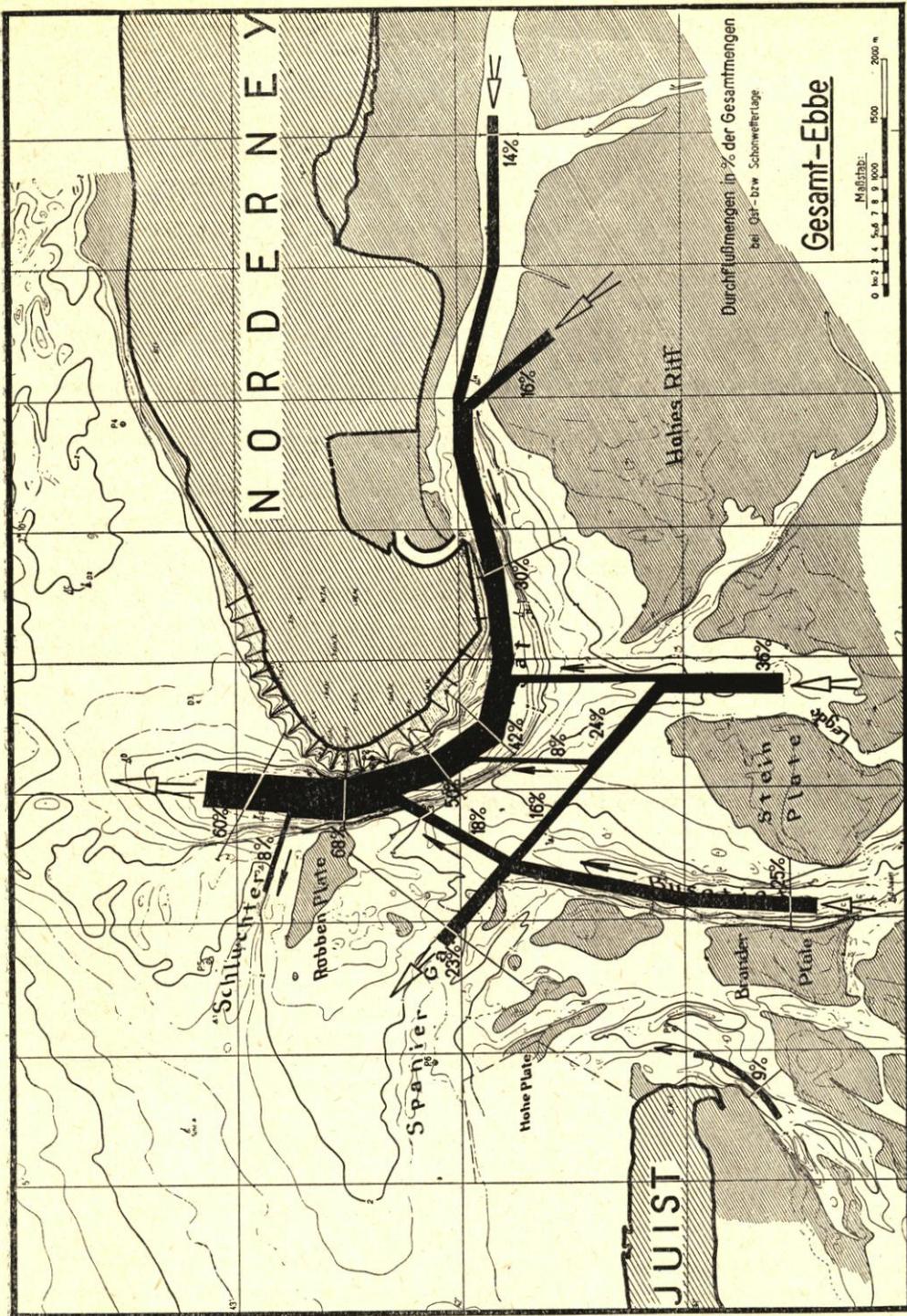


Abb. 7. Durchflusssummen im Norderneyer Seegat in % der Gesamtsummen bei Ebbe

Das Kalfamergat am Ostende von Juist führt während der ganzen Zeit ein Eigenleben und steht nicht im Zusammenhang mit der Wasserführung im übrigen Wattengebiet.

#### 6. Die Sandwanderung

Die Bewegung des Sandes wurde mit Hilfe der Verteilung von Muschelschalen auf dem Meeresgrund verfolgt (Abb. 8). Da auf See und im Watt verschiedene Muschelarten leben, ihre Schalen und deren Bruchstücke auch in lebensfremden Gebieten gefunden wurden, müssen diese durch Strömung und Brandung verfrachtet worden sein. Es ist anzunehmen, daß ähnliche Wege wie die Schalen auch der Sand zurücklegt. Die Verteilung der Muschelschalen ist von Dr. KRAUSE (5) im Auftrag der Forschungsstelle eingehend untersucht worden. Es zeigt sich, daß im Spanier Gat und Schluchter im wesentlichen Seesand eingespült wird. Ebenso sind die westlichen Riffe, Branderplate, Hohes Riff, Robbenplate und Nordwestgründe aus Seematerial aufgebaut. An der Westseite der Rinne des Busetiefs und Seegats wird überwiegend Seematerial nach Norden transportiert.

Der Sandstrom aus dem Spanier Gat kreuzt das Busetief bei der Barre zwischen ihm und der Seegatrinne und dringt noch tief an der Westseite der Legde ein.

Das Wattmaterial wird an der Ostseite des Busetiefs, der Legde und der Seegatrinne nach Norden und zum Dovetief hinaus verfrachtet.

In dieser Sandwanderungsrichtung ist auch die Beständigkeit der Barre zwischen Busetief und Seegatrinne begründet. Der Ebbstrom ist nicht in der Lage, die Barre so stark abzutragen, daß nicht bei Flut der Sandverlust immer wieder ausgeglichen wird. Dieses zeigen auch die Peilungen. In Zeiten mit erhöhten Wasserständen, wenn die Ebbeströmungen wegen des höheren Wasserstandes relativ klein sind, wird die Barre erhöht, während bei dauernden niedrigen Wasserständen, z. B. bei Ostwindlagen, die Barre abgetragen wird, weil der Flutstrom und damit die Sandwanderung infolge der geringen Aufnahme des Norderneyer Wattes schwächer sind.

#### 7. Die Schlechtwetterlage

Die bisher dargestellten Gefälle- und Strömungsverhältnisse treten bei Schönwetterlage auf, d. h. bei Winden beliebiger Richtung bis Stärke 3 Beaufort. Bei Schlechtwetterlage, d. h. bei Winden westlicher Richtung mit Windstärke 4 und mehr beginnen die Strömungen vollständig anders zu verlaufen.

Schaufelrad-Strommessungen zeigen, daß bei Westwind von Stärke 8 und mehr im Spanier Gat und in der Seegatrinne auch bei Flut trotz steigenden Wasserstandes im Watt eine starke Strömung in Richtung von Süd nach Nord auftritt (Abb. 9). Eine Füllung des Norderneyer Wattes bei Flut findet also bei einer derartigen Windlage nicht mehr durch das Norderneyer Seegat statt, sondern das Watt muß von hinten über das Juister Watt gefüllt werden. Unter dem Einfluß des Windes wird das Wasser von der Oster-Ems über die Watscheide des Juister Wattes vertrifft. Infolge des trichterförmigen Raumes des Juister Wattes zwischen der östlich sich erstreckenden Insel Juist und der nord-östlich verlaufenden Festlandsküste wird das Wasser in Höhe des Norderneyer Seegats so hoch angestaut, daß der Wasserspiegel höher ist als der auf See und sich somit ein Ausströmen aus dem Seegat bei Flut ergibt.

#### 8. Das Kräfteverhältnis im Norderneyer Seegat

Das Norderneyer Seegat in seiner heutigen Gestalt ist verhältnismäßig jung. Es konnte sich erst nach der restlosen Zerstörung der Insel Buisse um das Jahr 1820 ausbilden. Erst zu diesem Zeitpunkt hat sich das Busetief, das um 1600 noch etwa 6 km weiter westlich gelegen hatte, hinter das Norder Tief geschoben, wodurch es zu der Bildung des Norderneyer Seegats kam. Zu diesem Zeitpunkt begannen erst die starken Abbrüche der Insel Norderney. Der Weststrand nahm in der Zeit von 1820 bis 1857, dem Beginn des Baues der Strandschutzwerke, um 50 m, der Nordweststrand um 400 m ab. Durch den Bau der Strandschutzwerke, der Strandschutzmauer und der Bühnen wurde die weitere Ostwärtsverlagerung des Norder-

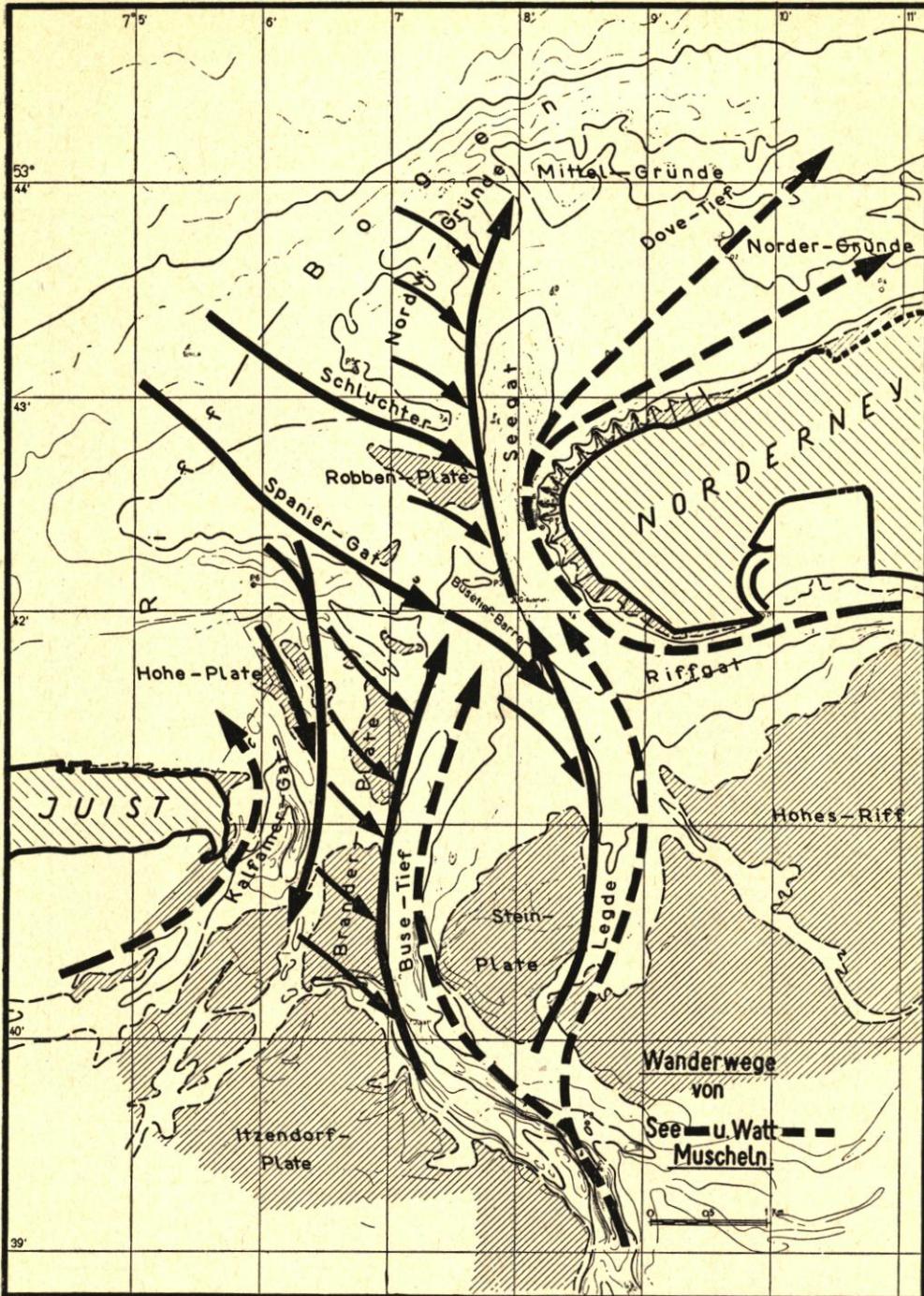


Abb. 8. Wanderwege von See- und Wattmuscheln im Norderneyer Seegat



neyer Seegats verhindert. Die natürliche Tendenz der Verlagerung bestand aber weiterhin. Unter ihrer Wirkung schnitt sich die Seegatrinne immer tiefer in den Untergrund ein und erreichte 1898 ihre größte Tiefe von über 28 m vor der Westspitze von Norderney.

Wie bereits oben beschrieben, war es durch die Buhnen gelungen, den Inselsockel von Norderney zu erhalten, durch die Strandschutzmauer wurde die Dünenkette geschützt. Es gelang aber nicht, den Strand selbst zu erhalten. Er blieb weiterhin im Abbruch.

Die durch den Untergang der Insel Buise hervorgerufene Sonderstellung Norderneys in der gestaffelten Lage der ostfriesischen Inseln (Südstrand von Norderney 600 m nördlicher als der Nordstrand von Juist) muß als ein wesentlicher Grund der Abbruchserscheinungen von Norderney angesehen werden, im Gegensatz z. B. zu der Lage von Langeoog, bei der die Akumer Ehe und damit der Flutstrom in Nordsüdrichtung verläuft, während der Flutstrom im Norderneyer Seegat von Westen nach Osten in das Norderneyer Watt eindringen kann.

Die in Westostrichtung vor der Inselkette vorbeilaufende Gezeitenwelle wird in dem Winkel zwischen Juist und der Robbenplate vor den Riffen gestaut und das Wasser über die flachen Rinnen und Sände in das Norderneyer Watt gedrückt. Der Druck kommt in dem starken Gefälle, den hohen Stromgeschwindigkeiten und dem hohen Anteil des Spanier Gats an den Gesamtwassermengen während der ersten Tidestiegphasen zum Ausdruck. Mit dem allmählichen Fortschreiten der Gezeitenwelle werden die nördlichen Riffe stärker überströmt, so daß die Belastung der Seegatrinne allmählich steigt. Doch bleibt der Anteil des Spanier Gats während der ganzen Flutdauer immer noch hoch.

Flutstrom und Brandung bringen von See den Sand heran. Während der Strom den Sand nur zu unterseeischen Riffen aufhäufen kann, wird der Sand von der Brandung zu hohen Platen aufgeworfen. Die eigentliche Riff- bzw. Platenbildung geht also nicht auf die Wirkung des Stromes, sondern auf die der Brandung zurück. Sie baut den Riffbogen entgegen der einbennenden Wirkung der Tideströmungen immer wieder auf. Die Brandungsenergie wird gewissermaßen in den hohen Sandplatten wie in einem Akkumulator aufgespeichert. Die Aufhöhung der Riffe verändert dann rückwirkend wieder den Stromverlauf je nach dem Ausmaß der durch die Brandung aufgeworfenen und gegen die Stromrinnen bewegten Sandmengen. Die Brandungsenergie teilt sich also mittelbar durch die Bewegung des Sandes mit, so daß man auch geneigt sein kann, von einem Sanddruck (wenn auch nur mittelbar) zu sprechen.

Die ständige Sandzufuhr mit dem Flutstrom baut die Brander-, Hohe- und Robbenplate auf. Sie hält aber auch die Barre zwischen Busetief und Seegat gegen den Angriff des Ebbstromes auf Höhe und verstärkt die östlich vom Busetief gelegene Steinplate. Diese hat dadurch das Bestreben, unter der von Norden kommenden Sandzufuhr nach Westen zu wandern.

Der Druck der Branderplate bei Flut nach Osten und der der Steinplate nach Westen engen das Busetief ein, das sich infolgedessen in die Tiefe entwickelt. Die Platen werden an ihren Steilkanten, besonders bei Ebbe, naturgemäß von dem starken Strom wieder angegriffen. Die Steilkanten müssen also bei Flut in die Rinne vorwandern, bei Ebbe wieder abgetragen werden. Derartige Pendelbewegungen sind 1933 von WALTHER für die Robbenplate durch Peilungen nachgewiesen worden. Sie haben während einer Tide etwa 10 cm betragen.

Die gleichen Erscheinungen wie im Busetief treten in der Seegatrinne zwischen der Robbenplate und der Insel Norderney auf. Die Robbenplate hat die Tendenz, unter dem Sanddruck nach Osten zu wandern, während die Ostseite der Rinne durch die Strandschutzwerke von Norderney festgehalten wird. Die Rinne hat sich daher bis zu einer Tiefe von 28 m durch den Geschiebemergel hindurch eingeschnitten.

Da die Füllung des Norderneyer Watts von See aus von Westen her erfolgt, ist das Seebecken zwischen dem Nordweststrand und den nördlich davor gelegenen Riffen strömungsarm. Das Gebiet hat an der Wasserzufuhr zum Norderneyer Watt nur geringen Anteil. Bei Flut ist die Wassergeschwindigkeit über die nördlichen Riffe daher gering. Infolgedessen findet auch bei Flut keine Sandzufuhr zum Nordweststrand statt.

Bei Ebbe fließt das Wasser aus dem Norderneyer Watt entsprechend dem Gefälle durch das Spanier Gat während der ersten 2/12 Tidephasen nach Westen ab. Dann wirkt sich aber

die Morphologie im Seegat entscheidend aus. Ein Ausströmen der Ebbwassermassen entsprechend dem Hauptgefälle tritt nicht mehr auf.

Die aus dem südlichen Norderneyer Watt im Einzugsgebiet des Busetiefs abfließenden Wassermassen werden vor der Engstelle zwischen Brander- und Steinplate gestaut. Bei der Durchströmung der Engstelle erhält das Wasser eine derartige Strömungsenergie, daß es in der Lage ist, den von Westen her kommenden Sanddruck der Branderplate auch nördlich der Engstelle zu überwinden. Die Engstelle wirkt somit wie eine „Stromdüse“, die austretenden Wassermassen wie ein „freier Strahl“. Nach dem Austritt aus der Düse breiten sich die Wassermassen aus. Die Strömungsenergie wird kleiner, so daß der Sanddruck wieder Übergewicht gewinnt. Das ist auf der Barre zwischen dem Busetief und dem Seegat der Fall.

Gleiche Verhältnisse treten in der Seegatrinne auf. Die Düse wird hier zwischen der Robbenplate und der Insel Norderney gebildet. Die Rinne stellt die Ausblasungsrinne dar. Erst bei den Nordwestgründen hat der freie Strahl seine Energie verloren, so daß der Sanddruck durchdringen kann. Es kommt so zur Ausbildung des Riffbogens.

Im Gebiet des Norderneyer Seegats haben wir es also mit zwei hintereinander gestaffelten Seegaten zu tun. Einmal mit dem Busetief mit der Stromrinne zwischen Brander- und Steinplate und dem Riffbogen: Hohe Plate, Busetiefbarre und Steinplate, die zugleich als Riffanlandungspunkt aufgefaßt werden kann, zum anderen mit der Seegatrinne mit ihrer Stromdüse zwischen Robbenplate und Westspitze Norderneys, dem Riffbogen Nordwest-, Mittel- und Nordergründe und dem Riffanlandungspunkt etwa 5 km östlich der Westspitze von Norderney bei der Weißen Düne. Daß der Riffbogen des Busetiefs viel stärker gekrümmt ist als der langgestreckte des Seegats ist darin begründet, daß der Flutstrom aus der Seegatrinne in die Legde vergleichsweise viel stärker ist als der über die nördlichen Riffe des Seegats.

Der Nordweststrand erhält auch bei Ebbe keine Sandzufuhr. Die Riffe legen sich wie ein Wehr vor die aus der Seegatrinne ausströmenden Wassermassen, die dort gestaut werden. Das Gefälle konzentriert sich auf den Riffen, so daß in dem Becken vor dem Nordweststrand die Wassergeschwindigkeiten und infolgedessen auch die Sandbewegungen gering sind. Die aus der Düse der Rinne herausgeblasenen Sandmengen werden entsprechend der Strömungsenergie des freien Strahls nach Norden verfrachtet und auf den Nordwestgründen abgelagert.

Nach den Gefällskarten versucht die Ebbe, das Wasser aus dem Norderneyer Watt nach Westen abzusaugen. Diesem Gefälle folgt das Wasser aber nur während der ersten 2/12 Tidephasen. Dann wird das Riff am Ostende des Spanier Gats so hoch, daß es ebenfalls wie ein Wehr wirkt. Das aus der Stromdüse des Busetiefs ausströmende Wasser fließt an diesem Längswehr entlang und sucht sich den Weg über die Busetiefbarre. Die Sandzufuhr bei Flut ist so groß, daß die Spaniergatbarre trotz der großen Wassergeschwindigkeiten bei Ebbe nicht wesentlich abgetragen werden kann, zumal die auch bei Ebbe herrschende Brandung dem Strom entgegenarbeitet. Während der letzten vier Stunden fließt praktisch überhaupt kein Wasser mehr durch das Spanier Gat ab.

Gleiche Verhältnisse haben sich auch in der Wechselbeziehung zwischen Seegatrinne und Schluchter ausgebildet.

Bei Schlechtwetterlage sind die Strömungsverhältnisse im Norderneyer Seegat grundsätzlich anders. Die Schlechtwetterlage mit westlichen Winden über Windstärke 3 Beaufort tritt nach dem Winddruck ( $mv^2$ ) im fünfzehnjährigen Mittel zu 70 v. H. im Jahr auf, während die Schönwetterlage nur zu 10 v. H. und die Ostwindwetterlage zu 20 v. H. vorhanden ist.

Infolge der Wasserverfrachtung über das Juister Watt werden die Flutströme weitgehend geschwächt, und die Stromdüsenwirkung tritt verstärkt in Erscheinung. Zugleich aber mit der Wasserverfrachtung über das Juister Watt tritt auf See eine gleichartige Wasserverfrachtung auf, wie sie auch WENDICKE (6) bereits nachgewiesen hat. Die auf See laufende Wasserverfrachtung drückt die aus dem Seegat ausfließenden Wassermengen verstärkt an Norderney heran. Der aus den Stromdüsen ausgetriebene Sand wird aber nicht von der Westost laufenden Triftströmung beeinflusst, da diese nur oberflächlich verläuft und der Sandtransport in den Tiefen stattfindet. Die Seeverfrachtung kommt somit als sandarmer Strom an den Nordweststrand von Norderney und wird von der nordöstlich verlaufenden Küstenlinie nach Norden abgelenkt.

Es entwickeln sich somit vor dem Nordweststrand erhebliche Wassergeschwindigkeiten, die Werte von über 2 m/sec. annehmen können. Hierdurch wird der Strandabbruch trotz der Buhnen, die bei den bei Westwindlage herrschenden höheren Wasserständen überströmt werden, wesentlich beschleunigt. In der Seevertreibung ist daher auch die wesentliche Ursache des starken Strandverlustes des Nordweststrandes von 400 m in den Jahren 1820 bis 1860 zu suchen. Die Seevertreibung wirkt sich auch als eine Ostwärtsverschiebung des Riffanlandungspunktes aus.

Bei Ostwindwetterlage herrscht im allgemeinen ein verhältnismäßig niedriger Wasserstand. Die auch dann auftretende, aber nach Westen gerichtete Wasservertriftung wird von den nördlichen Rifven von dem Nordweststrand abgelenkt, so daß eine wesentliche Sandzufuhr auch bei Ostwindwetterlage nicht stattfindet. Der Strand erhöht sich zwar bei Ostwindwetterlage, doch ist die Strandzunahme wahrscheinlich nur aus dem Vorrat des Riffanlandungspunktes und wegen der verhältnismäßig selten auftretenden Wetterlage so gering, daß sie den Strandabbruch bei Westwindwetterlage nicht ausgleichen kann.

### C. Die Beurteilung der wesentlichen seebautechnischen Maßnahmen zum Schutze der Insel Norderney

#### 1. Der Damm K 4

Der Damm K 4 (Abb. 10) war das Ergebnis des Modellversuches. Da jedoch in dem Modellversuch die entscheidenden Kräfte: Wind, Seegang, Brandung, Sandwanderung und Vertreibung nicht dargestellt worden sind — praktisch auch nicht dargestellt werden konnten —, kann der Modellversuch nicht zur vollgültigen Beurteilung der Strandschutzwerke von Nor-

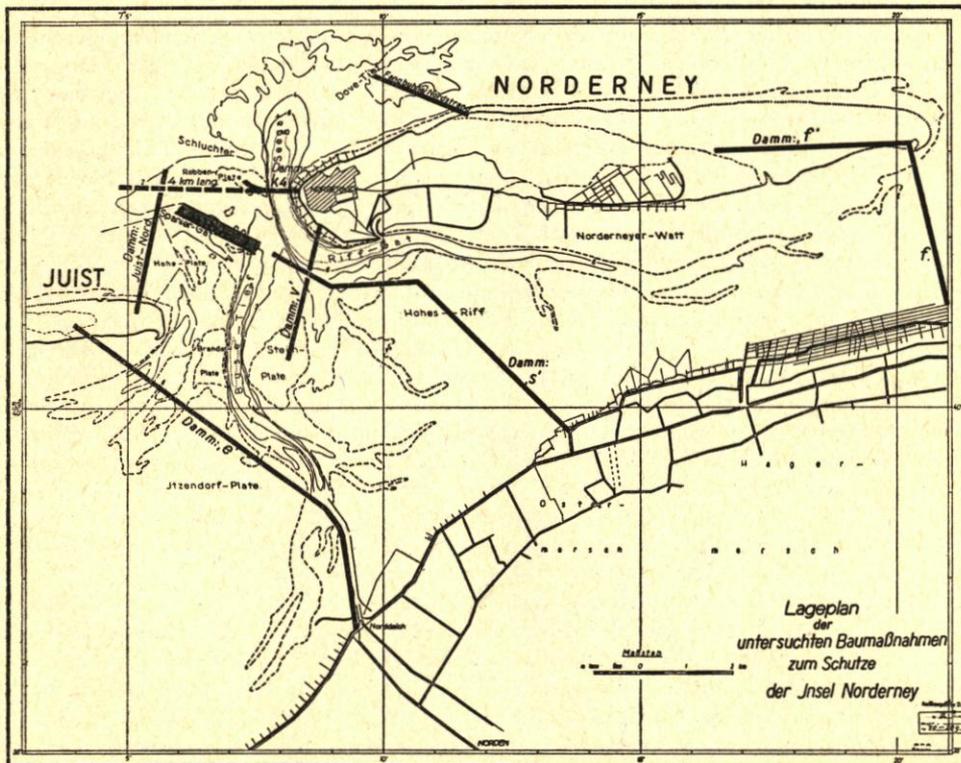


Abb. 10. Lageplan der untersuchten Baumaßnahmen zum Schutze der Insel Norderney

derney angesehen werden. In dem Modell hätten sich die Strömungen nach dem Gefälle einstellen müssen. Die Anzeichen dafür machten sich in der Drehung der Strömung im Norderneyer Seegat um 30 Grad nach Westen bemerkbar. Diese Drehung wurde seinerzeit auf die zu nahe liegende nördliche Begrenzung des Modells zurückgeführt. Die volle Entwicklung der Rinnen nach dem Gefälle war aber nicht möglich, weil das Modell im wesentlichen eine Betonsole hatte und die Wasserbewegung durch die tiefen Rinnen weitgehend vorgezeichnet war.

Der Damm K 4 sollte sich von der Westspitze von Norderney nach Westen in einer Länge von 1400 m erstrecken. Wenn man annimmt, daß es gelingen würde, den Damm K 4 in kurzer Zeit herzustellen, so würde das Wasser zu Anfang den ihm zwangsweise vorgezeichneten Weg nach Westen nehmen. Auf Grund der hydrologischen Verhältnisse im Seegat würde sich aber vor dem Dammkopf in entsprechendem Abstand eine neue Robbenplate bilden, und die Rinne würde nach Norden abgelenkt werden. Infolgedessen tritt zwischen dem Dammkopf und der neuen Robbenplate wieder die Stromdüse und die nach Norden laufende Ausblasungsrinne auf. Es ergeben sich somit im Endeffekt dieselben Verhältnisse vor dem Damm K 4 wie heute im Norderneyer Seegat, nur daß sie um Dammlänge nach Westen verschoben werden. Es ist somit durch den Damm K 4 kein Erfolg für die dauernde natürliche Strandzufuhr zu der Insel Norderney zu erwarten.

## 2. Der Damm Juist—Festland

Die weitgespannte Lage des großen Riffbogens um Norderney hängt von der Strömungsenergie der aus dem Norderneyer Watt ausfließenden Wassermengen ab. Wenn diese Wassermengen wesentlich verkleinert werden, so ist zu erwarten, daß der Riffbogen sich näher an die Insel Norderney heranlagert. Bei einer vollständigen Verlandung des Norderneyer Wattes würde der Sand von der Insel Juist unmittelbar zum Westende der Insel Norderney durchwandern.

Um eine derartige Verlandung des Norderneyer Wattes bzw. eine Verringerung der Wasserführung im Norderneyer Seegat einzuleiten, wurde vorgeschlagen, einen Damm zwischen dem Ostende von Juist und dem Festlandshafen Norddeich zu bauen. Bei einer derartigen Lage des Dammes östlich der Wattwasserscheide des Juister Wattes würde die Wasserführung im Norderneyer Seegat erheblich verringert werden. Es würde auch gelingen, im Schutze dieses Dammes größere Landgewinnungswerke zu bauen und somit das Norderneyer Watt im Laufe längerer Zeit zu verlanden. Durch einen derartigen Damm würden die ungünstigen Kräfte im Norderneyer Seegat weitgehend verringert werden, so daß im Laufe längerer Zeit die Westspitze von Norderney Sandzufuhr erhalten muß.

Gegen diesen Damm sprechen aber heutzutage noch wesentliche Gesichtspunkte. Abgesehen von der sehr schwierigen technischen Durchführung und den hohen Kosten stellt dieser Damm einen derartigen Eingriff in die Natur dar, daß es heute noch nicht möglich ist, alle Wirkungen restlos und sicher zu beurteilen. Mit Sicherheit würde sich westlich des Dammes infolge der Wasservertriftungswirkung ein sehr hoher Wasserstau ergeben. Weiterhin wird der Schiffsverkehr vollkommen unterbunden. Es ist nicht möglich, in dem Damm Schiffahrtsöffnungen freizulassen, da durch diese die Wirkung des Dammes wieder weitgehend aufgehoben würde. Schleusen würden sehr schnell versanden. Durch die Verlandung östlich des Dammes im Norderneyer Watt würde der Hafen Norddeich verschlickt, und der Schiffahrtsverkehr von Norddeich nach Norderney, der heute unabhängig von der Tide durchgeführt werden kann, würde infolge Versandung des Busetiefs bald unterbunden werden.

Es würde daher notwendig sein, in nicht allzu langer Zeit nach dem Bau des Dammes Juist—Festland zur Versorgung der Insel Norderney einen weiteren Damm, und zwar zwischen Norderney und dem Festland, zu schaffen. Bei einer entsprechenden Lage dieses Dammes wie der des Dammes Juist—Festland würde besonders die Insel Baltrum, bei der gleiche Verhältnisse wie in Norderney vorliegen, geschützt werden. Weiterhin könnte von diesem Damm aus eine starke Landgewinnung im Norderneyer Watt betrieben werden, wodurch die Wasserführung im Norderneyer Seegat sehr schnell weiterhin verkleinert werden könnte.

Für die Wiedergewinnung des Strandes und des natürlichen Schutzes der Insel Norderney ist der Damm Juist—Festland das beste und wirksamste Mittel.

Wegen seiner weitgreifenden Wirkungen auf den Gebieten der Hydrographie und der Wirtschaft erfordert er aber seine sorgfältige Planung.

### 3. Der Damm Norderney—Steinplate

Die Ursache für die ungünstige Strandentwicklung von Norderney muß in der exponierten Lage der Insel gegenüber der wesentlich südlicheren Lage von Juist gesehen werden. Während im Norderneyer Seegat die Flut unmittelbar von Westen nach Osten in den östlichen Teil des Norderneyer Wattes einströmt, wird z. B. in der Akkumer Ehe infolge der starken Überlappung zwischen den Inseln Baltrum und Langeoog der Flutstrom sofort in die Nord-südrichtung umgebogen. Der Flutstrom muß daher auch die nördlichen Riffe in der Akkumer Ehe stärker überströmen und den Sand an die bisher durch keine Strandschutzwerke geschützte Insel Langeoog heranbringen. Weiterhin können die Ebbwassermassen aus dem großen östlichen Teil des Langeooger Wattes den ihm infolge der südlichen Lage der Rinne entgegenstehenden Sanddruck weitgehend überwinden, so daß sich in der Akkumer Ehe die tiefe Rinne auf der Westseite des Seegats ausbilden konnte.

Würde man einen ähnlichen Zustand auch im Norderneyer Seegat künstlich erzeugen durch den Bau eines Dammes von Norderney zur Steinplate, dann müßte das Riffgat um diesen Damm im Süden herumfließen. Es würde bei dem senkrechten Auftreffen auf die Branderplate deren Sanddruck überwinden können, und es besteht die Möglichkeit, daß sich dann bei Schönwetterlage eine ähnliche Morphologie im Norderneyer Seegat einstellt wie in der Akkumer Ehe. Da die Rinne etwa 3 km westlich von Norderney liegen würde, ist anzunehmen, daß auch der Nordweststrand infolge entsprechender Verlagerung des Riffgürtels Sandzufuhr erhält.

Jedoch bei Schlechtwetterlage wirkt ein derartiger Damm für die Wasservertriftung über das Juister Watt wie eine Schöpfbühne. Da die Schlechtwetterlage vorherrschend ist, besteht die Gefahr, daß sich unter der Wirkung der Wasservertriftung die Rinne an diesen Damm heranlegt und somit an dem jetzigen Zustand des Norderneyer Seegats nichts wesentliches geändert wird. Für die Akkumer Ehe wirkt sich die Wasservertriftung bei weitem nicht so aus wie für Norderney, da das Baltrum-Langeooger Watt im Gegensatz zum Juister Watt nach Osten geöffnet ist und somit auch bei Schlechtwetterlage bei Flut ein ständiger Einstrom in das Watt vorhanden ist.

Wegen dieser Unsicherheit ist von dem Bau des Dammes Norderney—Steinplate als einzigem Bauwerk abgeraten worden, doch würde er im Zusammenhang mit dem Damm Juist—Festland dessen günstige Auswirkungen für Norderney beschleunigen und verbessern.

### 4. Der Damm Juist-Nord

Um den Sprung zwischen Juist und Norderney zu decken, besteht die Möglichkeit, einen Damm am Ostende von Juist nach Norden zu bauen. Durch diesen Damm würde die Sandeintreibung durch das Spanier Gat unterbunden werden. Das Busetief könnte den Sanddruck der Branderplate überwinden und nach Nordwesten durchstoßen, das Riffgat würde keinen Widerstand an der Busetiefbarre mehr erhalten und ebenfalls nach Vereinigung mit dem Busetief nach Nordwesten ausströmen.

Der Bau eines derartigen Dammes ist aber technisch kaum durchführbar, da es sich um ein sehr bewegliches, flaches, unter schwerstem Brandungsangriff stehendes Gebiet handelt.

### 5. Verlängerung der Insel Norderney um 4 km nach Westen

Um die Seegatrinne weiter nach Westen zu drücken und somit den Riffanlandungspunkt nach Westen zu ziehen, besteht die Möglichkeit, einen Damm von der Westspitze von Norderney in 4 km Länge zu bauen, während der Damm K 4 nur 1,4 km Länge erhalten sollte. Damit würde die gesamte Seegatentwicklung sich um die gleiche Länge nach Westen

verschieben, und der Rifflandungspunkt würde im Laufe längerer Zeit bis zum Westende von Norderney vorwandern.

Infolge der sehr schwierigen technischen Durchführung — es handelt sich um ein Gebiet schwersten Brandungsangriffes mit leicht beweglichen tiefgründigen Sänden — würden die Bau- und Unterhaltungskosten eines solchen Dammes derartig hoch werden, daß von einer Durchführung der Baumaßnahmen Abstand genommen werden muß.

#### D. Zusammenfassung

Die Untersuchungen der Forschungsstelle Norderney im Jahre 1949 haben ergeben, daß die Insel Norderney zwar durch die Strandschutzwerke gehalten werden kann, daß aber der West- und Nordweststrand infolge fehlender natürlicher Sandzufuhr von der Brandung abgebaut werden. Der Sandmangel ist die Folge der starken vom Watt her wirkenden Ebbströme, die bei der zu rund 70 v. H. herrschenden Schlechtwetterlage noch wesentlich durch die windvertrifteten Wassermengen über das Juister Watt verstärkt werden, und die entgegen den natürlichen hydrographischen Kräften von dem von See her wirkenden „Sanddruck“, den vom Flutstrom und Brandung aufgebauten und nach Osten bewegten Rifflen, gegen die Insel gedrängt werden. Letzten Endes ist die Ursache für die ungünstige Strandentwicklung die gestaffelte Lage von Norderney gegenüber der Insel Juist nach dem Untergang der Insel Buise, so daß zwei Seegaten auf die Insel Norderney einwirken.

Da von den verschiedenen Möglichkeiten der Wiedergewinnung eines natürlichen Strandes am Westende von Norderney, nämlich Beeinflussung der seewärtigen Kräfte, Umlenkung der Kräfteverhältnisse im Seegat selbst und Verringerung der Ebbeströmungen mit Unterbindung der Wasservertriftung nur der letztere sicheren Erfolg mit vertretbaren Mitteln verspricht, wurde vorgeschlagen, den Bau des Dammes Juist zum Festland zur Ausführung vorzusehen. Seine großen Auswirkungen im ganzen Küstenbereich machen jedoch eine sehr sorgfältige Planung und eine weitere eingehende Untersuchung erforderlich. Bis zu seiner Erstellung und günstigen Auswirkung müssen die Strandschutzwerke weitgehend erweitert und dem wachsenden Angriff durch die See entsprechend ausgebaut und unterhalten werden.

#### E. Schriftenverzeichnis

1. GAYE, Julius: Entwicklung und Erhaltung der ostfriesischen Inseln. Zentralbl. d. Bauverw. H. 22, Berlin 1934.
2. GAYE, Julius und WALTHER, Friedrich: Die Wanderung der Sandriffe vor den ostfriesischen Inseln. Bautechnik H. 41, Berlin 1935.
3. WALTHER, Friedrich: Die Gezeiten und Meeresströmungen im Norderneyer Seegat. Bautechnik H. 13, Berlin 1934.
4. WALTHER, Friedrich: Grundlagen für die Entwicklung der Meeresströmungen in den Seegaten und Wattengebieten der ostfriesischen Küste. Wasserwirtschaft H. 1 und 2, Stuttgart 1949.
5. KRAUSE, Heinrich R.: Quantitative Schilluntersuchungen im See- und Wattengebiet von Norderney und Juist und ihre Verwendung zur Klärung hydrographischer Fragen. Archiv f. Molluskenkunde d. Senkenb. Naturforsch. Ges. Bd. 79, H. 4/6, 1950.
6. WENDICKE, Fr.: Die hydrographischen Ergebnisse aus hydrographischen und biologischen Untersuchungen auf den deutschen Feuerschiffen der Nordsee 1910/11. Veröff. d. Instituts f. Meereskunde Berlin.
7. LINKE, Otto: Beiträge zur Geomorphologie der Flachküste. I. Das Norderneyer Seegat. 1949. Unveröffentlichtes Manuskript der Forschungsstelle Norderney.

# Die Wirkung der Buhne H in Wangerooe-West auf das Seegat „Harle“

Von Karl Lüders

Die Buhne H im Westen der Insel Wangerooe (Abb. 1) ist in den Jahren 1938 bis 1940 um rund 1170 m auf insgesamt 1460 m verlängert worden. Im Endzustand sollte die Buhne den auf Abbildung 2 dargestellten Querschnitt erhalten. Wegen des während der Bauzeit ausgebrochenen Krieges konnte der Bau nicht zu Ende geführt werden. Es sind die Sinkstücklagen und die Steinschüttung etwa bis zur Tideniedrigwasserlinie ausgeführt worden.

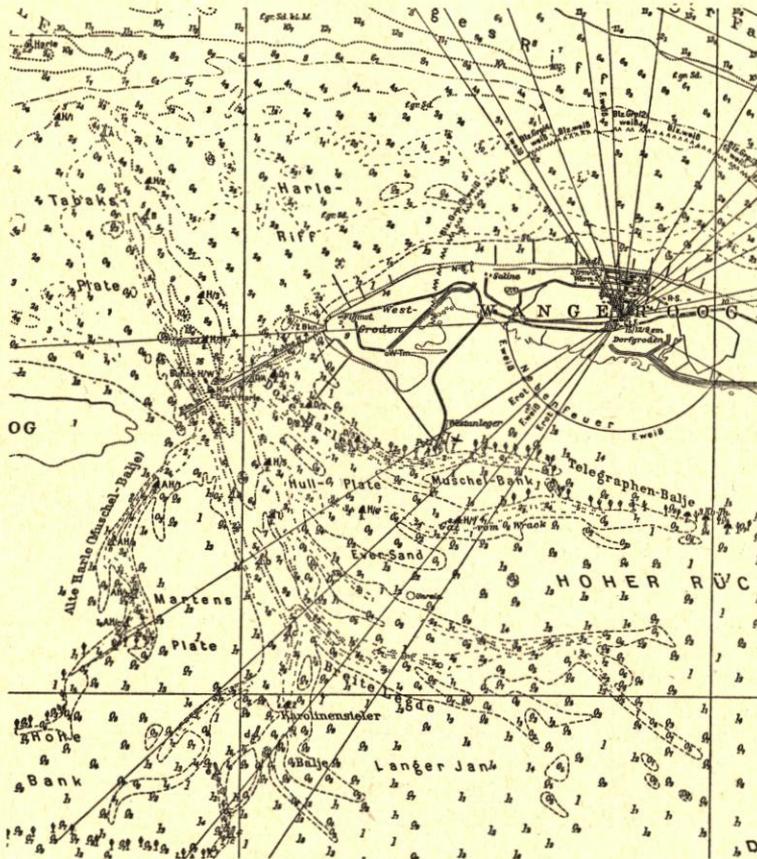


Abb. 1. Die Insel Wangerooe mit der Buhne H  
Ausschnitt aus der Deutschen Seekarte Nr. 2, herausgegeben vom  
Deutschen Hydrographischen Institut, Hamburg, Ausgabe 1951

Die Betonblockabdeckung bis zur Tidehochwasserlinie ist jedoch nicht mehr vorgenommen worden. In diesem Zustand liegt die Buhne heute noch. Abgesehen von einigen geringfügigen Abtragungen des Schüttsteinkörpers durch Brandung und Eis hat sich das Bauwerk in diesem unfertigen Zustand trotz Fehlens jeglicher Unterhaltung gut gehalten.

Mit der Verlängerung der Buhne H sollte einer Entwicklung des Seegats „Harle“ entgegengetreten werden, die zu einer großen Gefahr für den Westen der Insel Wangerooe zu

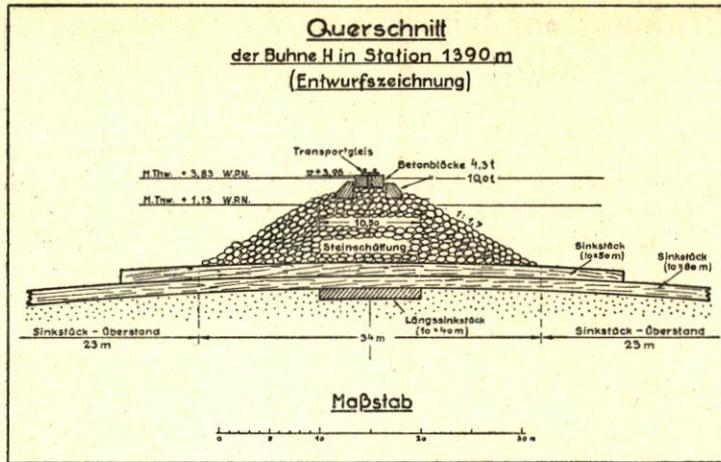


Abb. 2.

werden drohte. Die Auswertung der vorhandenen zuverlässigen Vermessungsunterlagen, die bis zum Jahre 1859 zurückreichen, läßt dies erkennen. In der Hauptsache sind es die folgenden vier Vorgänge, die seit 1859 zu dieser ungunstigen Entwicklung führten:

1. Der im Jahre 1859 vorhandene hochwasserfreie Strand im Westen von Wangerooge schwenkte über Süden nach Osten, wodurch Wangerooge-West den natürlichen Schutz verlor.
2. Das Seegat „Harle“ verlagerte sich bei gleichzeitigem Ostwärtswandern der Insel Spiekeroog nach Osten.
3. Der nördliche Teil der tiefen Harlerinne schwenkte aus nordwestlicher in eine nördliche Richtung.
4. Es bildete sich unmittelbar vor den Strandschutzwerken im Westen Wangerooges eine zweite Seegatrinne, die „Dove Harle“, die sich laufend vertiefte und vergrößerte und damit zu der Hauptseegatrinne zu werden drohte.

Zu diesen vier Punkten ist im einzelnen folgendes festzustellen:

Zu 1: Im Jahre 1859 lag vor dem Westen der Insel Wangerooge ein im Mittel 600 m breiter hochwasserfreier Strand, der sich rund 1650 m weit nach Südwesten in das Gebiet des Seegats „Harle“ erstreckte (Abb. 3). Unter der Wirkung der Brandung, der Gezeitenströmungen und der bei höheren Tiden quer über diese Sandzunge setzenden Strömungen verlagerte sich der hochwasserfreie Strand zunächst in südlicher, dann in östlicher Richtung. Er schwenkte hierbei gewissermaßen um das Westende der Düneninsel herum. Im Jahre 1908 lag er bereits im Süden der Insel, deren Westende wegen des ständig stärker gewordenen Angriffes der See in zunehmendem Maße durch Buhnen und Strandmauern geschützt werden mußte.

Um ein weiteres Zurückweichen des etwa seit 1930 bereits im Südosten von Wangerooge-West gelegenen Strandes zu verhindern, wurde im Jahre 1936 der „Buschdamm“ gebaut, der die Süddünen mit dem Westanleger verbindet. Außerdem wurden die Buhnen V und W verlängert bzw. neu gelegt. Durch diese Baumaßnahmen ist der weitere Abbruch des Südweststrandes bisher im wesentlichen unterbunden worden.

Das Herumschwenken des hochwasserfreien Weststrandes hat nicht nur den Westen Wangerooges seines natürlichen Schutzes beraubt und damit den ständig erweiterten Ausbau des Strandschutzes bedingt, es ist hierdurch auch die Richtung der Gezeitenströmungen maßgeblich in ungünstigem Sinne beeinflusst worden. Der früher weit nach Südwesten vorspringende Strand wirkte wie eine Buhne; die Strömungen wurden von dem Inselsockel abgewiesen,

und damit wurden auch die tieferen Watrinnen und sogar das Seegat selbst von der Insel ferngehalten.

Zu 2: Wie die Vermessungen ausweisen, setzte etwa von 1890 ab ein schnelles Anwachsen des Oststrandes von Spiekeroog ein. Dieser Vorgang fällt mit der Verlagerung des Südweststrandes von Wangerooge nach Osten zeitlich zusammen. Die nach Osten vorwandernde Insel Spiekeroog drängte auch die tiefe Harlerinne ostwärts, und zwar um etwa 800 m in der Zeitspanne von 1859 bis 1940.

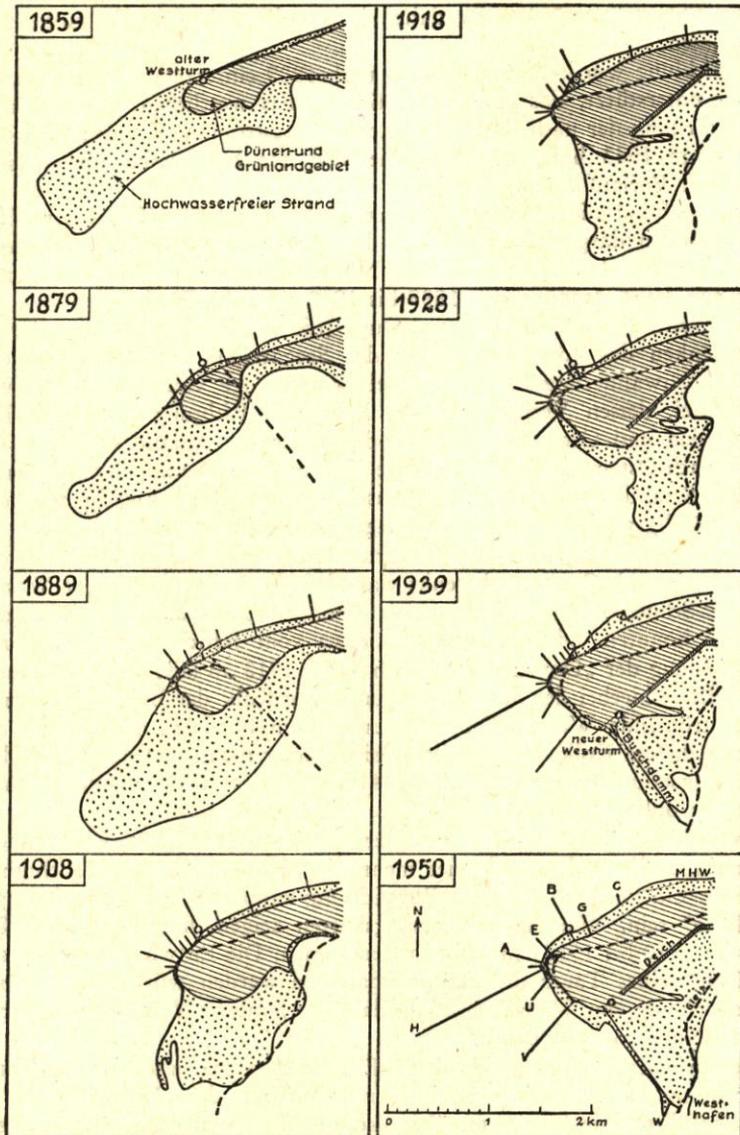


Abb. 3. Die Verlagerung des hochwasserfreien Strandes am Westende der Insel Wangerooge

Zu 3: Zu dieser Ostwärtsverlagerung der „Harle“ trat noch eine andere, sich ungünstig für die Insel Wangerooge auswirkende Erscheinung, und zwar das Herumschwenken des

nördlichen Teiles der tiefen Seegatrinne aus nordwestlicher Richtung in eine nördliche Richtung. Der Vergleich der vorhandenen Karten zeigt, daß diese Rinne von 1859 bis 1889 aus ihrer nach Nordnordwest gerichteten Lage in eine nach Nordwest verlaufende geschwenkt ist. Dieser Vorgang hängt mit der Veränderung des Südweststrandes zusammen, der sich in dieser Zeitspanne aus der mehr nach Westen gerichteten Lage in eine Südwestlage verschoben hatte. Offensichtlich hatte der Südweststrand in dieser Lage eine stärkere abweisende Wirkung auf den Ebbstrom im Seegat. In der Folgezeit ging diese günstige Beeinflussung der Strömungsrichtung dadurch verloren, daß sich der Wangerooger Südweststrand immer mehr nach Osten verlagerte. Die Ebbeströmung konnte daher in zunehmendem Maße eine mehr nördliche Richtung einnehmen.

Diese Entwicklung wurde noch durch das nach 1889 einsetzende starke Ostwärtswandern von Spiekeroog unterstützt, das eine Vergrößerung des westlichen Wateinflußgebietes und damit eine Verstärkung der nach Osten gerichteten Ebbeströmung aus dem Spiekerooger Watt bewirkte. Im Jahre 1943 hatte der nördliche Teil der Harlerinne einen fast genau nach Norden gerichteten Verlauf (Abb. 4).

Der zeitliche Ablauf dieses Herumschwenkens des nördlichen Teiles der „Harle“ ist auf Abbildung 5 graphisch dargestellt. Von 1859 bis 1889 ist zunächst eine leichte Schwenkung der Rinne nach Westen, dann aber eine nach Norden gerichtete Schwenkung eingetreten. Die letztere betrug für die Zeitspanne von 1889 bis 1940 etwa 26 Grad.

Die unter 2. und 3. geschilderte Entwicklung (die Ostwärtsverlagerung der „Harle“ und das Herumschwenken des nördlichen Teiles der Seegatrinne in eine nördlichere Richtung) war für die Sandzuwanderung nach der Insel Wangeroog von nachteiliger Wirkung. Der seeseitige Riffgürtel, dessen Verlauf von der Lage und Richtung der Seegatrinne abhängt, wurde nach Norden und Osten verlagert, wodurch sich die Anlandestelle der Riffe auf der Insel gleichfalls nach Osten verschob. Die Folge hiervon war eine abnehmende Sandversorgung des schützenden Strandes im Westen der Insel, der damit geschwächt wurde. Dies hatte wiederum eine ständig wachsende Vergrößerung der Angriffskräfte auf die Insel zur Folge.

Zu 4: Die Ausbildung der „Doven Harle“ setzte erst ein, als der Südweststrand von Wangeroog so weit nach Osten geschwenkt war, daß die Bühnenköpfe der Westbühnen nicht mehr in seinem Schutz lagen und nun von dem Ebbstrom aus dem Wangerooger Watt getroffen werden konnten. Dieser Zustand ist etwa vom Jahre 1910 ab eingetreten.

Die Entwicklung der „Doven Harle“ vom Jahre 1918 ab läßt die Abbildung 4 erkennen. Offensichtlich bildete hierbei der ausgedehnte und tiefe Kolk der Bühne A einen Anziehungspunkt für das strömende Wasser. Die dicht unter dem Niedrigwasserstrand liegende Rinne verband sich mit diesem Kolk, und es bildete sich immer mehr eine durchgehende tiefe Rinne unmittelbar am Inselsockel aus. Im Jahre 1941 reicht diese Rinne bereits vom Westanleger bis zum Kolk der Bühne A.

Die „Dove Harle“ übernahm im Laufe der Zeit in steigendem Maße die Bedeutung einer zweiten Seegatrinne. Sie entlastete immer mehr die „Harle“, die an Ausdehnung und Tiefe allmählich verlor. Ein Maßstab für diese Entwicklung kann z. B. die Veränderung der größten Tiefe der „Harle“ sein. Wie die Vermessungskarten zeigen, hat die größte Wassertiefe in der „Harle“ von 1910 bis 1938 um 7,6 m abgenommen. Die Entwicklung lief also dahin, daß die „Dove Harle“ eines Tages die Hauptseegatrinne werden würde, die dann unmittelbar unter dem Weststrande von Wangeroog lag, daß also ähnliche Verhältnisse eintreten würden, wie sie heute in Norderney vorliegen.

Um diese im vorstehenden geschilderte Entwicklung zu unterbinden, wurde die Verlängerung der Bühne H bis an die Ostseite der Seegatrinne der „Harle“ in den Jahren 1938 bis 1940 durchgeführt. Wie bereits erwähnt, konnte die Bühne nicht planungsgemäß fertiggestellt werden.

Im folgenden soll nun untersucht werden, welche Wirkung die Bühne H in den zehn Jahren nach ihrer Fertigstellung gehabt hat. Diese Untersuchung gründet sich auf die im Sommer 1950 durchgeführte Vermessung des Harle-Gebietes, des Weststrandes von Wangeroog und des Oststrandes von Spiekeroog.

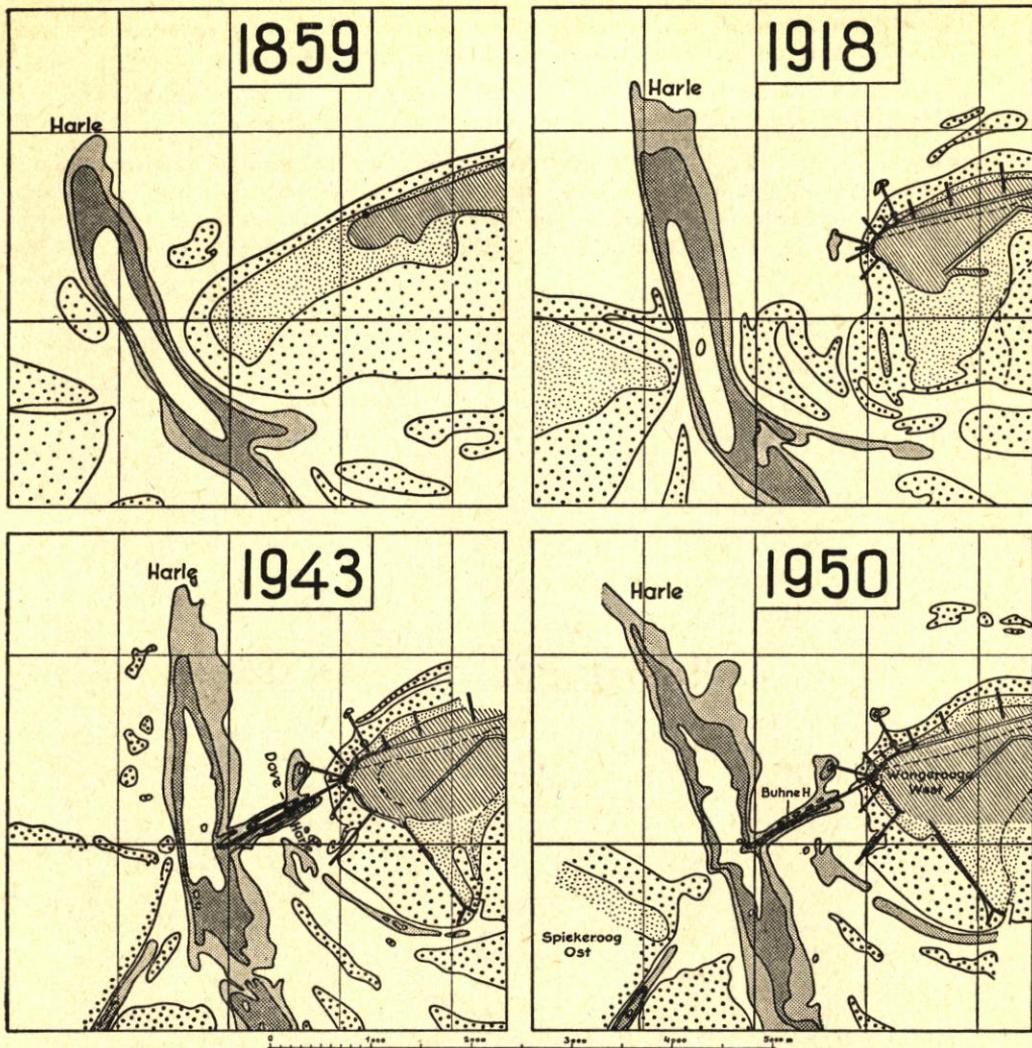


Abb. 4. Das Verschwenken der tiefen Seegat-Rinne der Harle

Es ergibt sich folgendes:

- Der nördliche Teil der tiefen Rinne der „Harle“ ist von seiner Richtung nach Norden um 20 Grad wieder nach Westen zurückgedreht worden (Abb. 5).
- Die „Dove Harle“ ist in Rückbildung begriffen. Die durchgehende Rinne hat sich in Einzelteile aufgelöst, und der Kolk vor der Bühne A ist kleiner und flacher geworden (Abb. 4).
- Die größte Wassertiefe in der „Harle“ hat erheblich zugenommen.
- Die Sandzufuhr nach dem Westen von Wangerooge war in den letzten Jahren besonders groß. Heute (1950) hat der gesamte Westen der Insel einen hochwasserfreien Strand. Ein solcher Zustand ist seit fünfzig Jahren nicht mehr beobachtet worden (Abb. 3). Ob auch eine Westwärtsverlagerung der Rifflandestelle eingetreten ist, kann heute noch nicht festgestellt werden. Derartige Veränderungen benötigen größere Zeitspannen, ehe sie sichtbar werden.

e) Es hat den Anschein, daß die „Harle“ sich wieder nach Westen verlagert, was auch aus dem Abbruch des Ostendes der Insel Spiekeroog zu schließen ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Verlängerung der Buhne H bisher die erhofften Wirkungen voll erfüllt hat.

Inwieweit die mit der Buhne H gewonnenen Erkenntnisse auch für andere Seegaten (z. B. Norderney) gültig sind, bedarf einer besonderen Untersuchung. Hierbei sind die örtlichen Verschiedenheiten als maßgebend zu beachten. Als die Verlängerung der Buhne H ausgeführt wurde, befand sich die „Harle“ am Anfang einer Entwicklung, die zu ähnlichen

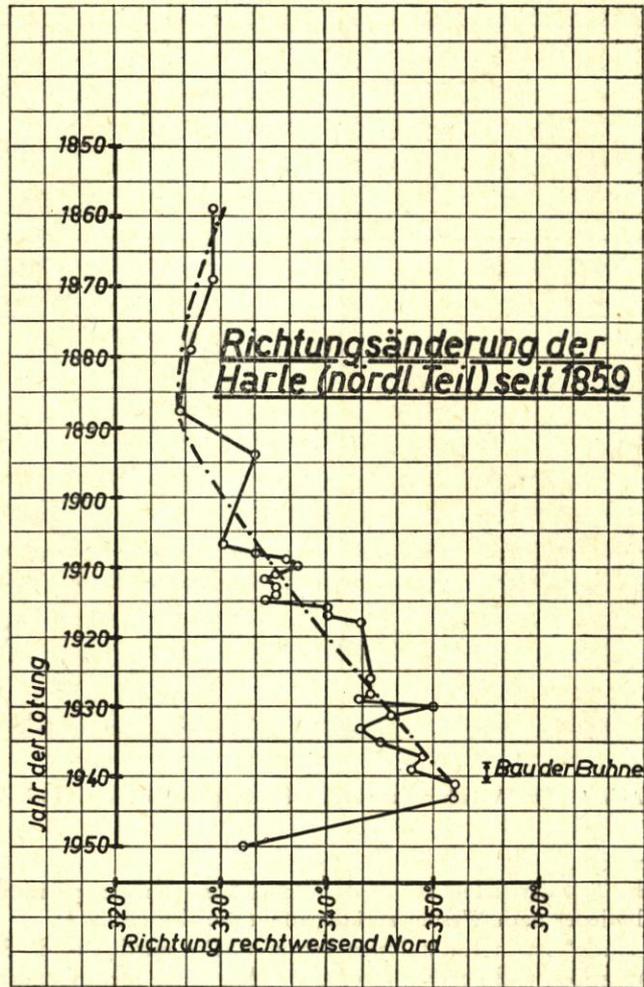


Abb. 5.

Verhältnissen zu führen drohte, wie sie heute in Norderney bereits seit langem bestehen. Aus diesem Grunde wird ein ähnliches Bauwerk in Norderney schwieriger zu bauen sein, und es wird längere Zeit dauern, ehe sich das natürliche Kräftespiel umgestellt hat. Andererseits zeigt die Wirkung der Buhne H, daß es möglich ist, mit einem solchen Bauwerk eine natürliche Entwicklung der Verhältnisse in einem großen Seegat aufzuhalten und sogar rückläufig zu machen. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß die Umstellung der wirkenden Naturkräfte durch ein solches Bauwerk sich erst im Verlauf vieler Jahre erzwingen läßt.

## Gutachtliche Stellungnahme

zu den

Untersuchungen über die Ursachen der Abbrucherscheinungen am West- und Nordweststrand der Insel Norderney sowie zu den zum Schutze der Insel vorgeschlagenen seebautechnischen Maßnahmen

### I. Veranlassung

Der Niedersächsische Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten hat mit Schreiben vom 16. März 1950 den „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“ gebeten, zu dem Abschlußbericht der Forschungsstelle Norderney über „Die Ursachen der Abbrucherscheinungen am West- und Nordweststrand der Insel Norderney und die Beurteilung der zum Schutze der Insel vorgeschlagenen seebautechnischen Maßnahmen“ vom März 1950 (siehe Seite 1—20), im folgenden kurz „Bericht der Forschungsstelle“ genannt, Stellung zu nehmen\*).

### II. Beurteilungen

#### 1. Messungen und Beobachtungen

Die über das Gebiet von Norderney vorliegenden wissenschaftlichen Arbeiten sprechen für sich selbst und machen allen daran Beteiligten alle Ehre, und es gebührt diesen Arbeiten die größte Anerkennung. Die vorliegenden Forschungsergebnisse geben die Möglichkeit, sich ein besseres Bild als früher von dem Zustand, den Veränderungen und den wirkenden Kräften im See- und Wattengebiet von Norderney zu machen. An dieser Feststellung wird dadurch nichts geändert, daß durch die bisherigen Arbeiten noch nicht alle Vorgänge im Gebiet von Norderney restlos geklärt werden konnten. Es wird als notwendig angesehen, sie im Zusammenhang mit den sonstigen Forschungsarbeiten im Bereich der ostfriesischen Inseln fortzusetzen.

Im Bericht der Forschungsstelle sind die im Gebiet von Norderney wirkenden Kräfte im einzelnen aufgeführt. Es wird anerkannt, daß damit die wesentlichsten Einwirkungen erfaßt worden sind.

Es ist besonders darauf hinzuweisen, daß durch die Messungen und Beobachtungen des Jahres 1949 über die Gefälle- und Strömungsverhältnisse weitgehende neue Erkenntnisse gewonnen worden sind und daß dem Einfluß der wandernden Sandmassen besondere Beachtung geschenkt worden ist. Besonders zu begrüßen ist die Ausdehnung der Strombeobachtungen auf Schlechtwetterlagen, die sicher maßgeblich an den Vorgängen im Norderneyer Gebiet beteiligt sind. Die im Bericht zusammengestellten Forschungsergebnisse bedürfen aber der Ergänzung hinsichtlich der Wasser- und Sandbewegung und der mengenmäßigen Feststellung des im Jahresdurchschnitt auf der zu schützenden Strandstrecke eintretenden Sandverlustes.

\*) Das Gutachten wurde am 24. August 1950 in Bremen unterzeichnet:

Für die Arbeitsgruppe Norderney: Ministerialrat Gaye, Professor Dr.-Ing. Hensen, Oberregierungs- und -baurat Lorenzen, Oberregierungsbaurat Dr.-Ing. Lüders, Oberbaudirektor i. R. Plate, Regierungs- und Baurat Rollmann, Oberregierungs- und -baurat i. R. Schumacher, Oberregierungsbaurat Dr.-Ing. Walther.

Für den „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“: Der Vorsitzende: Professor Dr.-Ing. Agatz; Der Leiter des Arbeitsausschusses: Ministerialrat Gaye.

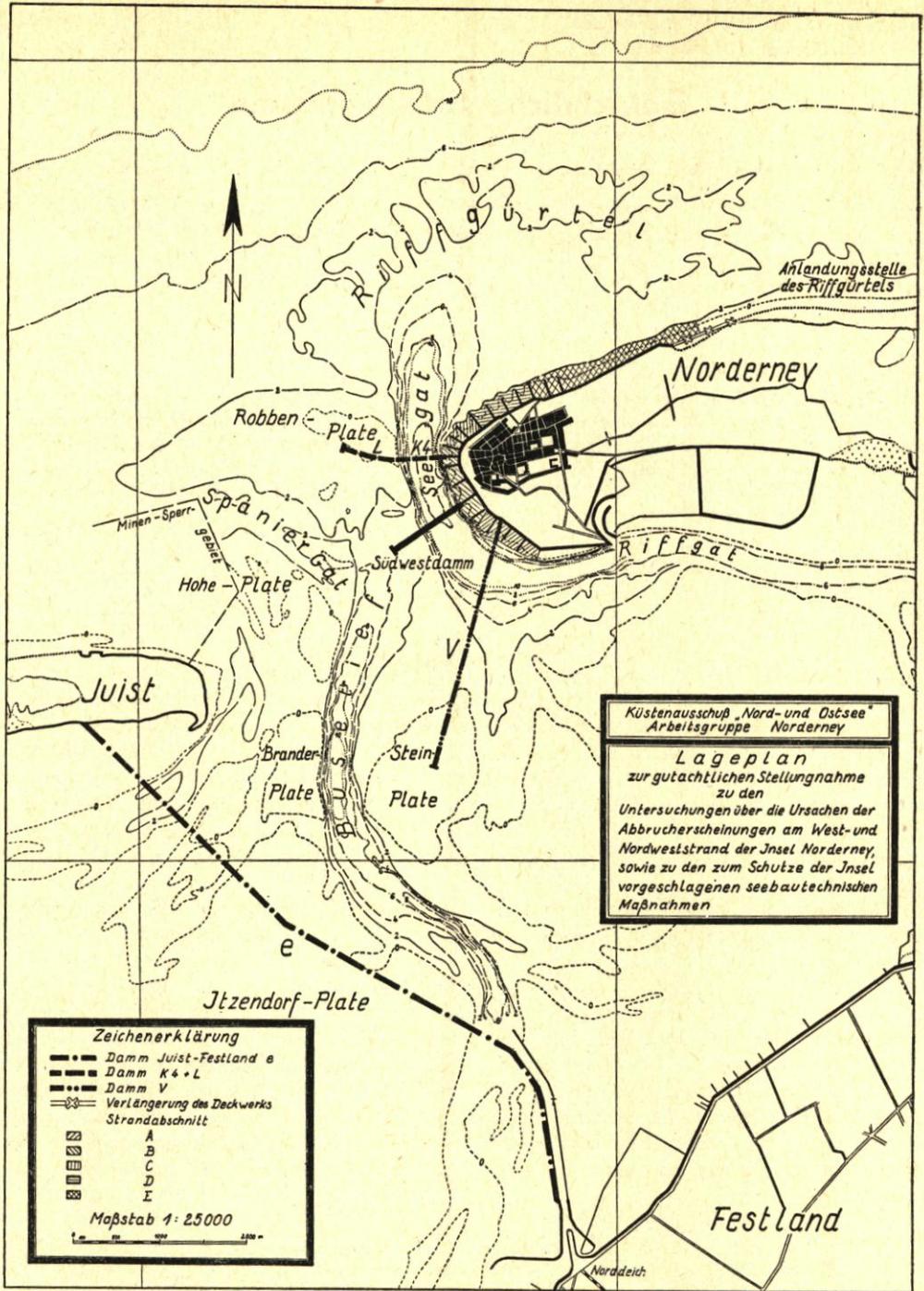


Abb. 1.

## 2. Modellversuche

Die früher (1939 und 1940) von der ehemaligen Preussischen Versuchsanstalt für Wasser-, Erd- und Schiffbau in Berlin durchgeführten Modellversuche bilden auch heute noch eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der Strömungsverhältnisse im Seegebiet von Norderney und für die Möglichkeit, diese durch technische Maßnahmen zu beeinflussen. Dabei darf man aber nicht aus dem Auge verlieren, daß sich in diesem Modell nicht alle Kräfte wiedergeben ließen, die tatsächlich in einem solchen Gebiet wirken. Schon die sehr verwickelten Tidevorgänge im Bereich von Norderney ließen sich im Modell selbst für ruhige Wetterlagen nicht völlig naturgetreu wiedergeben, noch viel weniger war dies für Schlechtwetterverhältnisse der Fall, bei denen Windvertriftung des Wassers und Brandung eine große Rolle spielen. Auch die Veränderungen der Platen, Riffe und Rinnen unter der in der Natur stark wechselnden Wirkung der Kräfte ließen sich nicht mit Sicherheit naturgetreu erreichen. Dies muß beachtet werden, wenn aus den Ergebnissen der Modellversuche Schlußfolgerungen für die Übertragung auf die Wirklichkeit gezogen werden sollen.

## 3. Vorgeschlagene Maßnahmen

Bei der Fülle der Vorschläge, die im Laufe der Zeit für den Schutz Norderneys gemacht worden sind, würde es zu weit führen, wenn auf alle dabei in Erwägung gezogenen Maßnahmen eingegangen werden sollte. Deshalb wird nur zu denjenigen Maßnahmen Stellung genommen, die nach Auffassung der Arbeitsgruppe als wesentlich anzusehen sind.

### a) Ausbaggerung des Spanier Gats

Der Gedanke liegt nahe und ist auch mehrfach vertreten worden, durch Öffnung des Spanier Gats einen Ersatz für die Seegatrinne zu schaffen und dadurch den Stromangriff auf die Westseite Norderneys zu beseitigen und die Anlandungsstelle des Riffgürtels weit nach Westen an den Nordweststrand der Insel zu verlegen. Nicht nur die Gestaltung der großen Mündungen der Ems, Jade und Elbe, sondern auch die nach Nordwesten gerichtete Mündung der Osterems zeigen, daß unter Umständen der Verlauf der natürlichen Stromrinnen durchaus so gerichtet sein kann, daß ein Stromangriff auf die Westseite benachbarter Inseln nicht naturbedingt ist. Die Strömung der Osterems greift jedenfalls zur Zeit nicht das Westende von Juist oder die Westseite des Memmert an. Hier begünstigt offenbar die starke Staffelung der Inseln Borkum und Juist zusammen mit dem großen ostwärts liegenden Wattengebiet den nach Westen und Nordwesten gerichteten Verlauf der Stromrinnen.

Die Staffelung zwischen den Inseln Juist und Norderney müßte an sich ebenfalls einen westöstlichen Verlauf der Mündungsrinnen begünstigen, wenn die Strömung selbst das Bestreben haben würde, diese Richtung zu bevorzugen.

In dem Bericht der Forschungsstelle und in früheren Arbeiten ist eingehend nachgewiesen worden, warum die Strömung im Norderneyer Seegat andere Wege geht. Hier möge nur auf das Übergewicht des Busetiefs gegenüber dem Riffgat, auf die Windvertriftung des Wassers hinter der Insel Juist und nördlich der Inseln sowie auf die durch Brandung und Strömung von Westen nach Osten bewegten Sandmassen (den „Sanddruck“) hingewiesen werden.

Durch eine Ausbaggerung des Spanier Gats allein können die natürlichen Gegebenheiten nicht so beeinflußt werden, daß daraus eine grundlegende Umgestaltung der Mündungsrinnen zu erwarten ist. Wenngleich nach den auf den Anlagen 22 und 23 des Berichtes der Forschungsstelle dargestellten Gefälleverhältnissen nicht nur bei Flut, sondern auch bei Ebbe die Strömung durch das Spanier Gat sehr begünstigt werden müßte, so ist der Forschungsstelle doch beizupflichten, daß die Wirkung des Gefälles durch den von Westen kommenden „Sanddruck“, d. h. durch das Aufwerfen hoher Sandbänke durch Flutstrom und Brandung, mehr als aufgehoben wird.

Es muß schon zur Öffnung des Spanier Gats eine andere Wirkung hinzukommen, durch die die Ebbeströmung im Seegat von der Nordrichtung nach Westen abgelenkt wird, wenn eine solche Maßnahme Erfolg haben soll.

Die Ausbaggerung des Spanier Gats ist sehr schwierig, weil die Wassertiefen in ihm und

besonders auf der Barre für große Seebagger zu gering sind und in ihm eine starke Brandung steht, die das Baggern außerordentlich erschwert. Der Einsatz von selbstfahrenden Saugbaggern ist wegen zu geringer Wassertiefe von vornherein nicht angängig. Saugbagger mit starrem Saugrohr können wegen der Dünung und des Seeganges nur selten in diesem Gebiet ohne Gefahr, das Saugrohr zu brechen, arbeiten. Saugbagger mit nachschleppenden, gelenkigen Saugrohren haben einmal zu großen Tiefgang und außerdem ist von ihnen in feinem Sand keine große Leistung zu erwarten. Vielleicht mag das der holländischen Baggerfirma L. Smit u. Zoon in Kinderdeijk patentierte Saugrohr mit Mittelgelenk den Einsatz von Saugbaggern erleichtern. Mit großen Baggerleistungen wird man im Spanier Gat nicht rechnen können, und eine Beseitigung von 2 Millionen cbm Boden, wie sie von anderen Sachverständigen für die Ausbaggerung als notwendig bezeichnet worden ist, wobei weitere 2 Millionen cbm durch die verstärkte Strömung fortgespült werden sollten, wird sich nicht in einem Sommer durchführen lassen. Nach Ansicht von großen und in diesem Gebiet erfahrenen deutschen Baggerfirmen wird man mit einem Profilsauger, mit dem zunächst einmal eine für Hopperbagger ausreichende Wassertiefe auf der Barre des Spanier Gats zu schaffen ist, eine Leistung von etwa 600 000 cbm während der Bauzeit eines Jahres erreichen können, und für Hopperbagger wird nach Beseitigung der Barre mit einer möglichen Jahresleistung von rund 400 000 cbm gerechnet. Es wird daher nicht zu vermeiden sein, daß die Baggerarbeiten im Spanier Gat vor Vollendung mehrfach unterbrochen werden müssen und daß dann jeweils während des folgenden Winters der größte Teil des Baggererfolges, wenn nicht ganz, durch den von Flutstrom und Brandung von Westen herangetragenen Sand wieder zunichte wird.

Es wird daher nicht gelingen, das Spanier Gat überhaupt in dem Maße zu öffnen, wie es für eine Ablenkung der Strömung aus dem Seegat erforderlich ist, oder auch das Spanier Gat nach einer Durchbaggerung gegen die von Westen herangeführten Sandmassen offenzuhalten, wenn nicht gleichzeitig durch andere Maßnahmen eine Änderung der Strömungsrichtung erzwungen wird.

Von einer Ausbaggerung des Spanier Gats allein ist daher keine Hilfe für Norderney zu erwarten.

#### b) Der Damm K 4

Nach den Ergebnissen von Modellversuchen ist früher von der zuständigen Bauverwaltung der Damm „K 4“, d. h. die Abriegelung des Seegats, vom Westrand Norderneys zwischen den Bühnen B und C ausgehend, mit Anschluß an die Robbenplate bei gleichzeitiger Schaffung eines neuen nach Nordwesten gerichteten Ausganges, als geeignete Maßnahme zum Schutze der Insel Norderney und zur Wiedergewinnung des Strandes angesehen werden.

Nach den neuen Untersuchungen der Forschungsstelle ist dieser Plan von der Verwaltung aufgegeben worden, weil von ihm nur eine unzureichende Wirkung erwartet wird, d. h. nur eine unwesentliche Verschiebung der Anlandungsstelle der Riffe am Nordstrand nach Westen und eine beschränkte Abdrängung des Seegats von der Westseite der Insel.

Eine Abriegelung des Seegats zwischen dem Weststrand Norderneys und der Robbenplate durch einen Damm, womöglich noch durch ein anschließendes Leitwerk auf dieser Plate, hat zur Voraussetzung, daß es möglich ist, auf der Robbenplate einen festen Ansatzpunkt für die Bauwerke zu erhalten. Bei der schweren Brandung, die auf dieser Plate steht, bei der starken Strömung, die bei erster Flut über sie hinwegsetzt (nach Angabe der Forschungsstelle bis zu 4 m/sec!), und bei dem leicht beweglichen Untergrund ist es ausgeschlossen, hier mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln ein Strombauwerk irgendwelcher Art herzustellen. Die Erfahrungen haben gezeigt, daß hier geworfene Sinkstücke in kurzer Zeit zerstört werden.

Nach den vorgelegten Bohrergebnissen besteht die Robbenplate bis rund 10 m unter T<sub>nw</sub> aus verfrachtetem, feinem Sand, darunter bis — 12,5 m aus Schlick. Der Geschiebemergel steht erst in 14 m Tiefe an. Die leichte Beweglichkeit des Sandes ist noch durch ein besonderes Ereignis deutlich geworden, als im Winter 1949/50 ein im Schluchter gesunkener Seeschlepper bei Stürmen zweimal quer durch die Plate getrieben wurde. Deutlicher kann nicht vor Augen

geführt werden, daß jeder Versuch, auf der Robbenplate mit einem Strombauwerk festen Fuß fassen zu wollen, von vornherein zum Scheitern verurteilt ist.

Man kann daher mit einem vom Westende Norderneys ausgehenden Damm keine Abriegelung des Seegats erreichen. Ein solcher Damm kann nur die Wirkung einer weit vorgestreckten Bühne haben und würde das Seegat an seinem Kopf vor sich herschieben.

Die im Zusammenhang mit diesem Damm vorgesehene Ausbaggerung einer 2,5 km langen und 12 m tiefen künstlichen Rinne, die in Südost-Nordwestrichtung von der tiefen Seegatrinne ausgehen und am westlichen Ende des Schluchters mit 4 m Wassertiefe auslaufen soll, findet keine natürliche Rinne vor, verläuft vielmehr quer durch die Robbenplate. Sie ist noch schwieriger auszuführen als die Ausbaggerung des Spanier Gats und wird noch größere Baggermengen erfordern. Eine solche künstliche Rinne würde zu keiner weiteren Verlegung des Seegats führen, als sie schon durch den Vorbau des Dammes K 4 als Bühne erzwungen würde.

Durch ein solches Abdrängen des Seegats vom Westen Norderneys wird beiderseits des Dammes auf beschränkter Strecke zweifellos eine Verminderung des Stromangriffes auf die Insel erreicht. Eine nennenswerte Einwirkung auf eine Sandzuführung zum Strande kann daraus aber nicht erwartet werden, weil eine wesentliche Verschiebung der Anlandestelle des Riffgürtels nach Westen durch eine solche Verlagerung des Seegats nicht hervorgerufen werden kann.

Auch bei einer zusätzlichen Ausbaggerung des Spanier Gats ist vom Damm K 4 keine solche ablenkende Wirkung auf die Strömung zu erwarten, daß dadurch eine grundlegende Veränderung in den Stromrinnen zwischen Juist und Norderney erreicht werden wird. Dazu liegt der Damm allein schon zu weit nördlich von dem Treffpunkt des Busetiefs und des Riffgats. Überdies lassen seine Richtung und Länge keine ausreichende Ablenkung der Strömung erwarten, weil er nur als Bühne wirken kann.

Vom Vorstrecken eines Dammes von der Westspitze Norderneys nach Westen, d. h. vom Damm K 4, ist daher auch im Zusammenhang mit einer Ausbaggerung des Spanier Gats oder einer anderen neuen Rinne keine durchgreifende Besserung für Norderney zu erwarten, mit Ausnahme eines besseren Schutzes des Westendes der Insel beiderseits des Dammes.

#### c) Der Damm Festland—Juist (Damm „e“)

Die Forschungsstelle kommt in ihrem Bericht zu dem Vorschlag, östlich der Wasserscheide des Juister Watts einen Damm vom Festland aus der Gegend von Norddeich zum Ostende der Insel Juist (Damm „e“ der Anlage 51 des Berichtes der Forschungsstelle) zu bauen, um dadurch vor allem die Triftströmung bei westlichen Winden hinter der Insel Juist abzuschneiden und dadurch die Wasserführung des Norderneyer Seegats zu vermindern. Ferner soll auf diese Weise das westliche Watteneinzugsgebiet im Verhältnis zum östlichen verkleinert werden. Die Forschungsstelle ist sich dabei darüber klar, daß durch einen solchen Damm nicht nur die Wattschiffahrt hinter Juist unterbrochen werden würde, sondern daß ebenfalls eine von der Tide unabhängige Schiffsverbindung von Norddeich nach Norderney infolge einer Verflachung des Fahrwassers nicht mehr aufrechterhalten werden könnte. Als Folgemaßnahme wird ein weiterer Damm vom Festland zum Ostende von Norderney (Damm „f“) sowie eine Durchbauung des Riffgats vom Südstrand Norderneys aus (Damm „v“) zwecks Ablenkung des Stromes vom Westende der Insel vorgeschlagen. Mit weiteren Ergänzungsmaßnahmen berechnet die Forschungsstelle den Kostenbetrag im ganzen auf 93 Millionen DM.

Ganz abgesehen davon, daß die Durchführung eines solchen Planes außerhalb des wirtschaftlich Möglichen liegen würde, kann der Nachweis für die von ihm erhoffte Wirkung nach den vorliegenden Unterlagen nicht als erbracht angesehen werden. Die wesentlichen Grundlagen für den Plan eines Dammes Festland—Juist, nämlich die Größe der Triftwassermengen und ihr Einfluß auf die Insel Norderney, sind bisher nicht geklärt.

Der Damm Festland—Juist ist von den erörterten Maßnahmen wahrscheinlich die einzige,

durch die die Größe der bewegten Wassermengen in erheblichem Maße beeinflusst werden könnte. Eine Schwächung oder Unterbindung des Triftstromes hinter der Insel Juist würde das Norderneyer Seegat bei Westwindlagen entlasten. Ferner würde bei Herstellung eines Dammes zwischen Festland und Juist östlich der Wattwasserscheide eine günstige Wirkung auf die nach Westen gerichtete Stromkraft des Riffgats ausgeübt werden. Von einem solchen Bauwerk ist aber in gewissem Maße ein weiteres Vorwandern der Insel Juist nach Osten und eine Einengung der Lücke zwischen Juist und Norderney von Westen her zu erwarten. Der nördlich von Juist auf die Staffellücke wirkende „Sanddruck“ wird wahrscheinlich auch nach Verringerung der aus dem Norderneyer Seegat austretenden Wassermenge die tiefe Stromrinne gegen das Westende Norderneys drücken. Dadurch würde ein großer Teil der mit dem Damm beabsichtigten und wahrscheinlich zunächst auch erreichbaren Entlastung des Seegats wieder in Frage gestellt werden. Es ist daher auch nicht sicher, daß der Stromangriff auf die Westseite der Insel auf die Dauer nennenswert geschwächt und eine selbsttätige Wiederherstellung des Strandes erreicht werden kann. Von der Verringerung der Wasserführung des Seegats wird man vielleicht erwarten können, daß dann der Riffgürtel nicht mehr so weit wie jetzt nach Norden gestoßen wird. Die dadurch mögliche Südwärtsverlagerung der Riffe wird aber kaum ein solches Ausmaß haben, daß die Anlandestelle wesentlich nach Westen verschoben wird.

Mit einem solchen Damm wird eine vollkommene Umgestaltung der natürlichen Verhältnisse hervorgerufen werden, die als Gewaltmaßnahme sehr große Gefahren in sich birgt und deren Folgen von vornherein, auch bei noch so gründlicher Vorarbeit, mit Sicherheit nicht vorauszusagen sind. Außerdem wird der Bau eines etwa 10 km langen Dammes mit der vorgeschlagenen Lage ostwärts der natürlichen Wasserscheide große Schwierigkeiten bereiten, sein Bau wird lange Zeit erfordern, und seine Auswirkungen auf die Westseite von Norderney werden sich erst geraume Zeit nach seiner Fertigstellung, wenn überhaupt, bemerkbar machen. Selbst wenn die Triftwassermengen hinter Juist und ihre Wirkung auf Norderney wesentlich größer sein sollten, als die Arbeitsgruppe sie annimmt, ist das Wagnis eines Dammbaus, der allein 36 Millionen DM kostet, mit den teuren Folgemaßnahmen nicht zu vertreten.

Der schwer übersehbare Windstau westlich des Dammes und seine Folgen für den Südrand der Insel Juist und die Festlandsdeiche, die Unterbrechung der Wattschiffahrt hinter der Insel Juist, die Erschwerung des Schiffsverkehrs zwischen Norddeich und Norderney sowie die hohen Kosten verbieten allein schon eine weitere Verfolgung dieses Planes. Es kommt vielmehr nur in Frage, etwa im Zusammenhang mit Landgewinnungsmaßnahmen und dadurch einer allgemeinen Wiedererhöhung des Juister Watts allmählich die Wasservertriftung hinter der Insel Juist zu vermindern. Auf die Wirkung solcher Maßnahmen, die sich nur in langen Zeiträumen durchführen lassen, kann aber beim Schutze Norderneys nicht gewartet werden.

In dem Vorschlag, durch den Bau eines Dammes vom Festland zur Insel Juist die Strömung im Norderneyer Seegat zu beeinflussen, kann also auch keine Lösung für den Schutz von Norderney gesehen werden.

Ein Vorschlag, in einem solchen Damm weite Öffnungen für die Schifffahrt zu lassen, würde den angestrebten Zweck nur ungenügend erreichen, da sich infolge des Aufstauens des Wassers auf der Westseite des Dammes bei starken westlichen Winden und Stürmen eine heftige Durchströmung der Lücken einstellen würde, die zum Ausreißen tiefer Kolke führen würde. Von anderer Seite noch vorgeschlagene weitere Dammbauten gehen ins Uferlose und stellen Lösungen dar, deren Folgen nicht übersehbar sind. Diese Vorschläge können daher nicht ernstlich in Erwägung gezogen werden.

#### d) Verlegung des Badestrandes und Verstärkung des Uferschutzwerkes

Nach dem Bericht der Forschungsstelle wird der Inselsockel unter einer Tiefe von 2,5 m unter Seekartennull (SKN = mittleres Springtideniedrigwasser) nicht mehr abgebaut, nachdem vor etwa fünfzig Jahren von den Köpfen der bestehenden Bühnen aus Unterwasserbühnen am Weststrand von Norderney vorgestreckt worden sind. Daraus wird gefolgert, daß auch

vor der Strandmauer der Sand höchstens bis zu dieser Tiefe fortgespült werden wird und daß es möglich ist, durch entsprechende Maßnahmen das Uferschutzwerk auch bei solcher Wassertiefe ausreichend zu sichern und eine Zerstörung desselben und damit eine Gefährdung der Insel Norderney zu vermeiden. Durch eine Verlegung des Bades auf die Nordseite der Insel und die Herstellung einer guten Verkehrsverbindung zum Orte Norderney würde sich der Badebetrieb aufrecht erhalten lassen.

Die Stadtverwaltung Norderney betont besonders, daß ein über Tidehochwasser hinreichender Sandstrand die Uferschutzwerke am besten sichert. Verständlicherweise wünscht sie auch für den Badebetrieb die Wiederherstellung eines guten Strandes in unmittelbarer Nähe des Ortes.

Der Nachweis dafür, in welcher Weise und mit welchen Kosten die Sicherung der Uferschutzwerke durchgeführt werden soll, wenn unmittelbar davor eine Wassertiefe von 2,5 m unter SKN steht — das sind 7 m und mehr bei Sturmfluten —, ist in dem Bericht der Forschungsstelle nicht gebracht. Die Wirkung eines Seeganges, der in 7 m Wassertiefe fast ungeschwächt auf das vorhandene Uferschutzwerk aufläuft, darf nicht unterschätzt werden. Wahrscheinlich wird sich unter der Wirkung der dabei entstehenden Brandung infolge rücklaufenden Stromes am Boden unmittelbar am Bauwerk eine größere Vertiefung als — 2,5 m SKN einstellen. Es müssen daher schwere Bedenken dagegen geäußert werden, das Uferschutzwerk auf die Dauer dem unmittelbaren Anprall der See bei 7 m und mehr Wassertiefe auszusetzen.

Weder die im Gange befindliche Sicherung durch das Einrammen einer 5 m langen Stahlspundwand noch eine Sinkstückvorlage mit schwerer Bedeckung bieten trotz hoher Kosten die Gewähr für eine dauernde Standsicherheit der Uferschutzwerke. Ein über Tidehochwasser hinreichender Sandstrand bildet die beste Sicherung der Uferschutzwerke. Es ist daher in erster Linie anzustreben, einen solchen Strand wieder herzustellen und zu erhalten, womit gleichzeitig die Wünsche der Stadtverwaltung Norderney nach einem Badestrand in unmittelbarer Nähe des Ortes erfüllt werden würden.

#### e) Der Zwischendamm Norderney—Steinplate (Damm „V“)

Die Forschungsstelle hat in ihrem Bericht die Herstellung eines Dammes vom Südweststrand Norderneys zur Steinplate (den Damm „V“ der Abb. 1 des Berichtes) nur im Zusammenhang mit dem Damm Festland—Juist (Damm „s“) empfohlen, spricht ihm aber allein jede Wirkung auf den Weststrand der Insel ab und befürchtet eine starke Beeinträchtigung der Schifffahrt nach Norderney.

Der ablehnenden Beurteilung dieses Planes und ihrer Begründung wird zugestimmt. Es wird vielleicht erreicht werden können, daß nach Vereinigung von Busestief und Riffgat südlich der Steinplate die Strömung zunächst nach Westen gegen das Ostende der Insel Juist gedrängt wird, wie es ähnlich bei der Ackumer Ehe durch den südlichen Haken der Insel Langeoog gegen Baltrum geschieht. Der Vereinigungspunkt beider Rinnen liegt aber zu weit südlich, um die vereinigten Wassermassen bei Ebbe am Austritt ins Meer noch in westliche Richtung ablenken zu können. Der nördlich von Juist von Westen kommende Sanddruck wird aller Wahrscheinlichkeit nach die Strömung wieder in das vorhandene Seegat drücken. Für den Riffgürtel und damit für die Sandzuführung zum Nordweststrand wird sich kaum etwas ändern.

Es erübrigt sich, auf andere, noch zur Erörterung gestellte Vorschläge näher einzugehen, da sie wohl von keiner Seite mehr ernstlich verfolgt werden.

Als Schlußergebnis der Beurteilung der bislang verfolgten Vorschläge ergibt sich, daß keiner davon eine erfolgversprechende und gleichzeitig wirtschaftlich tragbare Lösung darstellt, und daß es daher notwendig ist, nach weiteren Abhilfemaßnahmen zu suchen.

### III. Grundlagen für vorzuschlagende Maßnahmen

#### 1. Vorbemerkungen

Die aus feinem Sand bestehenden ostfriesischen Inseln befinden sich ständig in einem äußerst labilen Zustand. Sie haben sich seit Jahrhunderten verändert und werden sich in weiteren Jahrhunderten verändern, wenn es nicht gelingen sollte, durch technische Maßnahmen einen stabilen Zustand im gesamten Gebiet der südlichen Nordseeküste zu schaffen.

Die Veränderungen der Inseln werden unter anderem hervorgerufen durch Änderungen in den angrenzenden großen Tideflüssen (Ems, Jade, Weser), durch Änderungen der Gezeiten und Gezeitenströme, durch Wasserstandshebung und Küstensenkung, durch Sturmfluten, durch Veränderungen der Festlandsküste und des Wattengebietes.

Die ostfriesischen Sandinseln werden erhalten durch die Gezeitenströme, durch Wellengang und Brandung, die dauernd Sand heranzuführen und damit den Abbruch an der Inselküste ersetzen.

Seit etwa hundert Jahren hat der Mensch in die natürliche Entwicklung der ostfriesischen Inseln eingegriffen und hat insbesondere versucht, die in ständigem Abbruch befindlichen Westenden der Inseln durch Bühnen und Strandmauern festzulegen. Wenn dieser Versuch bisher im allgemeinen geglückt sein mag, so ist doch die weitere Entwicklung noch nicht abzusehen. Die außerordentlich starke Abnahme des West- und Nordweststrandes auf Norderney und auch des Inselsockels wirft die Frage auf, ob es gelingen wird, die Westenden der Inseln auf die Dauer zu halten. Es sei darauf hingewiesen, daß die Änderung des Klimas in den letzten hundert Jahren und die damit verbundenen meteorologischen Änderungen eine Drehung der vorherrschenden Winde, eine Erhöhung der westlichen Winde nach Anzahl und Stärke, eine Erhöhung des Wasserstandes — vielleicht im Zusammenhang mit einer Küstensenkung — und damit eine Erhöhung der durch die Seegaten ein- und ausfließenden Wassermengen bewirkt haben: Einflüsse, die alle auf einen verstärkten Angriff auf die Westenden der Inseln hinwirken. Auch eine etwaige weitere Vertiefung des Wattes hinter Juist würde eine Verstärkung des Triftstromes hinter der Insel verursachen.

Alle technischen Maßnahmen, die zur Erhaltung der Inseln getroffen werden sollen, müssen diese großräumigen Veränderungen nach Möglichkeit berücksichtigen.

Als vor hundert Jahren das Westende von Norderney durch Bühnen und Strandmauern geschützt wurde, glaubte man, gegen alle Gefahr gesichert zu sein. Im Vertrauen darauf wurde das Staatsbad Norderney auf dem Westteil der Insel angelegt und im Laufe der Jahrzehnte weiter ausgebaut. Dieses Beispiel wirkte sich dahin aus, daß ein großer Badeort mit allen modernen Einrichtungen, wie Wasserversorgung, Kanalisation, Strom- und Gasversorgung, gepflasterten Straßen usw., entstand, der heute einen erheblichen Wert darstellt.

Diese Entwicklung, allein hervorgerufen durch den menschlichen Eingriff vor hundert Jahren, zwingt heute in Anbetracht der Abnahme des Strandes und der Gefahr für den Inselsockel dazu, nach technischen Maßnahmen zu suchen, um mit vertretbaren Mitteln auf möglichst lange Sicht die Insel zu sichern und einen Strand in einem solchen Umfange wiederzugewinnen, daß die Existenzgrundlage des Badeortes Norderney erhalten bleibt.

Diese technischen Maßnahmen müssen außerdem folgende Bedingungen erfüllen:

- a) Die Sicherheit der Festlandsküste darf nicht vermindert werden.
- b) Die Entwässerung der Marschen darf nicht beeinträchtigt werden, damit die ostfriesische Landwirtschaft in ihrer Leistungsfähigkeit erhalten bleibt.
- c) Die Schifffahrt von der Ems über das Wattenmeer zur Jade und Weser, von Norddeich nach Norderney, Baltrum und Langeoog, von Norderney in See — und umgekehrt — muß als ein wesentlicher Teil der Wirtschaft und des Verkehrs erhalten bleiben.

#### 2. Auf das Westende Norderneys wirkende Kräfte

a) Lage und Richtung der Stromrinnen innerhalb des Wattgebietes werden in erster Linie bestimmt durch das Verhältnis der westlichen zu den östlichen Einzugsräumen.

Außerhalb des Wattgebietes, d. h. am Ostende von Juist und nördlich davon, wird der

von Westen kommende „Sanddruck“ wirksam. Dieser ist so stark, daß die Ebbeströmung aus dem Watt die Sandriffe nicht, dem Gefälle entsprechend, nach Nordwesten zu durchbrechen vermag.

b) Da die tiefe Stromrinne hart am Westende von Norderney liegt, berühren die starken Ebbeströmungen unmittelbar den steilen Inselsockel und tragen den durch Brandung und Wellengang vom Strande losgelösten Sand nach Norden hinaus.

c) Die Lage des Riffgürtels und sein Anlandungspunkt werden von der Größe und Richtung der durch das Gat ausströmenden Wassermengen bestimmt.

d) Es ist wahrscheinlich, daß bei stärkeren westlichen Winden ein Triftstrom über das Watt hinter Juist nach Osten setzt. Da dieser über das schmale „Hohe vom Watt“ im Osten von Norderney keinen oder nur geringen Abfluß findet, so muß er größtenteils durch das Norderneyer Seegat abfließen. Dadurch wird bei stärkeren westlichen Winden die Flutströmung im Seegat gebremst, die Ebbeströmung verstärkt. Der Watt-Triftstrom trifft, sobald er am Westende von Norderney vorbeigelaufen ist, auf den auf See laufenden, ebenfalls durch die starken westlichen Winde verursachten „Seetriftstrom“. Dieser nimmt am Nordweststrand den durch Brandung und Wellengang aufgeführten Sand mit weg. Es ist wahrscheinlich, daß durch diesen Triftstrom auch die Rinne zwischen dem östlichsten Sandriff des Riffgürtels und der Nordwestecke der Insel immer wieder vertieft und aufgerissen wird. Dadurch wird sich wiederum das Heranwandern dieses Riffes an die Insel verzögern.

#### IV. Empfehlungen

##### 1. Instandhaltung und Sicherung der bestehenden Strandschutzwerke

Unabhängig davon, welche baulichen Maßnahmen zur Wiedergewinnung ausreichender Strandverhältnisse in Betracht kommen, ist es notwendig, alle bestehenden Strandschutzwerke zu erhalten und, soweit erforderlich, instanzzusetzen.

Unbedingt notwendig ist die sofortige Fortführung der Sicherungsarbeiten, insbesondere der Bau einer Bühnenreihe vor dem neuen Basaltdeckwerk und der „Marinemauer“.

##### 2. Wiederherstellung des Strandes

Durch keine der unter II aufgeführten Maßnahmen läßt sich ein hochwasserfreier Strand im Westen Norderneys in kurzer Zeit mit Sicherheit wiederherstellen. In kurzer Zeit kann der Strand nur künstlich wiedergewonnen werden. Wenn auf Seite 149 des Berichtes der Forschungsstelle festgestellt wird, daß der im Jahre 1949 durch Aufspülung von Sand künstlich hergestellte Strand bereits unmittelbar nach der Saison wieder verschwunden war, so handelt es sich hier um die Aufspülung von nur rund 55 000 cbm in den letzten Bühnenfeldern des Nordweststrandes. Dieser Sand ist teilweise am Strande entlang nach Osten gewandert und hat auf der anschließenden Baustelle zu starken Versandungen bis zu 2 m Höhe geführt.

Nach den Feststellungen der Forschungsstelle wird der Sand vom westlichen Vorsprung der Insel nach beiden Seiten hin, also nach Nordosten und Südosten, von einem Bühnenfeld ins andere geschlagen, und ein Bühnenfeld ist gut mit Sand versorgt, solange das westlich davon liegende Feld noch einen Sandstrand besitzt. Eine Aufspülung von Sand in den letzten am Nordweststrand liegenden Bühnenfeldern, wie sie im Jahre 1949 ausgeführt worden ist, konnte daher keinen länger andauernden Erfolg bringen. Außerdem war eine Menge von rund 55 000 cbm nicht groß genug, um den regelmäßigen Sandverlust am Strande für längere Zeit auszugleichen.

Bei den bisherigen Untersuchungen sind die am Strande von Norderney vor sich gehenden Veränderungen nicht mengenmäßig festgestellt worden.

Eine vom Wasser- und Schiffsamt Norden mit Schreiben vom 28. Juli 1950 überreichte

Feststellung der Querschnittsänderungen in dreißig Profilen, ermöglichte es, sich auch mengenmäßig ein Bild von diesen Umlagerungen zu machen. Die Feststellungen erstrecken sich auf verschiedene Zeitabschnitte zwischen 1897 und 1950. Der zeitliche Anfangspunkt ist so gewählt, daß die am Weststrand hergestellten Unterwasserbuhnen schon wirksam waren. Die Ermittlungen sind auf die Veränderungen über — 3,50 m SKN bzw. über den größten vorhandenen Tiefen, wenn diese geringer sind, beschränkt. Nach den Feststellungen der Forschungsstelle wird der unter — 2,50 m SKN liegende Inselsockel im Westen der Insel nicht mehr abgetragen, seitdem dort die Unterwasserbuhnen ausgeführt worden sind.

Die Änderungen sind für fünf verschiedene Strandabschnitte A bis E zusammengefaßt, um ein unterschiedliches Verhalten der einzelnen Strecken feststellen zu können.

Der erste Abschnitt A umfaßt die 940 m lange Strecke des eigentlichen Südweststrandes von der Ecke der Strandmauer am Anschluß an den Südstrand bis zur Bühne F. Die Auswertungen für die Querschnittsänderungen liegen hierfür erst von 1930 an vor, so daß sich die Ermittlungen auf die letzten zwanzig Jahre beschränken. Hier überwiegt im ganzen noch die Sandzuwanderung die Abnahme in allen untersuchten Perioden (1930 — 1935 — 1939 — 1947/48 — 1950), wenngleich in einzelnen Profilen zeitweilig auch ein Abbruch eingetreten ist. Den größten Wert erreicht dieser in der Jahresgruppe 1935—1939 mit 7 263 cbm/Jahr in den Profilen 1 bis 5, dem aber ein gleichzeitiger Anwachs von 10 088 cbm/Jahr an anderer Stelle (Profil 7) dieses Strandabschnittes gegenübersteht. In den beiden letzten Jahresgruppen ist der stellenweise Verlust von 1 064 bis 2 886 cbm/Jahr nur gering und wird von der Zuwanderung von 5055 bis 6055 cbm/Jahr um rund 3000 bis 4000 cbm/Jahr übertroffen.

Seit 1930 leidet dieser Teil des Südweststrandes jedenfalls nicht unter einer Strandabnahme, im ganzen hat er vielmehr seitdem über — 3,50 m SKN eine Zunahme um rund 114 000 cbm erfahren. Wenn man hier den Strand bis über MThw erhöhen würde, wird man kaum mit erheblichen Sandverlusten zu rechnen brauchen.

Der Strandabschnitt B erstreckt sich von der Bühne F bis zur Bühne II, die zwischen den Bühnen B und C an der Marienhöhe liegt, wo der Damm K 4 ansetzen soll. Der Abschnitt ist 740 m lang und umfaßt denjenigen Teil des Weststrandes, an den sich das Seegat besonders hart anlegt. Die Auswertungen gehen hierfür bis 1897 zurück und zeigen, daß in den ersten Jahren nach Herstellung der Unterwasserbuhnen (von 1897 bis 1900) allgemein eine kräftige Zunahme des Sandes mit durchschnittlich 20 800 cbm/Jahr oder im ganzen rund 63 000 cbm stattgefunden hat. Dieser möglicherweise auf bauliche Maßnahmen zurückzuführende Sandzuwachs ist aber nicht von Dauer gewesen, und in den beiden folgenden Jahresgruppen (1900 bis 1930) überwiegt der Verlust derart, daß in diesen dreißig Jahren rund 44 000 cbm mehr verloren gehen, als von 1897 bis 1900 angewachsen sind. Von 1930 bis 1935 überwiegt dann der Zuwachs mit 5 252 cbm im Jahr oder zusammen rund 26 000 cbm. Seitdem ist aber die Fortspülung von Sand mit durchschnittlich 2 680 bis 4 870 cbm/Jahr wieder größer. Im ganzen beträgt hier der Sandverlust über — 3,50 m SKN seit 1900 rund 112 000 cbm und seit 1930 rund 6 000 cbm. Nach den größten hier auftretenden Jahresmitteln wird man in diesem Strandabschnitt nach seiner Aufhöhung mit einem durchschnittlichen Sandverlust bis zu etwa 5 000 cbm im Jahr rechnen müssen.

Der Strandabschnitt C liegt nördlich von der Westecke der Insel (Marienhöhe) und erstreckt sich in 600 m Länge bis zur Bühne D 1. Seit 1900 sind hier rund 313 000 cbm Sand verlorengegangen, davon aber nur rund 17 000 cbm in der Zeit nach 1930. Anfangs zeigt sich ein ganz ähnliches Verhalten wie beim Abschnitt B, da von 1897 bis 1900 eine Zunahme von 19 000 cbm/Jahr oder insgesamt rund 57 000 cbm zu verzeichnen ist. Der anschließend bis 1930 eintretende Verlust ist mit zusammen rund 296 000 cbm um 239 000 cbm größer als der voraufgegangene Gewinn. In den folgenden Zeitabschnitten bleibt zwar der Sandverlust noch vorherrschend, hat sich aber stark vermindert und erreicht von 1939 bis 1948 durchschnittlich nur noch rund 3 100 cbm im Jahr. Mit einem Ersatz in dieser Größe würde sich der zur Zeit bestehende Zustand erhalten lassen, dagegen wird man bei Wiederherstellung der früheren Strandverhältnisse auch wieder mit einem größeren Verlust rechnen müssen, also mit rund 15 000 cbm im Jahr, d. h. dem größten seit fünfzig Jahren eingetretenen Verlust.

Für den vierten Strandabschnitt D, der in 715 m Länge von der Buhne D 1 bis zur Buhne H am Nordweststrand reicht, liegen Auswertungen erst von 1930 an vor. Hier herrscht fast ausschließlich Abbruch, der in der Jahresgruppe 1935/1939 sein Maximum mit 16 300 cbm/Jahr erreicht und sich seitdem auf 7 770 cbm/Jahr in den beiden letzten Jahren vermindert. Von 1930 bis 1950 sind hier im ganzen rund 245 000 cbm Sand fortgespült worden. Hier ist der Stranderhaltung ein dem Größtwert entsprechender Sandverlust von rund 16 000 cbm im Jahr zugrunde zu legen.

Es folgt dann die letzte Strandstrecke E, die mit 2 150 m Länge zum größten Teil in dem noch nicht durch Bühnen geschützten Teil der Strandbefestigung liegt. Der Unterschied gegen die voraufgehenden Strecken ist ganz augenfällig und sicherlich nicht zufällig, sondern darin begründet, daß es sich hier um einen durch Querwerke noch nicht geschützten Strand handelt, der nach Herstellung eines Längswerkes dem Fortspülen von Sand in verstärktem Maße ausgesetzt ist.

Vollständige, sich bis auf Thw erstreckende Profile liegen von hier erst von 1915 an vor und auch aus dieser Zeit nur für die beiden ersten Profile (39 und 40). Unter Tnw sind schon früher Aufnahmen gemacht, die zum Teil zur Ergänzung der Berechnung herangezogen sind, obgleich sich durch das Fehlen des über SKN liegenden Teiles eine Ungenauigkeit ergibt.

Von 1915 bis 1920 liegt dieser Teil allgemein im Anwachs mit einer Zunahme von 84 180 cbm/Jahr. Auch im folgenden Jahrfünft überwiegt dieser noch mit 56 856 cbm/Jahr. Darauf folgt von 1925 bis 1930 ein reißender Abbruch mit 151 314 cbm/Jahr oder zusammen 756 570 cbm, dessen Übergewicht bis in die letzte Zeit mit 15 253 bis 68 211 cbm/Jahr angehalten hat, wenn sich in einigen Profilen auch zeitweise eine Sandzuwanderung bemerkbar macht. Seit 1930 sind im ganzen rund 923 000 cbm Sand verlorengegangen und mit den voraufgehenden fünf Jahren zusammen sogar rund 1 680 000 cbm. Die Größenordnung der Veränderungen ist gegenüber den vorigen Abschnitten außergewöhnlich groß, auch wenn man die größere Streckenlänge (2 150 m gegen 600—940 m) beachtet.

Es ist anzunehmen, daß der Sandverlust hier auf ähnliche Maße wie auf den voraufgehenden Strecken abnehmen wird, wenn erst die Bühnen in dem notwendigen Umfang ausgeführt sind. Dann wird man hier mit einem Sandverlust von etwa  $\frac{2\ 150}{600} \cdot 15\ 000 = 54\ 000$  cbm/Jahr oder  $\frac{2\ 150}{715} \cdot 16\ 300 = 49\ 000$  cbm/Jahr rechnen müssen.

Auf der ganzen Strandstrecke sind seit 1930 rund 1 190 000 cbm Sand über — 3,50 m SKN verschwunden, und nur im ersten Abschnitt sind rund 114 000 cbm hinzugekommen.

Im ganzen wird man nach diesen Feststellungen bei Wiederherstellung eines hochwasserfreien Strandes mit einem Sandverlust von  $0 + 5\ 000 + 15\ 000 + 16\ 000 + 54\ 000 = 90\ 000$  cbm im Jahre rechnen müssen, wovon rund 36 000 cbm/Jahr auf die ersten vier Strandstrecken vom Südstrand bis zur rund 3 km entfernten Buhne H entfallen.

Es liegen keine Anzeichen dafür vor, daß der Sandverlust sich wesentlich über dieses Maß steigern könnte. Wenn es gelingt, diesen Sandverlust in gewissen Zeiträumen von fünf bis zehn Jahren durch Aufspülen von mindestens gleichwertigem Sand auszugleichen, so würde damit nicht nur der Schutz Norderneys erreicht, sondern gleichzeitig auch wieder ein Badestrand für das Seebad in der Nähe des Ortes geschaffen werden. Am leichtesten wird sich dieser am Südweststrand erhalten lassen.

Nebenbei sei darauf hingewiesen, daß mit einem hochwasserfreien Strand auch wieder Sandwehen auftreten werden, die auf der Uferpromenade Sandanhäufungen verursachen werden.

Bei Wiederherstellung des Strandes ist anzustreben, einen ähnlichen Zustand zu schaffen, wie er um die Jahrhundertwende vorhanden war. Nach den von der Forschungsstelle vorgelegten Querprofilen waren damals die Strandverhältnisse auf der Westseite Norderneys besonders günstig. Der hochwasserfreie Strand hatte vor dem Uferschutzwerk eine Breite von 27 bis 58 m, durchschnittlich etwa 40 m, und erreichte an der Ufermauer im Mittel eine Höhe von 1,5 m über MThw. Die Böschungneigung lag dabei über MThw zwischen 1 : 22 bis 1 : 35, verflachte sich im Bereich des gewöhnlichen Tidehubs auf 1 : 30 bis 1 : 50 und wurde unter

Tnw wieder steiler, mit Neigungen bis zu 1 : 7, im Mittel etwa 1 : 20.

Für eine Aufspülung von Sand kann man danach über Tnw mit einer Böschung von 1 : 30 und darunter mit 1 : 20 rechnen.

Bei einer Höhe der Aufspülung von + 0,9 m MThw in 25 m Breite ergibt sich ein 52 m breiter, hochwasserfreier Strand, das sind 12 m mehr als im Jahre 1900 durchschnittlich vor der Ufermauer vorhanden waren.

Um einen Strand in diesen Abmessungen wiederzugewinnen, sind folgende Bodenmengen notwendig:

im Abschnitt A bis 940 m vom Südstrand	109 680 cbm
im Abschnitt B von 940 bis 1680 m vom Südstrand	133 130 cbm
im Abschnitt C von 1680 bis 2280 m vom Südstrand	209 900 cbm
im Abschnitt D von 2280 bis 2995 m vom Südstrand	267 450 cbm
im Abschnitt E von 2995 bis 5145 m vom Südstrand	519 100 cbm
	zusammen 1 239 260 cbm

Das sind rund  $1\frac{1}{4}$  Millionen cbm.

Bevor am Nordweststrand in voller Länge Sand aufgespült wird, müssen die Bühnen auf der ganzen Strecke des bestehenden Längswerkes in voller Länge und Höhe ausgebaut sein, weil hier sonst mit einem zu großen Sandverlust zu rechnen ist. Mit einem Zuschlag von 25 v. H. für Auflockerung bei Schutenmaß und für Verluste während der Ausführung der Arbeiten ergibt sich eine zu baggernde Sandmenge von 1,55 Millionen cbm in Schuten gemessen. Bei einem Preis von 1,50 bis 2,00 DM je cbm, je nach der Spülweite, der für eine solche Arbeit voraussichtlich erreichbar sein wird, sind die Kosten für eine Gesamtaufspülung des Süd-, West- und Nordweststrandes zu etwa 2,8 Millionen DM anzusetzen.

Da im ersten Jahr nur 1 Million cbm Sand aufgespült werden können (bis Bühne L bei Cornelius), wird der Rest im folgenden Baujahr aufgespült werden müssen.

Nach den Erfahrungen, die bei der Aufspülung des Flugplatzes von Norderney gemacht worden sind, läßt sich auf der Südseite des Riffgats im Schutze der Insel guter Sand gewinnen und vom Südstrande westlich der Hafeneinfahrt aus am Strande entlang aufspülen. Die Aufspülung von rund 1 Million cbm Boden läßt sich von dort aus in einem Baujahr durchführen. Die erstmalige Wiederherstellung des Strandes durch Aufspülen von Sand und dessen spätere Unterhaltung durch Nachspülen von Sand in Zeitabständen von mehreren Jahren, je nachdem die auch weiterhin zu erwartende Abspülung von Sand dies als notwendig erscheinen lassen wird, sind kein schwieriges technisches Problem und dürften kaum die wirtschaftlich vertretbaren Aufwendungen übersteigen. Wie jede andere bauliche Maßnahme erfordert auch eine künstliche Wiederherstellung des Strandes eine spätere Unterhaltung, und als solche sind die künftig erforderlichen Nachspülungen von Sand anzusehen, und beim Vergleich mit anderen baulichen Maßnahmen wird man sie als solche werten müssen.

Durch keine andere Maßnahme wird man mit gleicher Sicherheit, mit so geringen Kosten und in so kurzer Zeit eine ebenso wirksame Sicherung für die Strandschutzwerke der Insel Norderney mit gleichzeitiger Schaffung eines Strandes erreichen können. An dem Verhalten der ersten Aufspülung in dem angegebenen Ausmaß während der folgenden Jahre wird sich beurteilen lassen, ob etwa noch weitere Maßnahmen erforderlich sind. Alle diese Maßnahmen machen aber eine erstmalige Wiederherstellung des Strandes durch Aufspülen von Sand nicht überflüssig; denn keine dieser Maßnahmen wird so rasch eine solche Sandzuführung zum Weststrande Norderneys hervorrufen können, daß man für die Zwischenzeit auf eine Sicherung der Strandschutzwerke würde verzichten können, wie sie sich durch Aufspülen von Sand erreichen läßt.

Es wird daher empfohlen, als Sofortmaßnahme den Strand durch Aufspülen von Sand wiederherzustellen und das Verhalten dieser Aufspülung abzuwarten, bevor Maßnahmen zu einer grundlegenden Veränderung der Strandverhältnisse getroffen werden.

### 3. Verlängerung des Strandschutzes nach Osten

Der Abbruch des Nordweststrandes reicht bis zur Anlandestelle des Riffgürtels. Mit einer Verlängerung des Strandschutzwerkes um 1 000 m, wie sie in Aussicht genommen ist, wird dieser Punkt noch nicht erreicht. Auch nach einer solchen Verlängerung sind ostwärts des neuen Werkes weiterhin Strand- und Dünenabbrüche zu erwarten. Die Kosten für eine Verlängerung des Strandschutzwerkes bis zur Riffanlandungsstelle werden einschließlich der notwendigen Bühnen etwa 10 Millionen DM betragen.

Wegen der hohen Kosten ist eine Verlängerung des Deckwerkes in der vorgesehenen Bauweise nur dann gerechtfertigt, wenn bei weiterem Abbruch der Dünenkette eine unmittelbare Durchbruchgefahr für die Insel oder eine Gefahr des Wassereintruchs in den Ort bei Sturmfluten besteht.

Die im Bericht der Forschungsstelle enthaltenen Unterlagen reichen nicht aus, um sich ein Urteil über die Größe dieser Gefahr zu bilden. Nach den Feststellungen der Arbeitsgruppe bei der Ortsbesichtigung liegt die tiefste Einbruchsstelle unmittelbar östlich vom bestehenden Uferschutzwerk.

Es wird empfohlen, zu prüfen, ob und in welcher Länge zur Sicherung gegen einen gefahrbringenden weiteren Einbruch die Anlage von geeigneten Schutzwerken schon jetzt erforderlich ist.

Nach allen Erfahrungen sind die Uferabschnitte in Lee des Angriffs, d. h. in diesem Falle östlich des bestehenden Uferschutzwerkes, besonders stark gefährdet. Einwandfreie technische Lösungen für den Schutz solcher Strecken sind bisher noch nicht gefunden worden. Es ist daher notwendig, hierüber weitere Untersuchungen anzustellen.

### 4. Grundlegende Veränderung der Strandverhältnisse

Die unter 1., 2. und 3. dieses Abschnittes angeführten Maßnahmen bringen keine grundlegende Veränderung der Angriffskräfte auf den Strand. Sie vermögen wohl den Sandverlust zu ersetzen oder die Abspülung des Sandes vom Strand zu vermindern, können aber den Abbruch nicht völlig verhüten, und insbesondere rufen sie keine vermehrte, natürliche Sandzuwanderung zum Strande hervor, sie können vielmehr nur anderweitig zugeführten Sand fangen und bis zu einem gewissen Grade festhalten.

Es ist nicht zu verkennen, daß der Ersatz des fortgespülten Sandes am östlichen Teil des Nordweststrandes unter Umständen erhebliche Kosten verursachen kann, wenn der Abbruch nach Osten fortschreitet. Es liegt daher im Bereich der Möglichkeit, daß die unter 2. empfohlene Wiederherstellung des Strandes durch Aufspülen von Sand auf die Dauer nicht für die ganze Strecke befriedigt und daß es daher notwendig werden kann, noch andere Abhilfemaßnahmen zu erwägen. Die im Abschnitt II behandelten Vorschläge haben solche Maßnahmen zum Ziel, befriedigen aber nicht aus den oben dargelegten Gründen. Seit Herstellung der Unterwasserbühnen in den Jahren 1897 bis 1900 ist die vordem der Insel am Westende drohende Gefahr gebannt oder doch stark verringert. Der stärkste Abbau des Strandes findet heute im Nordwesten statt, wo infolge der trichterförmigen Erweiterung die Strömung des Seegats den Strand oder Inselsockel nicht mehr wesentlich angreifen kann. Hier ist es vielmehr die bei Stürmen herrschende Brandung im Zusammenhang mit einem starken von Westen nach Osten laufenden Seetriftstrom, die den Sand fortspült, sowie der Mangel an Sandzuführung, die keinen ausreichenden natürlichen Ersatz des fortgeführten Sandes bringt. Diese geben zusammen Anlaß zum besonders starken Zurückweichen des Strandes im Nordwesten der Insel.

Das hauptsächlichste Ziel muß deswegen sein, die Anlandungsstelle des äußeren Riffgürtels so weit nach Westen zu verschieben, daß der Nordweststrand daraus mit Sand versorgt wird. Außerdem ist danach zu streben, daß das Seegat so weit vom Weststrande abgedrängt wird, daß die in ihm herrschende Strömung den von der Brandung am Strande aufgewühlten Sand nicht fortführt.

Diesen Gedanken verfolgen an sich auch die Vorschläge, das Spanier Gat durch Bagge-

rungen zu öffnen und das Seegat durch den Damm K 4 bei gleichzeitiger Durchbaggerung einer neuen Rinne durch die Robbenplate in nordwestlicher Richtung zu verbauen.

Von ausschlaggebender Bedeutung für ein solches Vorhaben ist es, daß das Seegat nicht nur um die Länge des Dammes, die beim Damm K 4 etwa 500 m beträgt, nach Westen verschoben wird, sondern daß gleichzeitig auch eine Schwenkung des neuen Seegats nach Westen und eine Verlagerung seiner Engstelle möglichst weit nach Süden erreicht wird.

Dazu ist die für den Damm K 4 vorgesehene Lage nicht geeignet. Um eine ablenkende Wirkung nicht nur auf die schon nach Norden gerichtete Strömung des Seegats, sondern möglichst auch auf die Strömung des Busetiefs zu haben, liegt er zu weit nördlich, und durch seine Ostwestrichtung wird keine besonders scharfe Ablenkung der von Süden nach Norden gerichteten Strömung erzielt.

Will man durch einen Damm von Norderney aus eine ausreichende Ablenkung des Seegats nach Westen erreichen, so darf der durch den Dammkopf geschaffene Zwangspunkt nicht so weit südlich liegen, daß dadurch die ablenkende Wirkung wieder hinfällig wird.

Die stärkste ablenkende Wirkung und eine Verlagerung der Engstelle des Seegats und Riffgürtels nach Westen und Süden wird man von einem Damm erwarten können, der vom Südweststrand ausgehend bis zur Westseite der Busetiefbarre verläuft („Südwestdamm“) und dessen Kopf in Verlängerung der Buhne E in etwa 1200 m Entfernung von der Strandmauer an der im anliegenden Lageplan bezeichneten Stelle liegt.

Durch den Bau eines solchen Dammes wird der Ebbstrom aus dem Riffgat quer auf den Ebbstrom aus dem Busetief zu gelenkt, so daß sich der Ebbstrom nach der Vereinigung und damit auch die tiefe Rinne des Seegats von der bisherigen nördlichen Richtung in eine westlichere verlegen wird. Diese Lage würde auch der Richtung des Flutstroms besser entsprechen. Dadurch und durch die Verlagerung des Zusammenflusses von Busetief und Riffgat nach Westen und Süden wird auch im Laufe der Zeit eine Verlagerung des Riffgürtels nach Westen und Süden erwartet werden können.

Da durch einen solchen weit nach Südwesten vorgestreckten Damm gleichzeitig der östliche Watteneinzugsraum vergrößert, der westliche verkleinert wird, gestaltet sich auch der Einfluß dieser Einzugsräume auf das Seegat günstiger als bisher.

Die Folge dieser Veränderungen wird sein, daß auch der Anlandepunkt der Riffe an Norderney nach Westen verschoben wird und eine natürliche Sandzufuhr zum Nordweststrand eintritt.

Die im Modell untersuchten Dämme in ähnlicher Lage (K 6, U und K 3 der Anlage 14 des Berichtes der Forschungsstelle) entsprechen diesem Vorschlag nicht, weil sie kurz sind und die ablenkende Wirkung bei ihnen noch nicht stark genug ist.

Die Wirkungen der nicht in voller Höhe ausgebauten Buhne H am Westende Wangerooges auf die Harle haben gezeigt, daß es möglich ist, mit einem solchen Strombauwerk die Lage eines Seegats zu beeinflussen. Bei der Harle ist ohne jede Nachhilfe durch Baggerungen bisher eine Schwenkung des nördlichen Teiles der tiefen Rinne um etwa 20 Grad nach Westen eingetreten (vgl. Aufsatz LÜDERS in diesem Heft).

Wenn auch die Verhältnisse von Wangerooge nicht ohne weiteres auf diejenigen bei Norderney übertragen werden können, so zeigt doch die dort beobachtete Gesamtentwicklung weitgehende Übereinstimmung der wirksamen Kräfte.

Die Schifffahrt wird durch die Verlegung des Zusammenflusses von Riffgat und Busetief nicht nennenswert beeinflusst.

Rückwirkungen auf die beiderseits anschließenden Seegaten sind kaum zu befürchten, da das Watteneinzugsgebiet von Norderney in seinem Gesamtumfang nicht geändert wird.

Es wird daher empfohlen, für ein entsprechendes Bauwerk im Norderneyer Seegat einen Entwurf aufstellen zu lassen. Für einen bis auf Mittelwasser aufgeführten Damm werden die Kosten bei den bestehenden Tiefen auf etwa 7 Millionen DM geschätzt.

## Zusammenfassung

1. Durch die zur Erforschung des Seegebietes von Norderney geleisteten wissenschaftlichen Arbeiten, durch die Messungen und Beobachtungen in der Natur, durch Forschung in der Vergangenheit und durch Versuche an Modellen ist weitgehend Klarheit über die wirkenden Kräfte und die durch sie hervorgerufenen Umbildungen geschaffen, die es ermöglichen, sich ein besseres Urteil über das Maß der Gefährdung der Insel und über die Wirkung etwaiger Schutzmaßnahmen zu bilden, als es bisher möglich war.

2. Die Fortsetzung der Untersuchungen zur Klärung der noch offenen Fragen ist im Zusammenhang mit der Erforschung des gesamten Gebietes der ostfriesischen Inseln dringend notwendig.

3. Von den bisher untersuchten Vorschlägen verspricht keiner eine grundlegende Verbesserung für den Nordweststrand Norderneys, weder eine Öffnung des Spanier Gats durch Baggerungen allein, die große technische Schwierigkeiten bereiten, noch im Zusammenhang mit einer Durchbauung des Seegats durch den Damm K 4, der nur als weit vorgestreckte Bühne wirken kann.

Ein Damm vom Festland zur Insel Juist stellt eine Gewaltmaßnahme dar, deren Folgen noch nicht zu übersehen sind, die für die Schifffahrt unerträgliche Erschwerungen mit sich bringt und nicht vertretbare Kosten verursacht. Nach den bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen ist außerdem nicht erwiesen, ob ein solcher Damm und die ihm zwangsläufig folgenden Baumaßnahmen eine grundlegende Verbesserung zur Folge haben würden.

Ebenso wenig stellt eine Verbauung des Riffgats durch einen Damm zur Steinplate eine Lösung dar, von der ein befriedigender Erfolg zu erwarten ist.

4. Es ist aber dringend erforderlich, die Uferschutzwerke zu sichern, weil diese bei weiterer Abnahme des Strandes in Gefahr geraten, unterspült zu werden. Wo das Längswerk am Nordweststrand noch nicht durch Bühnen gesichert ist, muß dies schleunigst geschehen, und vom Ende des bestehenden Längswerks ist ein allmählicher Übergang zum ungeschützten Strand zu schaffen. Aber auch dadurch wird eine weitere Abspülung des Strandes noch nicht verhindert, sondern nur vermindert.

5. Die Wiederherstellung eines hochwasserfreien Strandes als beste Sicherung für die Uferschutzwerke und damit für die Insel läßt sich am schnellsten, sichersten und mit geringsten Kosten durch Aufspülen von rund  $1\frac{1}{4}$  Millionen cbm Sand erreichen, was keine technischen Schwierigkeiten bereitet.

Zur Erhaltung des Strandes sind durchschnittlich jährlich etwa 90 000 cbm nachzuspülen, was für längere Zeitabschnitte zusammengefaßt werden kann und was als Unterhaltungsmaßnahme anzusehen ist, ohne die auch kein anderes Bauwerk Bestand hat.

6. Durch eine Sandaufspülung werden der Uferabbruch im Nordwesten nicht vermindert und die natürliche Sandzuwanderung nicht vermehrt. Wenn dadurch ein gefahrdrohender Zustand für die Insel entstehen sollte, sind weitere Maßnahmen notwendig. Eine Verlängerung des Uferschutzwerkes nach Osten schafft nur einen örtlichen Schutz.

7. Eine grundlegende Umgestaltung der Strandverhältnisse kann durch den Bau eines „Südwestdammes“ erreicht werden, der auf eine Verlagerung und Schwenkung des Seegats nach Westen zu hinwirkt und damit die Anlandungsstelle der Riffe nach Westen verschiebt, was eine natürliche Sandzuwanderung am Nordweststrand zur Folge hat.

## Nachwort (März 1952)

Entsprechend der Empfehlung des vorstehenden Gutachtens ist im Laufe des Sommers 1951 der Inselchutz auf Norderney weiter ausgebaut worden. Auch im Jahre 1952 sollen die Schutzmaßnahmen planmäßig fortgeführt werden. Eine endgültige Beurteilung der bisher ausgeführten Maßnahmen ist heute noch nicht möglich, weil bis jetzt nur ein Teil der Inselchutzwerke fertiggestellt worden ist und

sich die Wirkung der Baumaßnahmen erst nach längerer Zeit erkennen lassen wird. Die bisherigen Erfahrungen haben ergeben, daß der im Westen und Nordwesten des Inselstrandes aufgespülte Sand (rund eine Million Kubikmeter) die Strandschutzwerke (Buhnen und Strandmauern) bei den Stürmen im Winter 1951/52 wirksam geschützt hat. Im Bereich des aufgespülten Strandes sind im Gegensatz zu der noch ungeschützt gebliebenen, östlich anschließenden Strecke keine Schäden aufgetreten. Der mit steilerer als der natürlichen Böschung aufgespülte Sand ist durch die Brandung, besonders über der MThw-Linie, eingeebnet worden, wodurch in dieser Höhenlage nicht unerhebliche Sandverluste eingetreten sind. Ob dieser Sandverlust anhalten wird, wird sich erst nach Ablauf längerer Zeit mit guten und schlechten Wetterperioden beurteilen lassen.



Abb. 1. Die Emsmündung (Aus Atlas Niedersachsen, Deutscher Planungsatlas Band 2, 1950)

## Über die neuere Entwicklung der Außenems und ihre vermutlichen Ursachen

Von Wulff Niebuhr

Das Strombild der Außenems (Abb. 1), wie es sich heute zeigt, wird gekennzeichnet durch das Nebeneinander von Mäanderbögen und Gaten. Von der Mündung stromauf gesehen entsprechen den Strombögen: Alte Ems, Emshörnfahrwasser, Bucht von Watum, die Stromsehnen oder auch Gaten genannt: Randzelgat, Dukegat und Ostfriesisches Gatje. Diese Erscheinung ist im Mündungsgebiet von Tideströmen in mehr oder weniger ausgeprägter Form immer wieder zu beobachten. Sie ist bedingt durch Stärke und Richtung der wechselseitig auftretenden Strömungen (Flut und Ebbe) und, da letztere sowohl hinsichtlich ihrer Stärke als auch ihrer Richtung ständigen Veränderungen unterliegen, ebenfalls einem ständigen Wechsel unterworfen. Dennoch läßt sich jedenfalls für die Ems eine gewisse Stetigkeit der Entwicklung feststellen. Während noch um 1800 die Bögen (Alte Ems, Emshörnfahrwasser und Bucht von Watum) eindeutig überwogen, haben sie heute zugunsten der Sehnen an Bedeutung wesentlich verloren. Abnahme des Querschnitts, zum Teil auch Barrenbildungen in den Strombögen waren die Folge.

Das Dukegat sowie das Ostfriesische Gatje finden wir bereits in den älteren bekannten Seekarten vom Emsmündungsgebiet (VON WAGHENAER 1584 und VON MARTIN FABER 1642) verzeichnet. Das Randzelgat wird dagegen erst etwa ein Jahrhundert später auf den überlieferten Seekarten angedeutet. Hauptfahrwasser bildeten jedoch damals noch die Alte Ems, Pilsumer Fahrt und die Bucht von Watum. Die Gaten waren von untergeordneter Bedeutung und nur für die Kleinschiffahrt passierbar. Die Bedeutung, zu der die Gaten heute gelangt sind, haben sie im wesentlichen erst im Laufe des vergangenen sowie in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts gewonnen.

Die erste genauere Seekarte des Emsmündungsgebietes nach Originalvermessungen mit neuzeitlichen nautischen Hilfsmitteln ist eine französische Karte aus dem Jahre 1812 (*Plan de l'embouchure de l'Ems par BEAUTEMPS-BEAUPRÉ*). Es folgt die erste amtliche holländische Seekarte, datiert aus dem Jahre 1833 (bearbeitet von KEUCHENIUS). Seit 1833 sind dann fortlaufende Neubearbeitungen der Karte der Emsmündung teils holländischen (1850, 1859, 1874), teils hannoverschen (1866) und ab 1896 auch deutschen Ursprungs erschienen. Auf diesen, durch genaue Unterlagen belegten Zeitraum soll sich die nachfolgende Untersuchung beschränken.

Von TH. JANSSEN (4) wurde „die neuere Entwicklung des Seegebietes vor Borkum seit 1833“ in einer gleichlautenden Schrift bereits bearbeitet. In der genannten Schrift weist JANSSEN auf die auffällige Erscheinung der Schwenkungen der Emsmündungen im Laufe des vergangenen Jahrhunderts hin und bemerkt hierzu: „Es fällt sofort in die Augen, daß sowohl die Osterems als auch die Westerems und das in Höhe von Borkum auf Süd abzweigende Hubertgat eine Schwenkung entgegen dem Uhrzeiger durchgemacht haben.“

Der Drehwinkel der Osterems und der Westerems wird von JANSSEN zu etwa 30 Grad und des Hubertgats zu etwa 40 Grad angegeben. Die Drehung ist so stark, daß sie, wie auch schon von JANSSEN bemerkt, nur über eine verhältnismäßig kurze Zeit angedauert haben kann.

Daß solche wesentlichen Veränderungen im Mündungsgebiet auf den Verlauf der Unterems zwischen dem Dollart und Borkum nicht ohne Einfluß geblieben sind, ist anzunehmen. Eingangs wurde bereits erwähnt, daß das Durchsetzen der Gaten im betrachteten Zeitraum bedeutende Fortschritte gemacht hat. Ihre Entwicklung im einzelnen zeigen die seit 1833 vorliegenden Seekarten. Sie lassen die Zunahme der Gaten und parallel dazu die Abnahme der Durchflußquerschnitte der Bögen (Alte Ems, Emshörnfahrwasser und Bucht von Watum) in aller Deutlichkeit erkennen. Bevor jedoch auf diese Entwicklung näher eingegangen wird, erscheint es erforderlich, zunächst einmal die Vorgänge im Mündungsgebiet selbst einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

## 1. Die Veränderungen im Emsmündungsgebiet seit 1833

a) Die Westerems (Riffgat und Hubertgat, Randzel- und Dukegat).

Wegen der mutmaßlichen Bedeutung der Vorgänge im Mündungsgebiet für die Entwicklung der Außenems wurde das Mündungsgebiet der Westerems in vier Blättern (Abb. 2—5) für die Zeit von 1833 bis 1947 besonders herausgezeichnet. Es wurden die 8- und 5-m-Tiefenlinie (unter Kartennull) eingetragen. Zum besseren Vergleich der jeweiligen Veränderungen wurde ferner ein Parallelogramm A-B-C-D eingezeichnet.

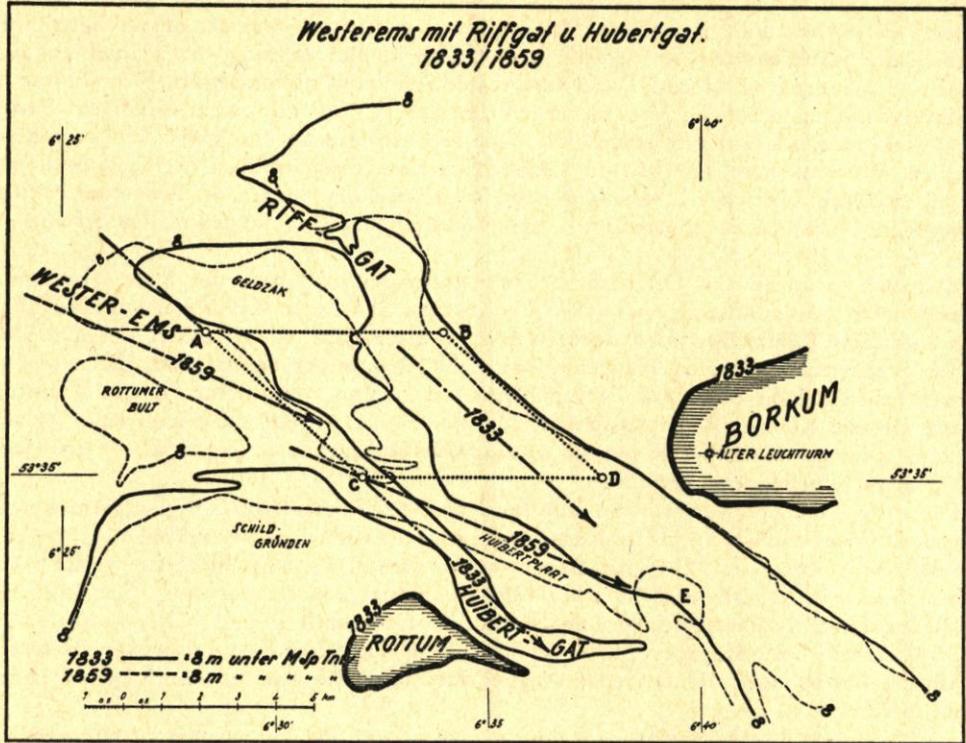


Abb. 2. Durchbruch der Westerems zwischen Geldsack und Hubertplate

Abbildung 2 gibt die Entwicklung von 1833 bis 1859 wieder. Noch 1833 bildeten Riffgat und Westerems die Hauptmündungsarme. Zwischen erstreckte sich auf einheitlichem Sockel in etwa nordwest-südöstlicher Richtung die Hubert- und Geldsackplate. Der Rottumer Bult (1859) ist weder auf der französischen Seekarte von 1812 noch auf der Seekarte von 1833 verzeichnet. Da die Tiefenangaben auf den genannten Seekarten nicht bis in die Gegend des Rottumer Bults reichen, muß die Frage, welche Form der Rottumer Bult damals gehabt hat, offen bleiben. Daß er bereits bestanden hat, ist mit Sicherheit anzunehmen. Ältere Karten zeigen an dieser Stelle eine Plate mit der Bezeichnung „Äußere Rottumer Gründe“.

In der Zeit von 1833 bis 1859 sind wesentliche Veränderungen festzustellen. Die Hubertplate ist an ihrer schwächsten Stelle (südlich C-D) durchstoßen und zu einem wesentlichen Teil aufgerieben. Nur an der Wurzel ist ein stark nach Osten verlagerter Stumpf (E) bestehen geblieben. Der nördliche Rest der Plate hängt noch mit dem Geldsack-Sockel zusammen und erstreckt sich bis etwa zur Linie C-D. Im Riffgat zeigt sich eine gewisse Verlagerung der Tiefenlinien. Zwischen der Geldsackplate und den Schildgründen erscheint der Rottumer Bult, der, wie bereits erwähnt, auf den Seekarten von 1812 und 1833 nicht ver-

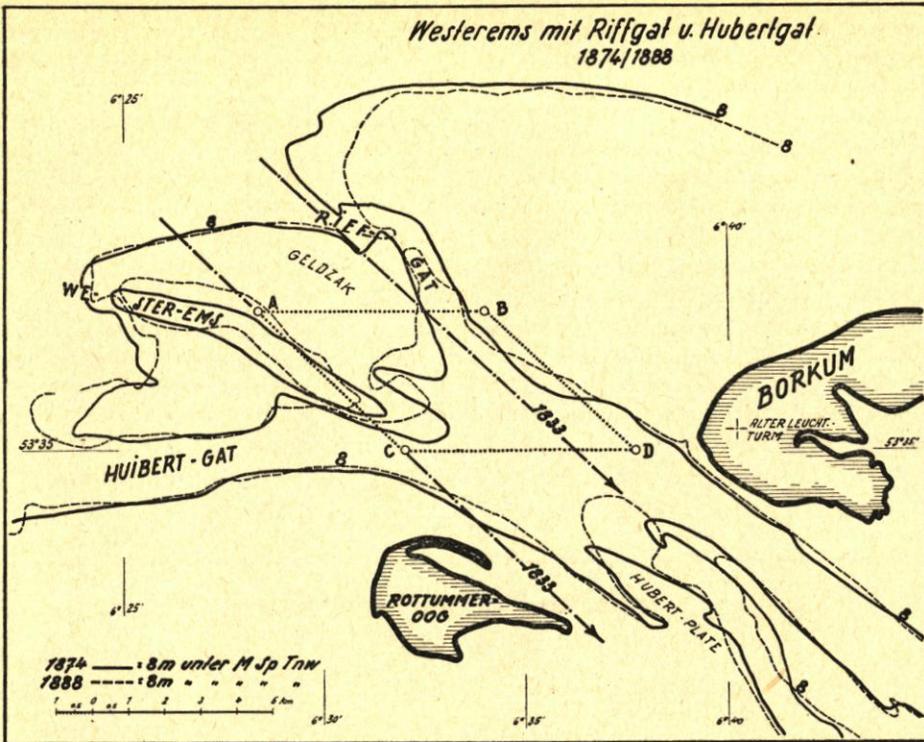


Abb. 3. Vordringen der Hubertplate nach Norden

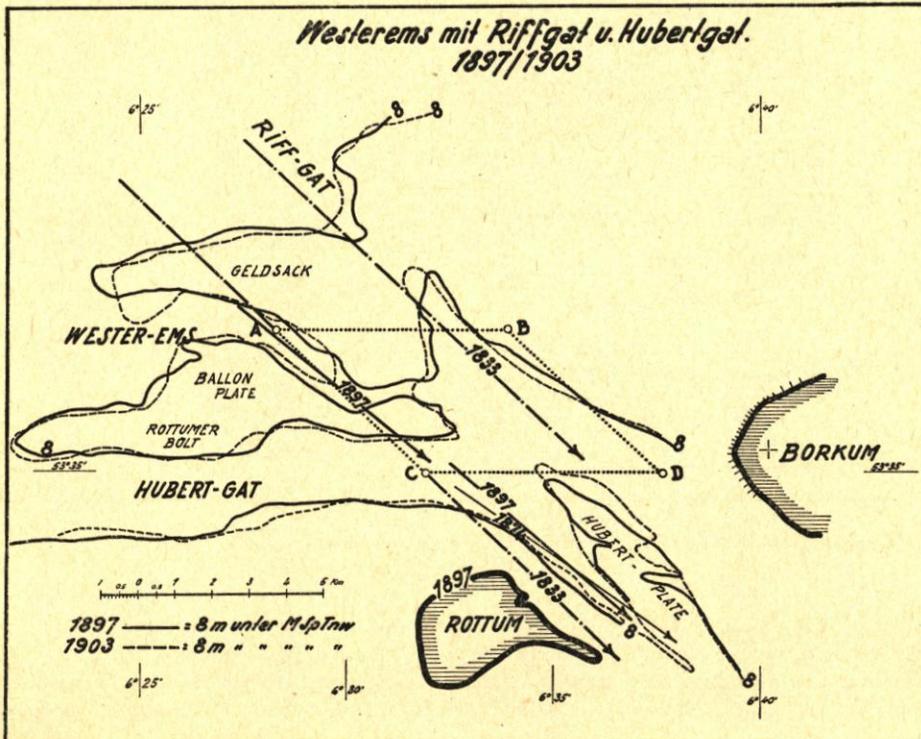


Abb. 4. Weiteres Vordringen der Hubertplate nach Norden. Verflachung des Riffgats

zeichnet war. Im Süden ist ein merkbares Zurückweichen der 5- und 8-m-Linie vor den Schildgründen festzustellen. Das alte Hubertgat (1833) ist vollständig verlandet. Nur ein kleiner Einriß zeigt sich östlich des ehemaligen Gats.

1874 (vgl. Abb. 3) ist die 1859 bereits vorhandene Durchfahrt (Hubertfahrt) zwischen Geldsack und den Schildgründen weiter geworden. Das Riffgat hat sich verengt, die 8-m-Linien haben sich von Westen und Osten in das Gat vorgeschoben. In der Westerems zeigen sich seewärts sowie nach dem Hubertgat zu schmale Barren mit Tiefen unter 8,0 m. Am Südufer des Hubertgats zeigen sich keine wesentlichen Veränderungen.

1888 zeigen sich gegenüber 1874 keine wesentlichen Veränderungen. Nur die Hubertplate hat an Ausdehnung nach Norden zugenommen.

1897 (Abb. 4): Die Hubertplate hat sich weiter nach Norden entwickelt. Sie reicht mit ihrer Nordspitze fast bis an die Linie C-D heran. Das ehemalige Riffgat ist stark aufgehöhht. In der Westerems ist die seewärtige Barre verschwunden. Die Rinne hat sich vertieft, verbreitert und gleichzeitig wieder eine mehr südwestliche Richtung angenommen. Das Hubertgat hat sich bedeutend verbreitert.

1903: Verflachung der Westerems am Nordausgang. Sonst keine wesentlichen Veränderungen.

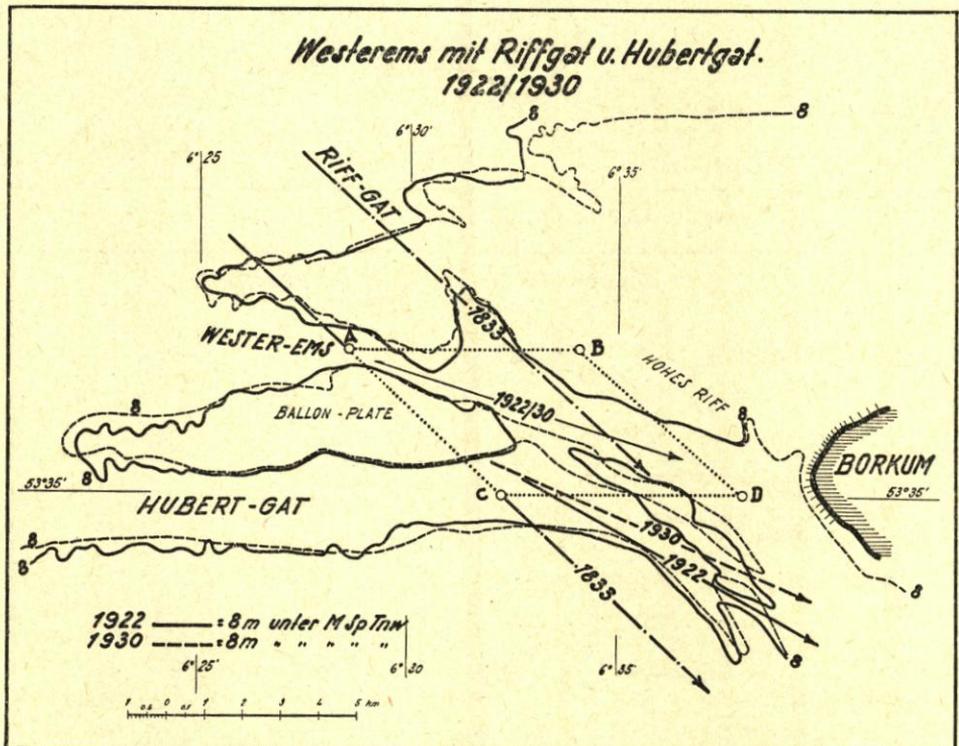


Abb. 5. Aufspaltung der Hubertplate und Zusammenwachsen ihres nördlichen Teiles mit der Ballonplate

1922: Die Hubertplate hat sich weiter nach Norden bis über die Linie C-D herausgeschoben. Gleichzeitig ist jedoch eine Spaltrinne (1912 zum ersten Male verzeichnet) zwischen der Plate und den südlichen Wattgründen bemerkbar. Diese Rinne darf als Beginn einer erneuten Auflösung der seit 1874 wieder nach Norden gewachsenen Plate angesehen werden.

Eine zweite flache Spaltrinne ist südlich C-D angedeutet. Am Süden des Hohen Riffs Zurückweichen der 8-m-Tiefenlinie. Das Riffgat hat sich weiter aufgehöhht und zeigt Mindesttiefen von nur noch 4 m. Die Westerems hat sich wieder vertieft und zeigt eine mehr nach West-Ost geneigte Richtung.

1930: Die südliche Spalte in der Hubertplate hat sich vertieft und weiter nach Norden verlegt. Gleichzeitig hat die Plate sich in ihrem mittleren Teil nach Norden verlagert. Sie nimmt dabei, je weiter sie nach Norden wandert, eine immer mehr nach Westen neigende Richtung an. In ihrem nördlichen Teil ist sie bereits in der 8 m Linie mit dem Sockel der Ballonplate zusammengewachsen. Im Riffgat haben sich wieder Tiefen von mehr als 6 m eingestellt. Westerems und Hubertgat zeigen keine wesentlichen Veränderungen.

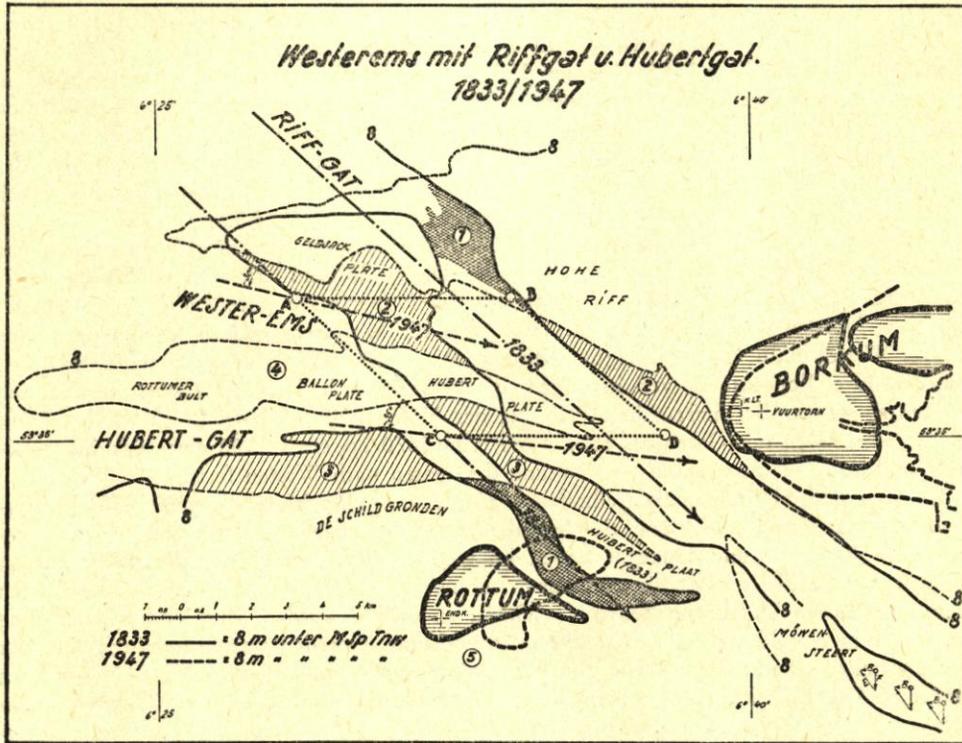


Abb. 6. Veränderungen im Mündungsgebiet der Westerems von 1833 bis 1947

1947 (Abb. 6): Die Hubertplate ist in Richtung und Breite des Hubertgats aufgerieben. Der nördliche Teil der Hubertplate ist mit der Ballonplate jetzt in der 6-m-Linie verbunden und bildet mit dieser und dem Rottumer Bult eine einheitliche in westöstlicher Richtung sich erstreckende Plate. Das Riffgat ist durch eine breite Barre mit Tiefen von weniger als 6,5 m versperrt. Die Westerems hat sich gegenüber 1930 im westlichen Teil verbreitert und vertieft. Das Hubertgat ist nunmehr von der See her bis Borkum untiefenfrei. Der Gezeitenstrom kann ungehindert in westöstlicher Richtung vordringen. Erst unmittelbar vor Borkum wird er nach Südwesten umgelenkt.

Als wesentliches Endergebnis der mehr als hundertjährigen Entwicklung (1833 bis 1947, vgl. Abb. 6) ist festzustellen:

1. Verlandung des Riffgats mit einer Tiefe über der Barre von rund 6 m. Verlandung des alten Hubertgats (1833).

2. Drehung der Westerems um rund 30 Grad, als Folge hiervon Durchbruch des ursprünglich zusammenhängenden Sockels Geldsack- und Hubertplate sowie Zurückweichen des Hohen Riffs in seinem südöstlichen Teil bis zu 1 000 m. Gleichzeitig Abbruch am Westrand von Borkum bis etwa 1874 (seit 1866 durch Strandschutzwerke gesichert).
3. Drehung des Hubertgats um rund 35 Grad, als Folge hiervon Auflösung der alten Hubertplate in ihrem mittleren Teil. Zurückweichen der 8-m-Linien vor den Schildgründen im Mittel um rund 1 500 m.
4. Bildung einer neuen langgestreckten Plate (Rottumer Bult, Ballon- und [neue] Hubertplate) zwischen Westerems und Hubertgat.
5. Verlagerung der Insel Rottum um rund 1800 m nach Osten.

Alle diese Veränderungen deuten auf eine Veränderung der Hauptangriffsrichtung des Gezeitenstroms hin. War dieser nach Lage und Richtung der Platen und Gaten für die Zeit um 1833 noch in vorwiegend nordwestlich-südöstlicher Richtung anzunehmen, so darf man auf Grund der festgestellten Verlegung der Rinnen und Umbildung der Platen wohl schließen, daß er seit 1833 in eine immer mehr westöstliche Richtung umgeschwenkt ist. Die erfolgten Umbildungen sind hierbei nun keineswegs stetig vor sich gegangen. War von 1833 bis 1859 eine Schwenkung des Hubertgats unter gleichzeitiger Auflösung des mittleren Teiles der Hubertplate um rund 20 Grad entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn festzustellen, so hat sich diese Bewegung nach 1859 nicht in gleichem Maße fortgesetzt. 1874 hat sich ein neues Gat wieder in Südostrichtung westlich Rottum gebildet. Auch die Westerems zeigt wieder eine mehr von Nordwesten nach Südosten weisende Richtung. Dieser Zustand hält etwa bis um die Jahrhundertwende an. In der gleichen Zeit hat sich die Hubertplate (alte Richtung und Lage) wieder nach Norden entwickeln können. 1922 zeigt die Westerems jedoch schon wieder eine mehr von Westen nach Osten geneigte Richtung. Die 1912 noch vorhandene Barre zwischen Geldsack- und Ballonplate ist verschwunden. Bis 1947 hat sich dann die zweite Schwenkung der Gaten sowie parallel hierzu die Auflösung der Hubertplate vollzogen. Wir stellen somit ein erstes Schwenken der Gaten bis etwa 1870, von 1870 bis etwa 1900 eine rückläufige Bewegung und von hier ab erneute Schwenkung der Gaten nach Westen fest.

Die oben dargestellten unzweifelhaften Veränderungen im Mündungsgebiet der Westerems werden auf die Entwicklung des anschließenden Stromgebiets nicht ohne Einfluß geblieben sein. Randzel- und Dukegat haben im gleichen Zeitraum wesentlich an Bedeutung gewonnen. Als charakteristisch für diese Entwicklung kann der jeweilige Zustand der Barren an den südöstlichen Durchbruchstellen der Gaten angesehen werden. Zur Veranschaulichung wurde daher in Abbildung 7 die Querschnittsentwicklung über den Barren abhängig von der Zeit dargestellt. Gleichzeitig wurde die Schwenkung des Hubertgats seit 1812 graphisch aufgetragen. Die Entwicklung der wirksamen Durchflußquerschnitte über den Barren ergibt keinen stetigen Linienzug. Die mannigfaltigen Einflüsse sowie insbesondere auch wahrscheinliche Unterschiede in den Kartenhorizonten ergeben starke Schwankungen. Immerhin ist ein wesentlicher Anstieg seit 1812 für beide Gaten festzustellen. Das Randzelgat zeigt hierbei eine bemerkenswerte Unterbrechung in seiner ansteigenden Entwicklung (etwa zwischen 1859 bis 1900). Beim Dukegat zeigt sich ein Tiefpunkt der Entwicklung um 1888. Von hier ab nimmt der Querschnitt bis 1930 ständig zu. Im Verlauf von etwa vier Jahrzehnten hat sich eine breite, nach Norden verlagerte Durchfahrt ausgebildet, die dann im wesentlichen bis heute bestehen geblieben ist.

Eine gewisse Parallelität zwischen der Schwenkung des Hubertgats (c) sowie der Entwicklung der Barren (a, b) ist unverkennbar. Beide Erscheinungen zeigen dieselbe rückläufige Bewegung zwischen 1859 und 1900. Es erscheint daher sehr wahrscheinlich, daß sich die Schwenkung der Mündungen auf die genannten Gaten ausgewirkt hat.

#### b) Die Osterems (Hommevat, Voorentief)

Abbildung 8 gibt die Hauptrichtungen des Tiefs zwischen Borkum und Memmert (Osterems) in den Jahren von 1812 bis 1947 wieder. Eine besonders starke Veränderung zeigt sich

in der Zeit zwischen 1833 und 1873. Ab 1873 scheint die Bewegung langsamer zu werden. Heute hat das Gat eine nicht ganz westöstliche Richtung angenommen. Durch die Nordecke von Borkum sowie die Südkante vom Memmert wird es an einer weiteren Schwenkung gehindert. In neuester Zeit auftretende Abbrüche am Südstrand vom Memmert können als ein Zeichen des in Westostrichtung andrängenden Gezeitenstromes angesehen werden.

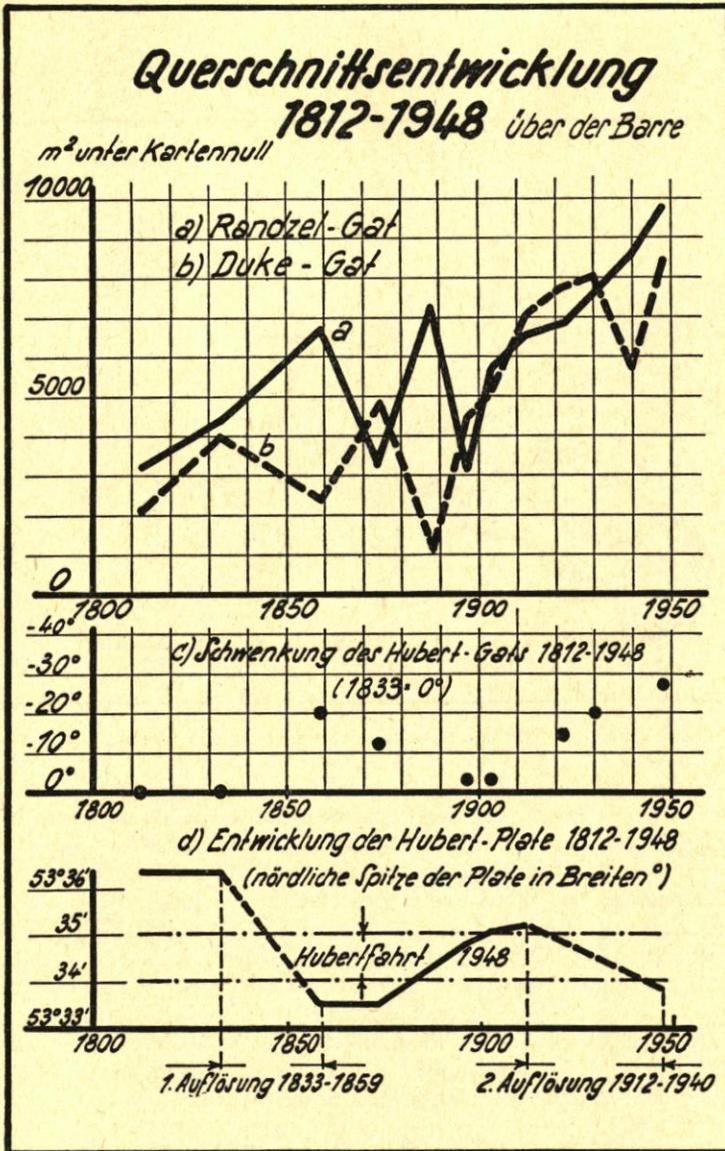


Abb. 7. Querschnittsentwicklung im Randzel- und Dukegat und Beziehung zwischen der Schwenkung des Hubertgats und der Entwicklung der Hubertplate

Die äußere Osterems — etwa nördlich der Strandlinie Borkum—Juist — hat die vorgenannte Schwenkung nicht mitgemacht. Dies mag auf die seit altersher festliegende Brauersplate und das Juister Riff zurückzuführen sein. Bemerkenswert ist jedoch, daß das nach 1812

bedeutende Hommegat östlich des Juister Riffs heute verlandet ist, dagegen hat sich westlich der Osterems zwischen Brauersplate und Borkum das Voorentief kräftig entwickelt. Der Vorgang der Schwenkung der Osterems ist grundsätzlich ähnlich verlaufen wie bei der Westerems. Auf eine Darstellung im einzelnen kann hier verzichtet werden. Die Auswirkung der Schwenkung auf das Wattgebiet seit 1833 ist von JANSSEN in dem bereits zitierten Aufsatz behandelt. Westeralbe, Leeg- und Bantsbalje verlieren immer mehr an Bedeutung. Die Osterems, so schreibt JANSSEN, entwickelt sich offenbar immer mehr von einem Emsarm, d. h. einer an das Sammelbecken der Außenems angeschlossenen Stromrinne zu einem Seegat für die Leybucht und das große Wattgebiet südlich von Juist.

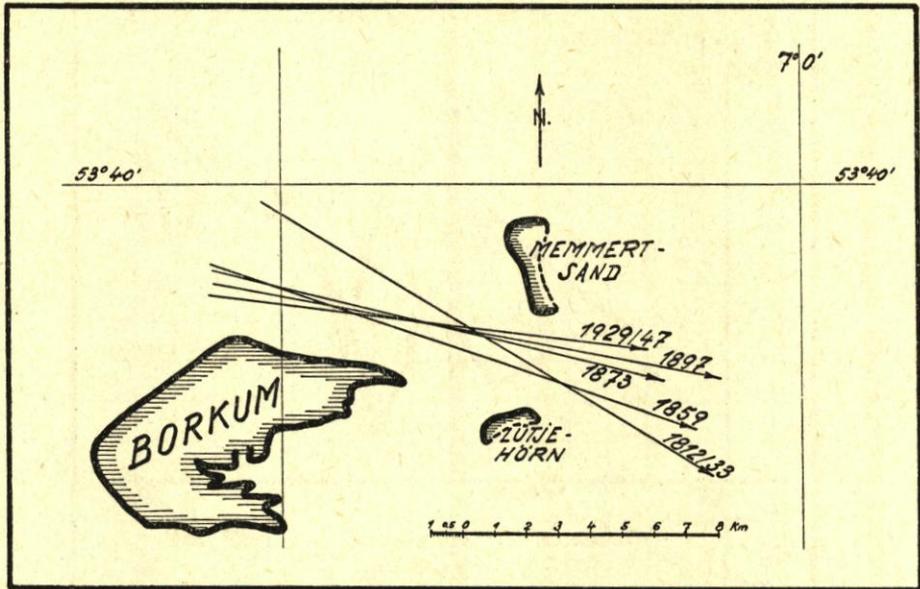


Abb. 8. Die Entwicklung der Osterems zwischen Borkum und Memmert von 1812 bis 1947

### c) Die Westeralbe

Im engsten Zusammenhang mit der Osterems steht offenbar die Westeralbe, die ja die Osterems mit der Westerems verbindet. In Abbildung 9 sind die 0,5- und 8-m-Tiefenlinien nach der Karte von 1833, bezogen auf damaliges Niedrigwasser, und darüber die entsprechenden Tiefenlinien von 1940 eingetragen. Die Darstellung läßt deutlich die zwischen 1833 und 1940 eingetretene Verflachung der Westeralbe erkennen. Während 1833 noch eine breite Rinne von 5—8 m Tiefe weit in das Watt eingeschnitten war, ist die Rinne 1940 (durch Schraffung herausgehoben) auf weniger als die Hälfte der alten Breite zurückgegangen und nach Westen verlagert. Die südliche Spitze der 5-m-Linie hat sich um etwa 2800 m nach Norden verlegt. Der Wattrücken zwischen Osterems und Westerems hat sich entsprechend verbreitert. Aus einem Verbindungskanal zwischen beiden Emsarmen ist die Westeralbe zu einem Priel geworden, d. h. während früher durch die Westeralbe offensichtlich noch größere Wassermengen von Norden nach Süden und umgekehrt strömten, hat sich im Laufe der Zeit eine Wasserscheide quer durch die Westeralbe gebildet, die nunmehr beide Stromsysteme voneinander trennt und keinen nennenswerten Wasseraustausch mehr zuläßt. Auffällig an der Darstellung ist das Zurückweichen der 0-m-Linie an der Ostseite der Westeralbe. Dieses mag vielleicht auf eine Zunahme der westlichen Winde im letzten Jahrhundert hindeuten. Dafür spricht auch die starke Zersägung der 2-m- und 0-m-Linie 1940 auf der Ostseite der Balje. Sollte diese Erscheinung etwa die gleiche Ursache haben, die auch für die Schwenkung der Mündungen verantwortlich ist?

d) Bucht von Watum, Ostfriesisches Gatje

WILDVANG schreibt in „Der Einbruch der Nordsee in das Mündungsgebiet der Ems“ (11):

„Die fortan über die Osterems vordringende Flutwelle stieß mit der über die Westerems einströmenden zusammen und lenkte sie aus ihrer bisher fast rechtwinklig auf die Küste gerichteten Bahn ab.“

Folgt man diesem Gedanken WILDVANGS, so wird es verständlich, warum die Bucht von Watum solange — bis etwa um die Mitte des vorigen Jahrhunderts — trotz des längeren Weges das Übergewicht gegenüber dem Ostfriesischen Gatje bewahren konnte. Der Zuschuß aus der Osterems — die Rinne in der Westerbälje zeigt Nordsüdrichtung — drängte die Wassermengen bei Flut in die Bucht von Watum ab. Hierzu kommt das hydraulisch bedingte Pendeln des Stromes in Krümmung und Gegenkrümmung. Die aus der Erdumdrehung resul-

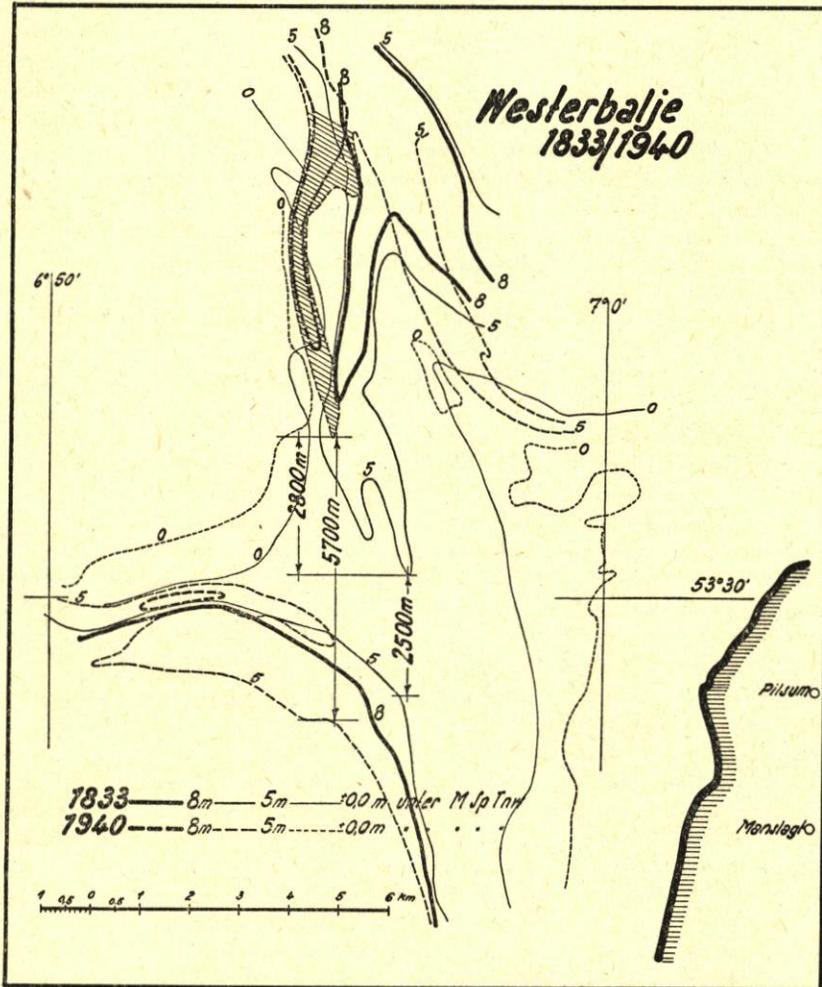


Abb. 9. Verlegung und Verflachung der Westerbälje von 1833 bis 1940

tierende Rechtsablenkung mag gleichfalls ihren Teil zur Ablenkung des Flutstromes nach Westen beigetragen haben. Es müssen daher schon besondere Umstände eingetreten sein, die diesen natürlichen Stromverlauf so grundlegend verändert haben.

Infolge der Schwenkung der Osterems und der damit offensichtlich in ursächlichem Zusammenhang stehenden Verlandung der Westerbälje hat der Zustrom von Norden abge-

nommen. Das heutige Profil der Westerbalje schließt das Vorhandensein eines durchgehenden Stromes von wesentlicher Bedeutung aus. Die verbleibende Rinne dient im wesentlichen nur noch der Füllung sowie Entleerung des zugeordneten Wattgebiets. Infolge Schwenkung der Westerems haben Randzel- und Dukegat (vgl. Seite 48) wesentlich an Bedeutung gewonnen. Der Gezeitenstrom verläuft in gestreckter Führung durch die Gaten. Die noch vorhandenen Mäanderbögen (Alte Ems, Emshörnfahrwasser) treten dieser neuen Stromführung gegenüber zurück. Damit fällt aber auch der obenerwähnte zweite Grund (Bildung einer Gegenkrümmung) zur Bevorzugung der Bucht von Watum fort. Es bleibt somit lediglich die Rechtsablenkung aus der Erdumdrehung, die jedoch offenbar nicht stark genug ist, um eine Schwenkung von fast 90 Grad an der Hundsteertspitze zu erzwingen. Sie macht sich vielleicht bemerkbar in der Bildung einer Rinne hart an der Ostseite des Hundsteerts bzw. Paapsandes. Der erste Ansatz zu dieser Rinne zeigt sich im Jahre 1903.

Die zwingende Folge dieser Entwicklung mußte die Vertiefung des Ostfriesischen Gatjes und damit die allmähliche Verlandung der Bucht von Watum besonders am Nordausgang sein. Im Zuge dieser natürlichen Entwicklung wurden um die Jahrhundertwende einmalig Baggerungen im südlichen Ausgang des Ostfriesischen Gatjes durchgeführt. Sie mögen die Entwicklung wohl beschleunigt haben, sie können jedoch nicht als die Ursache einer schon lange vorher angebahnten Umbildung des Stromsystems angesehen werden.

Zur Erhärtung der vorstehend erläuterten Zusammenhänge wurde die Entwicklung der Durchflußquerschnitte in der Westerbalje, in der Bucht von Watum sowie im Ostfriesischen Gatje seit 1812 untersucht. Das Ergebnis ist in Abbildung 10 dargestellt.

Gegenübergestellt wurden:

- a) die Durchflußquerschnitte (unter Kartennull) auf der jeweiligen Wasserscheide in der Westerbalje sowie
- b) das Mittel von je drei Durchflußquerschnitten (unter Kartennull) durch die Bucht von Watum und
- c) durch das Ostfriesische Gatje.

Außerdem wurde die Schwenkung der Osterems (e) graphisch aufgetragen. Die gegenseitige Abhängigkeit ist unverkennbar: Von 1833 einerseits ein Abnehmen der Westerbalje und gleichzeitig ein starkes Abnehmen der Bucht von Watum. Die Entwicklung des Ostfriesischen Gatjes ist entgegengesetzt. Sie zeigt eine Zunahme ihres Querschnitts von rund 8000 m<sup>2</sup> im Jahre 1833 auf etwa 12 000 m<sup>2</sup> im Jahre 1910. Um 1898 haben Gatje und Watum etwa gleiche Durchflußquerschnitte. Von hier ab verändert sich das Verhältnis Watum zu Gatje weiter bedeutend zu Ungunsten von Watum (Abb. 9 f).

Ab 1912 zeigt die Westerbalje keinen wesentlichen Rückgang mehr. Der Querschnitt hat sich wohl den heute hauptsächlich vom Windstau abhängigen Strömungsverhältnissen zwischen Osterems und Westerems angepaßt.

Die aus den holländischen Karten von 1833 und 1859 ermittelten Querschnitte fallen aus der allgemeinen Linie heraus. Sie liegen sowohl für Watum als auch für das Gatje zu hoch. Dies zeigt sich besonders deutlich in der Summenlinie beider (Abb. 9 d). Es ist durchaus unwahrscheinlich, daß die Querschnittssumme von 1812 bis 1833 um rund 4000 m<sup>2</sup> angestiegen sein und in der kurzen Zeit von 1859 bis 1873 um rund 6000 m<sup>2</sup> wieder abgenommen haben soll. Vermutlich ist dieser Unterschied darauf zurückzuführen, daß in den holländischen Karten ein höherer Bezugswasserstand („gewoon laag Water“) zugrunde gelegt ist. Nimmt man einen um 0,5 m niedrigeren Bezugshorizont an, so ergeben sich die eingeklammerten Werte, die sich besser in die allgemeine Linie einfügen. Bei den Verhältniswerten (Watum zu Gatje, Abb. 9 f) liegen auch die holländischen Werte gut in der stetig abfallenden Kurve. Der vorübergehend starke Abfall der Kurve (1899—1912) ist offensichtlich auf die von 1899 bis 1901 erfolgte Durchbaggerung der südlichen Barre des Ostfriesischen Gatjes zurückzuführen. Ihre Auswirkung scheint jedoch bereits 1912 beendet. Jedenfalls verläuft die n-Linie von hier ab wieder flacher (etwa in derselben Neigung wie vor 1899).

Bemerkenswert ist die Abnahme der Querschnitts-Summe (Abb. 9 d) von rund 22 000 m<sup>2</sup> im Jahre 1812, auf rund 18 000 m<sup>2</sup> im Jahre 1948. Sie scheint auf eine ständige, wenn auch

langsame Verlandung der Bucht hinzudeuten. Diese wird noch größer, wenn eine allgemeine Erhöhung des Wasserspiegels, wie sie unter anderem von GAYE (2) ermittelt ist, stattgefunden hat.

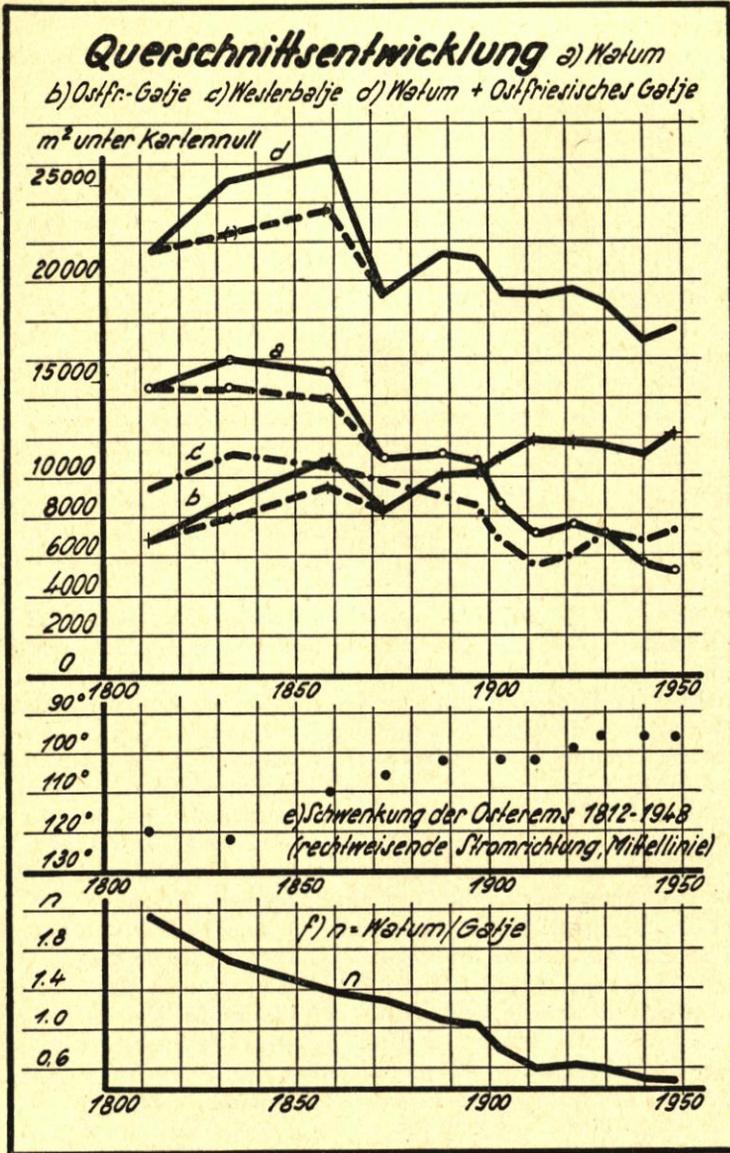


Abb. 10. Entwicklung der Querschnitte in der Bucht von Watum, im Ostfriesischen Galje und in der Westerbalje. Schwenkung der Osterems

#### e) Die Entwicklung der Platen

In ursächlichem Zusammenhang mit den Stromrinnen und Gaten stehen die zwischen ihnen gelegenen Platen. Die Hubertplate, Mövensteert, Emshörn und Paapsand mit Hund sind bereits in der Seekarte von BEAUTEPS-BEAUPRÉ (1812) verzeichnet (LANG (7)). Sie lassen sich zum Teil geschichtlich noch erheblich früher nachweisen. Wie nicht anders zu erwarten, sind die Platen in Lage und Ausdehnung im Zusammenhang mit den grundsätzlichen Veränderungen

in der Stromführung seit 1812 bedeutenden Umbildungen unterlegen gewesen. Ohne im einzelnen die Entwicklung hier weiter verfolgen zu wollen, erscheint es jedoch wichtig, den grundsätzlichen Zusammenhang mit den oben geschilderten Vorgängen in den Gaten an einigen charakteristischen Beispielen aufzuzeigen.

Die *H u b e r t p l a t e* war 1833 an ihrem südlichen Ende mit dem Horsbornsand westlich Rottum verbunden. Ihre nördliche Fortsetzung bildete die Geldsackplate mit gemeinsamem Sockel in der 8-m-Linie (vgl. Abb. 2). Hubert- und Geldsackplate stellten somit gewissermaßen die Verlängerung des westlichen Ufers der Alten Ems dar, von den Rottumer Wattgründen allerdings durch das Hubertgat getrennt. Mit der Schwenkung der Westerems sowie des Hubertgats, das gleichzeitig erheblich an Bedeutung gewann, konnte sich die Hubertplate in ihrer alten Form nicht halten. Sie mußte mit der Zeit durch den immer mehr von Westen her andrängenden Gezeitenstrom zerrieben werden, was dann auch tatsächlich geschah. Heute ist von der „alten“ Hubertplate bis auf einen Stumpf an der Wurzel praktisch nichts mehr übrig geblieben (vgl. Abb. 6). Statt dessen hat sich ein erneuter langgestreckter Sand (Rottumer Bult, Ballon und „neue“ Hubertplate) in Richtung der geschwenkten Emsmündungen gebildet, und zwar wieder zwischen diesen. Die erfolgte Schwenkung wird hier besonders deutlich.

Diese Entwicklung ist, wie bereits dargelegt, keineswegs stetig vor sich gegangen. War die Hubertplate 1859 bereits weitgehend verschwunden, so hat sie sich bis etwa 1912 (nördlichste Lage, vgl. Abb. 8) wohl wegen der rückläufigen Bewegung der Schwenkung wieder in gewissem Umfang aufbauen können. 1912 zeigt sich aber bereits die erste Spaltrinne in der Plate in westöstlicher Richtung, ein Zeichen für den Beginn der erneuten Auflösung. 1930 ist der nördliche Teil der Plate mit der Ballonplate verbunden. In Höhe nördlich Rottum hat sich wieder eine Rinne (Hubert-Fahrt genannt) ausgebildet, die sich dann bis heute zu einer Durchfahrt von rund 1700 m Breite entwickelt hat.

Der *M ö v e n s t e e r t* (Abb. 6) hat in demselben Zeitraum eine bedeutende Erweiterung nach Nordwesten erfahren. Gleichzeitig hat sich der nördliche Eingang der Alten Ems beträchtlich nach Westen verlagert. Eine merkbare Verengung gegenüber 1833 ist hierbei eingetreten. Zu einer Verlandung des nördlichen Ausgangs, wie etwa in der Watumer Bucht, ist es jedoch nicht gekommen. Auf dem Mövensteert in Richtung Nord—Süd verlaufende Stromrinnen zeigen deutlich, daß die Plate bei Flut von Norden nach Süden überströmt wird. Infolge der im Randzelgat voreilenden Flutwelle entsteht ein Gefälleunterschied zur Alten Ems. Umgekehrt tritt bei Ebbe eine Überströmung des Mövensteerts in mehr nordwestlicher Richtung ein. Im Zusammenwirken von Flut und Ebbe ergibt sich eine Resultierende in westlicher Richtung, die die dargestellte Verlagerung der Plate veranlaßt haben mag. In ursächlichem Zusammenhang hiermit steht die gleichzeitige Verlagerung der Alten Ems nach Westen.

Die *E m s h ö r n* (I) (Abb. 11) ist 1833 noch mit dem Uithuizer Wattsockel fest verbunden. Sie ist ähnlich wie die alte Hubertplate als Fortsetzung des linken Stromufers anzusehen. In Form eines breiten Sandes ist die Emshörn in der Zeit von 1833 bis 1947 nach Nordosten gewandert. 1929 ist sie bereits in der 6-m-Linie mit der Westerbälje verbunden (II). Gleichzeitig hat sich eine neue Spaltrinne durch die Plate (das heutige Emshörnfahrwasser) gebildet. Der hierdurch abgespaltene südliche Teil trägt wieder den Namen *Emshörn* (III).

Die beträchtliche Wanderung der Emshörn nach Nordosten wird verständlich, wenn man sich die heute voneinander abweichenden Stromrichtungen von Ebbe und Flut an dieser Stelle vergegenwärtigt. Sie ergeben eine Resultierende in Richtung der tatsächlich erfolgten Verlagerung. Diese Wirkung hat sich mit zunehmender Ausweitung des Dukegats sowie des Ostfriesischen Gatjes herausgebildet. Untiefen, die sich noch heute in der inzwischen breit gewordenen Durchfahrt zeigen, bewegen sich ebenfalls in nordöstlicher Richtung.

Die Entwicklung des *P a a p s a n d e s* bedarf nach dem Vorhergesagten eigentlich keiner näheren Erläuterung mehr. Die Abnahme des Sandes auf der Ostseite ist ebenso folgerichtig wie seine Zunahme auf der Westseite. Die 6-m-Linie ist im Verlauf der Jahre bis weit über die Mitte des alten Fahrwassers (Bucht von Watum) nach Westen gewandert. Das Nordende ist bis in die Höhe der alten Emshörn vorgerückt und heute in der 6-m-Linie mit dem „Uithuizer“ Wattsockel verbunden.

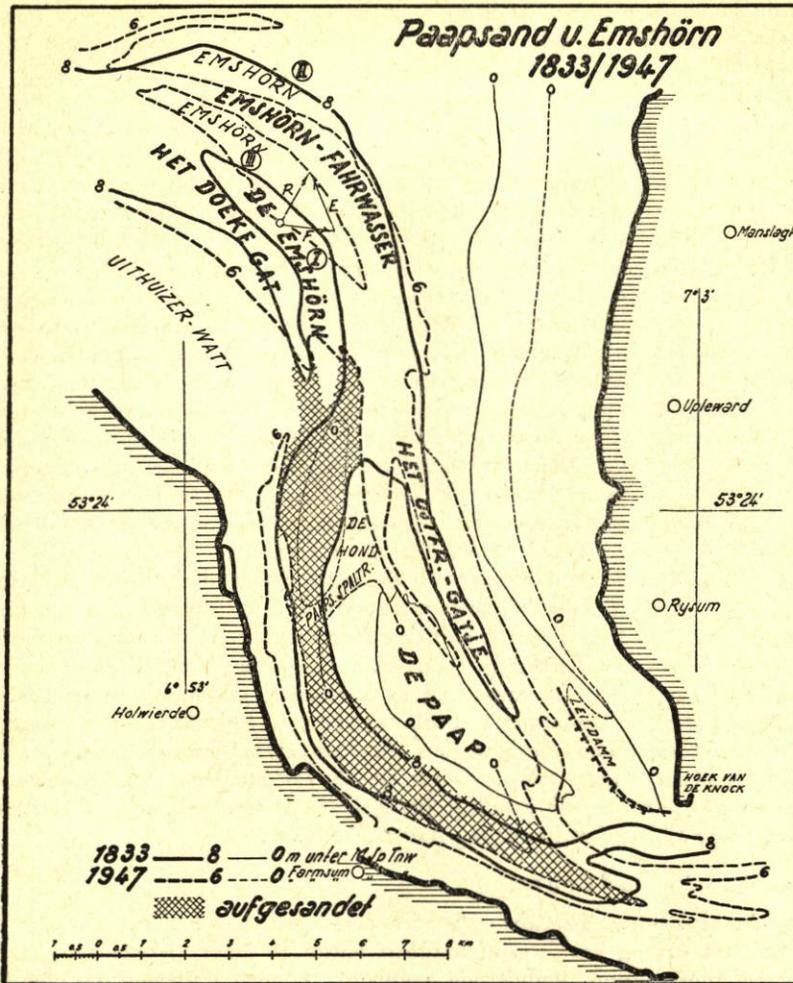


Abb. 11. Wanderung der Emshörn nach Nordosten. Verflachung der Bucht von Watum und Entwicklung des Ostfriesischen Gatje

## 2. Ursachen der Veränderung

### a) Die Theorien von JESSEN und ISBARY

Als wesentliches Ergebnis seiner Untersuchungen über die Verlegung der Flußmündungen und Gezeitentiefs gibt JESSEN (5) an, daß sich sowohl die Mündungen sämtlicher größerer Nordsee-flüsse von der Schelde bis zur Eider als auch die in diesem Raume gelegenen Gezeitentiefs in jungalluvialer Zeit nach links verlegt haben; d. h. sie haben ihre Achse (nach JESSEN) aus einer ursprünglich mehr nördlichen bis nordwestlichen Richtung in entgegengesetztem Sinne des Uhrzeigers, also in die Nordwest-Südost- bzw. Westostrichtung gedreht. Die Ursache für diese Verlegung der Festlandflüsse und Gezeitentiefs sieht JESSEN „in dem Bestreben der Wasserläufe, sich den heutigen Küstenverhältnissen, im besonderen der Angriffsrichtung der Gezeiten und Sturmfluten und der Sandwanderung anzupassen“. Die heutigen hydrographischen Verhältnisse haben sich nach JESSEN allmählich mit der Entwicklung der Deutschen Bucht (Vertiefung der Nordsee in ihrem südlichen Teil, beträchtliche Erweiterung und Vertiefung

des Armelkanals) herausgebildet. Zeitlich nimmt JESSEN den Beginn der Ablenkung mindestens in frühgeschichtlicher Zeit an. Sie soll dann durch die ganze geschichtliche Zeit bis heute andauern haben.

Wenn auch anzunehmen ist, daß sich die im Laufe der Zeit eingetretene morphologische Veränderung der Deutschen Bucht auf die Strömungsverhältnisse in der Nordsee ausgewirkt bzw. diese erst herausgebildet hat, so liegt der Beginn dieser Veränderung doch so weit zurück, daß sie für die in dem betrachteten Zeitraum (1812—1948) eingetretenen Verlagerungen kaum verantwortlich gemacht werden kann. Die Morphologie der Deutschen Bucht darf für diesen Zeitraum wohl als unverändert angenommen werden. Es müssen daher andere Ursachen vorhanden sein, die diese verhältnismäßig kurzfristigen Veränderungen hervorgerufen haben.

ISBARY (3) hat sich gleichfalls mit der Drehung der Stromsysteme im Wattengebiet befaßt. Nach ISBARY war als Folge der großen Meereseinbrüche an der nordniederländischen Küste die Richtung der alten Gezeitengaten mehr von den in die Meereseinbuchten ein- und ausströmenden großen Wassermassen als von der Gezeitenströmung bestimmt. Erst mit dem Stillstand der Landsenkung mußten nach ISBARY die Kräfte des von Gezeiten bewegten Meeres wieder die Oberhand gewinnen. ISBARY ist daher der Meinung, daß nicht die Änderung der maximalen Flutstromrichtung, die JESSEN annimmt, die große Veränderung aller Küstenformen seit Beginn unserer Zeitrechnung hervorrief, sondern ihre natürliche Wiederanpassung, aus der nach Ablauf der vorgeschichtlichen Senkung entstandenen Lage an die wieder in den Vordergrund tretenden Kräfte des von Gezeiten bewegten Meeres.

War bei JESSEN die Veränderung des Gezeitenstromes die primäre Ursache für die Schwenkung, so hält ISBARY die Westostrichtung für die natürliche durch die Gezeiten gegebene Ausgangslage, in die die Gaten nach vorübergehender Ablenkung zurückkehren. Auch diese von ISBARY vertretene Theorie gibt für die vorliegenden Verhältnisse in der Ems keine hinreichende Erklärung. Die Vorgänge sind zu kurzfristig, als daß man sie aus einer etwa durch die Meereseinbrüche Dollart bzw. Leybucht bedingte Ablenkung in eine mehr nördliche Richtung erklären könnte. Die Rückbewegung hätte ISBARY zufolge bereits kurz nach dem Einbruch des Dollarts (um 1413), spätestens Ende des 15. Jahrhunderts einsetzen müssen. Die hier betrachteten Vorgänge haben sich jedoch in der Zeit seit 1833 abgespielt, wobei zwischen 1874 bis 1900 sogar eine rückläufige Bewegung festzustellen war.

#### b) Die Sandwanderung

Es ist eine bekannte Tatsache, auf die auch JESSEN hinweist, daß die westöstlich gerichtete Sandwanderung an der ostfriesischen Küste zu einer zeitweiligen Verlegung der Mündungsgaten führen kann. Wandernde Sandbänke können zeitweilig das eine Seegat versperren, wodurch ein anderes Seegat größere Bedeutung erlangt. Das Riffgat wird z. B. ab 1897 durch Sandbänke, die sich in westöstlicher Richtung bewegen, stark eingeschränkt. Erst ab 1930 ist das Riffgat wieder frei, ohne daß es allerdings seine ursprüngliche Tiefe wieder erlangt hätte. In der Westerems sowie im Hubertgat zeigen sich dagegen auffälligerweise keine derartig ausgeprägten Sandbänke. Der Strom ist hier offenbar zu stark, um im Gat selbst größere Ablagerungen zuzulassen. Vermutlich wird der sicherlich auch durch die Westerems und das Hubertgat transportierte Sand, soweit er nicht mit dem Strom weiter aufwärts verfrachtet wird, in größeren Tiefen durch das Gat vertrifft.

Eine Wanderung des Sandes in einzelnen Riffen, die sich bogenförmig am Rande des Mündungsgebietes nach Osten bewegen [vgl. GAYE und WALTHER (1)] konnte bei der Ems nicht festgestellt werden. Sowohl der Sockel der Geldsackplate als auch der des Rottumer Bults haben trotz mannigfacher Veränderungen ihrer äußeren Form besonders in den höher gelegenen Teilen seit 1812 bzw. seit 1859 ihre geographische Lage kaum verändert.

#### c) Veränderung der meteorologischen Bedingungen

Nach diesen Feststellungen können weder die Theorien von JESSEN und ISBARY noch die Sandwanderungen an der Küste allein als ausreichende Erklärung der eingetretenen Veränderungen im Emsmündungsgebiet angesehen werden. Maßgebende, nicht zu unterschätzende

Faktoren in der Formung unserer Küste sind aber ohne Zweifel Wind und Wetter. Es liegt daher die Vermutung nahe, daß Veränderungen auf meteorologischem Gebiet eine wichtige, vielleicht sogar ausschlaggebende Rolle gespielt haben.

Eine Zusammenstellung neuerer Untersuchungen auf meteorologischem Gebiet gibt A. WAGNER (10). Die Untersuchungen erstrecken sich auf etwa hundert Jahre. Aus Raummangel ist es leider nicht möglich, auf Einzelheiten dieser sehr interessanten Arbeit einzugehen. Nur die Ergebnisse seien hier wiedergegeben. WAGNER stellt fest, daß:

1. das Jahrmittel der Temperatur zugenommen hat,
2. der mittlere meridionale Druckunterschied zwischen dem 50. Grad und 70. Grad nördlicher Breite zugenommen hat,
3. die Intensität der allgemeinen Zirkulation seit mehr als einem Jahrhundert bis in die Jetztzeit hinein dauernd, besonders aber in den letzten Jahrzehnten zugenommen hat,
4. die Westwinddrift ebenfalls im Zusammenhang der Verstärkung der allgemeinen Zirkulation, zugenommen hat.

Bei verstärkter Zirkulation ist nach WAGNER auch mit Verstärkung der mittleren Windstärke zu rechnen. Eine bestimmte Ursache für die Verstärkung der allgemeinen Zirkulation konnte bisher nicht angegeben werden\*).

Die Ergebnisse der Untersuchungen von WAGNER scheinen bereits einen gewissen Hinweis auf mögliche Zusammenhänge zwischen den meteorologischen Bedingungen und dem jeweiligen Geschehen im Küstengebiet zu geben. Insbesondere scheint die Feststellung WAGNERS, daß „besonders in den letzten Jahrzehnten“ die Intensität der allgemeinen Zirkulation zugenommen hat, beachtenswert. Auch die beobachteten Veränderungen im Emsmündungsgebiet waren in den letzten Jahrzehnten besonders lebhaft (vgl. Abb. 8 und 9). Doch sind diese Feststellungen WAGNERS noch zu allgemein gehalten, um hieraus bereits einen unmittelbaren Zusammenhang mit den spezifischen Erscheinungen im Emsgebiet ableiten zu können. Es erscheint vielmehr erforderlich, unmittelbar im Raum des Emsgebietes durchgeführte Windbeobachtungen in die Betrachtung einzubeziehen.

Aus einer Aufstellung der Wetterwarte Emden für die Zeit seit 1879 wurden jeweils für die Jahrzehnte (1881/90; 1891/1900; 1901/10; 1911/20 und 1921/30) sowie für das Jahrzehnt 1931 bis 1935 die entsprechenden gemittelten Windrosen aufgetragen (Abb. 12). Dargestellt wurden hierbei die Häufigkeiten der acht Hauptwindrichtungen in v. H. aller Terminbeobachtungen. Bei Zwischenrichtungen wie WNW wurden bei der Windverteilung die benachbarten Hauptrichtungen mit je 0,5 berücksichtigt. Nicht enthalten sind in der Aufstellung die Windstärken, die nur für die letzten beiden Jahre 1947 und 1948 angegeben werden konnten. In den für 1947 und 1948 aufgetragenen Windrosen sind auch die Windstärken mit berücksichtigt. Die Darstellung zeigt wohl eine gewisse Veränderung der Verhältniszahlen zugunsten der Windrichtungen mit der größeren Häufigkeit. Im Grundsatz verändert sich das Bild jedoch nicht wesentlich, so daß wohl auch aus den Häufigkeiten Schlüsse auf die Verteilung der Windkräfte in den verschiedenen Zeitabschnitten gezogen werden dürfen, zumal es bei der nachfolgenden Untersuchung nicht so sehr auf die absoluten Größen der Windkräfte, als auf ihre Veränderung mit der Zeit ankommt.

Als vorherrschende Windrichtung ergibt sich für das Emdener Gebiet eindeutig die Südwestrichtung mit 21,0—31,4 v. H. sämtlicher Terminbeobachtungen. An zweiter Stelle folgt die Westrichtung mit 11,0—15,3 v. H. Die geringste Häufigkeit zeigt die Südrichtung (1901/10) mit 3,7 v. H. Aber auch die Nordrichtung zeigt zeitweise verhältnismäßig geringe Häufigkeit (1931/38 nur 4,7 v. H.).

Auf die Küstengestaltung werden im wesentlichen nur die den Wasserspiegel und damit auch die Strömungsgeschwindigkeiten erhöhenden Windrichtungen, d. h. die auflandigen Winde von Einfluß sein. Die Streichlinie der ostfriesischen Küste verläuft im wesentlichen von WSW nach ONO. Als auflandige Winde kommen daher an der ostfriesischen Küste die

\*) Als mögliche Ursache gibt WAGNER eine Zunahme der Sonnenstrahlung durch Vergrößerung der sog. Solarkonstanten bzw. durch eine größer gewordene Durchlässigkeit der Atmosphäre für kurzwellige Strahlen an.

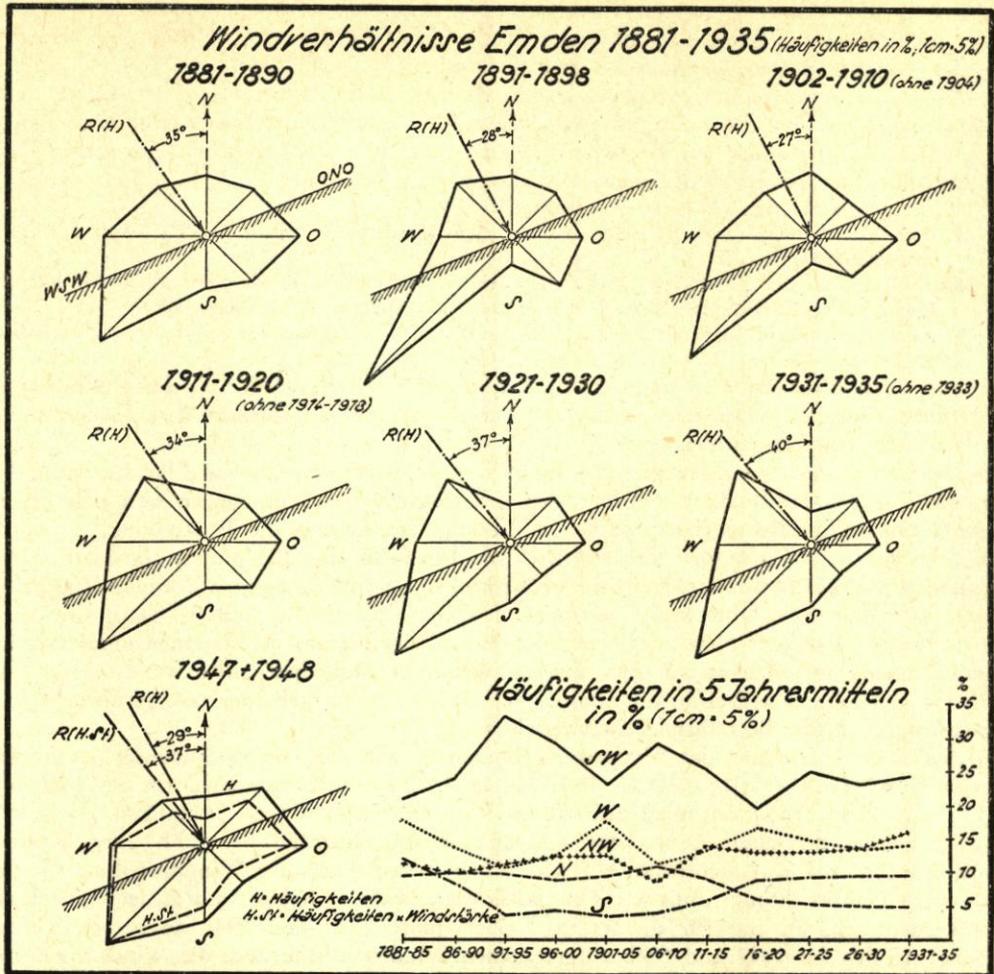


Abb. 12.

vier Hauptwindrichtungen W, NW, N und NO in Betracht. In den gemittelten Windrosen wurde aus den genannten Hauptrichtungen jeweils die Resultierende R ermittelt und eingetragen. Wie die Darstellung zeigt, ergibt sich hierbei für den Zeitraum 1880 bis 1910 eine Drehung der resultierenden Windrichtung im Uhrzeigersinn um etwa 8 Grad, für den Zeitraum 1911 bis 1935 dagegen eine Drehung entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn um etwa 13 Grad. Diese Drehungen stimmen aber bezeichnenderweise mit den für die Außengaten bereits festgestellten Schwenkungen grundsätzlich überein. So wurde beispielsweise für das Hubertgat (Abb. 7) eine Schwenkung im Uhrzeigersinn von 1874 bis 1903 um 9 Grad festgestellt; von 1903 bis 1930 dagegen eine entgegengesetzte Schwenkung um etwa 17 Grad. Die Richtungen der Gaten sind zwar nicht mit den ermittelten Windrichtungen (R) identisch. Sie zeigen im allgemeinen eine mehr westlich geneigte Richtung. Hierzu ist zu sagen, daß die Formen der Gaten vorwiegend von den örtlichen Bedingungen, insbesondere der West-Ost gerichteten Gezeitenbewegung bestimmt werden. Die Windkräfte stellen somit nur eine der vielen die Küste gestaltenden Komponenten dar. Hinzu kommt, daß die Darstellung lediglich die Häufigkeit der Windrichtungen, nicht aber die Windstärken berücksichtigt. Bei Berücksichtigung auch der Windstärken ist mit einer Verschiebung der Resultierenden zugunsten der

größeren Häufigkeiten, d. h. nach Westen, zu rechnen (vgl. Windrose 1947/48). Die Windrose 1947/48 zeigt eine wieder mehr nördlich gerichtete Resultierende (bis 29 Grad)! Es ist möglich, daß hierauf das in neuester Zeit wieder festgestellte Anwachsen der Hubertplate zurückzuführen ist. Jedoch scheint ein nur zweijähriger Beobachtungszeitraum zu kurz, um hieraus bereits bestimmte Schlußfolgerungen ziehen zu können. Abbildung 12 zeigt ferner noch die Veränderung der Windhäufigkeit mit der Zeit. Aufgetragen ist in diesem Falle jeweils das fünfjährige Mittel. Die Drehung der Resultierenden ist hiernach im wesentlichen der Abnahme der nördlichen Winde zugunsten der nordwestlichen und westlichen Winde zuzuschreiben.

Die Untersuchung ergibt, daß die Veränderung der Windverhältnisse mit den im Mündungsgebiet der Ems festgestellten Veränderungen durchaus parallel läuft. Die Vermutung, daß die jeweiligen meteorologischen Verhältnisse auf die Küstengestaltung von wesentlichem Einfluß sind, scheint daher berechtigt.

Erst nach Abschluß der vorliegenden Untersuchung dem Verfasser bekanntgewordene Arbeiten von A. LABRIJN (6) über das Klima der Niederlande während der letzten zweieinhalb Jahrhunderte und von VAN VEEN (8) über die herrschende Windrichtung in Amsterdam seit 1700 gestatten die Nachprüfung des Ergebnisses der Emdener Windbeobachtungen. Es darf angenommen werden, daß die Windverhältnisse in Holland im wesentlichen auch für das Emsmündungsgebiet zutreffen. Zumindest werden dort festgestellten Veränderungen der vorherrschenden Windrichtung gleichartige Veränderungen im Emsmündungsgebiet entsprechen.

A. LABRIJN untersucht die Entwicklung der Temperatur, des Niederschlags, der Windrichtung und des atmosphärischen Drucks in den letzten zweieinhalb Jahrhunderten. Hier interessieren in erster Linie seine Feststellungen über die Veränderung der Windrichtung. LABRIJN benutzt für seine Untersuchungen außer den Amsterdamer Beobachtungen (1700 bis 1936), die auch VAN VEEN wiedergibt, die Beobachtungsreihen (Windrichtung):

Bilderdam:	1708—1732
Zwanenburg:	1795—1839
Oude Wetering:	1816—1944
Utrecht de Bilt:	1849—1944
Den Helder:	1919—1942
Groningen:	1919—1942
Amsterdam:	1937—1944

Die einzelnen Beobachtungsreihen zeigen nach LABRIJN mit Ausnahme derjenigen von Oude Wetering (1816—1873) eine sehr zufriedenstellende Übereinstimmung. Die Ergebnisse dürfen daher als für ein größeres Gebiet — und damit auch für das Emsmündungsgebiet — gültige, von örtlichen Erscheinungen unabhängige Feststellungen gewertet werden.

LABRIJN stellt die aus den vorliegenden Beobachtungsreihen berechneten überlappenden Dreißigjahresmittel der Temperaturen, des Niederschlags und der mittleren Windrichtung in Abhängigkeit von der Zeit dar. Abbildung 13 a enthält die mittlere Windrichtung (Amsterdam) für einen Zeitraum von fast zweieinhalb Jahrhunderten (1715—1930). Der Schwankungsbereich der mittleren Windrichtung beträgt in dem genannten Zeitraum über 25 Grad. Und zwar ergibt sich vom Beobachtungsbeginn bis etwa 1790 ein Anstieg, d. h. eine Drehung im Uhrzeigersinn um etwa 20 Grad; von 1790 bis etwa 1870 ein Abfall, d. h. eine Drehung entgegen dem Uhrzeigersinn um etwa 18 Grad. Von 1870 bis etwa 1890 ist ein erneuter, wenn auch schwach ausgeprägter Anstieg von etwa 6 Grad festzustellen. Hierauf folgt bis in unsere Zeit wieder ein neuer Abfall der mittleren Windrichtung um etwa 20 Grad (= Drehung entgegen dem Uhrzeiger).

Daß es sich hierbei nicht um zufällige Rechnungsergebnisse, sondern um wirkliche Klimaschwankungen handelt, dafür sprechen die in gleicher Weise ausgewerteten Temperaturbeobachtungen (Abb. 13 b und 13 c). Sie lassen ähnliche Wendepunkte wie in Abbildung 13 a erkennen. Besonders markante und mit den Wendepunkten der Abbildung 13 a fast übereinstimmende Wendepunkte weist hierbei die Abbildung 13 b (Wintertemperaturen) auf. Weniger

deutlich und etwas verschoben sind sie dennoch in Abbildung 13 c (Sommertemperaturen) erkennbar. Es dürfte demnach wohl kein Zweifel darüber bestehen, daß echte Klimaschwankungen, deren Ursachen allerdings bisher noch ungeklärt sind, stattgefunden haben und noch andauern.

VAN VEEN stellt als Ergebnis seiner Untersuchung ebenfalls eine Drehung der Windrose entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn fest. Die Entwicklung im einzelnen, wie sie von LABRIJN aufgezeigt wird, kommt bei den von VAN VEEN gebildeten Fünfzigjahresmitteln (1700/1750 und 1890/1937) naturgemäß nicht zum Ausdruck.

Die holländischen Beobachtungen stellen somit eine wertvolle Ergänzung der Windbeobachtungen der Wetterwarte Emden (seit 1881) dar, zumal sie zweieinhalb Jahrhunderte zurückreichen und somit die Bildung überlappender Jahresmittel über längere Zeiträume gestatten.

Vergleicht man die Ergebnisse der Untersuchungen von LABRIJN und VAN VEEN mit den Beobachtungen über die Schwenkbewegungen der Seegaten im Emsmündungsgebiet, so ergibt sich eine unverkennbare Parallelität der Erscheinungen. Die Untersuchung über die Veränderungen im Emsmündungsgebiet seit etwa 1800 — die erste zuverlässige Seekarte (BEAUTEmps-BEAUPRÉ) datiert von 1813 — ergab in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine Schwenkung der Seegaten entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn von rund 20 Grad. Etwa ab 1870 kommt diese jedoch zum Stillstand und zeigt im Gegenteil eine rückläufige Bewegung, die bis Ende des Jahrhunderts anhält. Der Einfluß dieser rückläufigen Bewegung zeigt sich nicht nur in der Umlagerung der Außengaten (Westerems und Hubertgat), sondern beziehungsweise auch, bedingt durch die veränderte Strömungsrichtung, in der Querschnittsentwicklung des oberhalb gelegenen Randzel- und Dukegats, die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine deutliche Unterbrechung aufweist. Erst mit Beginn des 20. Jahrhunderts tritt eine neue Schwenkung der Seegaten wieder entgegen dem Uhrzeigersinn ein. Sie bewirkte gleichzeitig den endgültigen Durchbruch des Randzel- und des Dukegats und verhalf diesen damit zu ihrer heute vorherrschenden Stellung gegenüber der alten Ems bzw. der Pilsumer Fahrt.

Aus der Zeit vor 1800 liegen genauere Seekarten nicht vor. Aus Segelanweisungen, Berichten der Schifffahrt und anderen Urkunden (vgl. LANG [7]) lassen sich jedoch gewisse Rückschlüsse auf die Fahrwasserverhältnisse in früherer Zeit ziehen. Es scheint erwiesen, daß bis 1700 die Westerems von der Großschifffahrt unbestritten als Fahrwasser bevorzugt wurde, also wohl ausreichende Wassertiefen besaß. Mit Beginn des 18. Jahrhunderts verschlechterten sich jedoch offenbar die Fahrwasserverhältnisse in der Westerems.

In einem Bericht des Emdener Tonnenlegers aus dem Jahre 1731 wird bereits von einem neu aufgekommenen „Noorde Westergat“ sowie von einem „Drempel“ von nur 3 m Tiefe zwischen Geldsackplate und Hubertplate gesprochen. Die Westerems war demnach um diese Zeit weitgehend verflacht, während sich dafür das Noorde Westergat, vermutlich das heutige Riffgat, öffnete. Erst Ende des 18. Jahrhunderts gewann die Westerems wieder an Bedeutung. Dies geht aus einem Bericht des Jahres 1793 hervor, worin ausdrücklich betont wird, daß in der Westerems nirgends weniger als 3,5 Faden (= 6,3 m) Lotungstiefe angetroffen wird, eine Tiefe, die gegenüber den heutigen Verhältnissen in der Westerems zwar noch sehr gering ist, aber doch schon den Beginn einer neuen Austiefung zeigt.

Diese Mitteilungen lassen vermuten, daß im 18. Jahrhundert (bis etwa 1790) eine Klimaentwicklung, die der des 19. Jahrhunderts entgegengesetzt war, stattgefunden hat. Tatsächlich zeigen die Abbildungen 13 a—13 c (LABRIJN) einen Wendepunkt des Klimaverlaufs um 1790.

Auch für die Zeit vor 1790 scheint demnach eine Parallelität zwischen Klimaveränderung (hier Windrichtung) und den Veränderungen im Mündungsgebiet der Westerems feststellbar zu sein. Die Vermutung einer Abhängigkeit der jeweiligen Küstenformen von der vorherrschenden Windrichtung scheint sich demnach auch aus den Untersuchungsergebnissen der Arbeit von LABRIJN zu bestätigen.

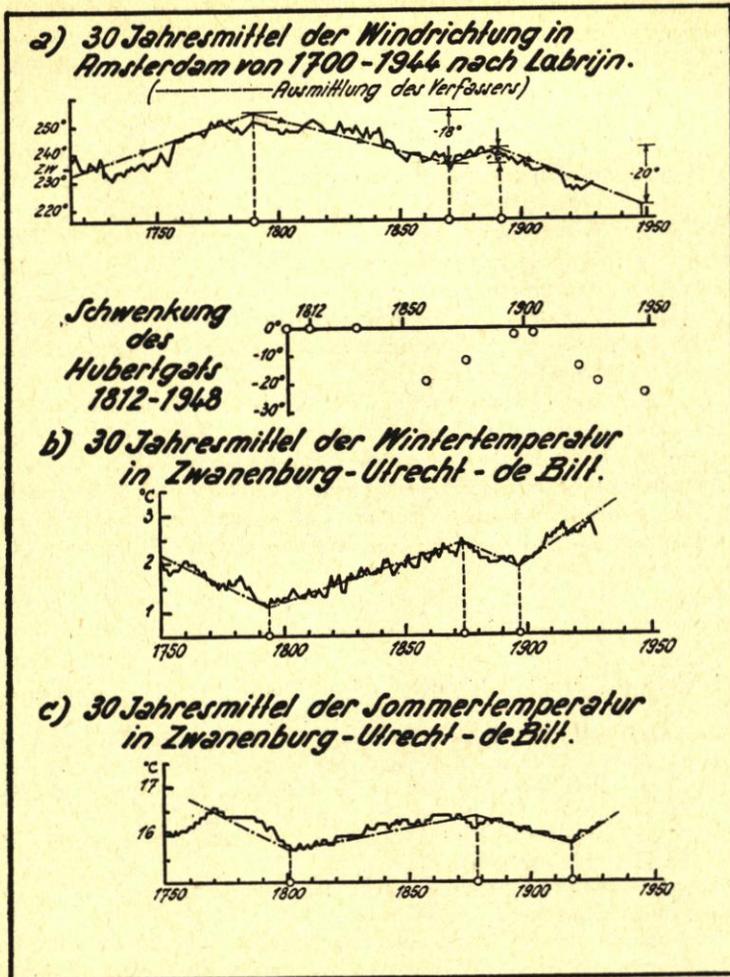


Abb. 13. Schwenkung des Hubertgats im Vergleich mit der Änderung der Windrichtung (nach Labrijn)

### Zusammenfassung

Fassen wir nochmals die möglichen Ursachen für die Schwenkung der Ems-Mündungen sowie die vermutlich infolge der Schwenkung aufgetretenen Änderungen im Stromsystem der Außen-Ems seit 1833 zusammen, so müssen die von JESSEN und ISBARY aufgestellten Theorien als für die Ems nicht zutreffend (jedenfalls für die Vorgänge seit 1833) ausgeschieden werden. Es bleibt somit lediglich die Ost-West gerichtete Sandwanderung sowie die Änderung der meteorologischen Bedingungen. Wenn auch der Sandwanderung ein gewisser Einfluß auf die jeweiligen Verhältnisse im Mündungsgebiet einzuräumen ist, konnte doch nachgewiesen werden, daß sie die Vorgänge im Emsgebiet nicht allein ausreichend erklärt. Es bleibt daher nur die Annahme übrig, daß die Veränderung der meteorologischen Bedingungen von maßgebendem Einfluß auf die Gestaltung der Seegaten gewesen ist. Eins scheint jedenfalls sicher, daß nämlich die Ursache, die die Verlegung bewirkt hat, nicht im System der Ems selbst, sondern außerhalb dieser liegen muß. Das Durchsetzen der Gaten gegenüber dem alten Ems-

lauf (Mäanderbögen) ist daher kaum auf Veränderung der Strömungsverhältnisse im Emsgebiet selbst, keinesfalls aber auf künstliche Eingriffe (Durchbaggerung des Ostfriesischen Gatje 1899—1901), sondern auf außerhalb dieses Gebietes vorhandene Kräfte zurückzuführen. Die treibenden Kräfte haben von außerhalb beginnend den Emslauf umgestaltet und ihm die heutige Form gegeben. Die Umbildung der Platen war hierbei, wie nachgewiesen werden konnte, nur die natürliche Folge der Veränderungen in den Strömungsverhältnissen.

Was nun die voraussichtliche zukünftige Entwicklung anbelangt, darf angenommen werden, daß sich, solange sich die meteorologischen Bedingungen nicht wesentlich ändern — irgendwelche Anzeichen hierfür liegen bisher nicht vor — die eingeleitete Entwicklung, d. h. das Durchsetzen der Gaten gegenüber den Bögen, fortsetzen wird. Hierbei sind zeitweise Rückschläge entsprechend den wechselnden meteorologischen Verhältnissen durchaus möglich. Eine Rückkehr der alten Verhältnisse, d. h. eine Wiederherstellung der alten Fahrt (Alte Ems, Pilsumer Fahrt und Bucht von Watum), scheint nach Lage der Dinge jedoch ausgeschlossen. Dazu ist die Entwicklung zu weit fortgeschritten.

Eine besondere Beachtung verdient noch die Insel Rottum. Sie ist in ihrer Westostwanderung der Westerems bereits bedenklich nahegerückt. Bei weiterem Vorrücken, und damit ist zu rechnen, wird sie eines Tages die Westerems erreicht haben. Vermutlich wird sie dann an ihrer Ostseite von dieser abgetragen werden. Gleichzeitig wird die zunehmende Verengung des Abflußquerschnittes zwischen Borkum und Rottum wahrscheinlich zu einer Vertiefung des Gats vor Borkum und damit zu einer Gefährdung der Westseite Borkums führen.

#### Schriftenverzeichnis

1. GAYE, J. und WALTHER, Fr.: Die Wanderung der Sandriffe vor den ostfriesischen Inseln. Die Bautechnik Bd. 13, H. 41, S. 555—567. Berlin 1935.
2. GAYE, J.: Wasserstandsänderungen in der Nord- und Ostsee. (Unveröffentlichter Vortrag, Bremen 1949, Manuskript im Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Kiel.)
3. ISBARY, G.: Das Inselgebiet von Ameland bis Rottumeroog. Morphologie und Hydrographie. Archiv d. Deutschen Seewarte, Bd. 56, H. 3, S. 1—55. Hamburg 1936.
4. JANSSEN, Th.: Die neuere Entwicklung des Seegebietes vor Borkum. Abhandl. Nat. Ver. Bremen, Bd. 30, H. 1/2, S. 253—261. Bremen 1937.
5. JESSEN, O.: Die Verlegung der Flußmündungen und der Gezeitentiefs an der festländischen deutschen Nordseeküste in jungalluvialer Zeit. S. 181. Stuttgart 1932.
6. LABRIJN, A.: Het klimaat van Nederland gedurende de laatste twee en een halve eeuw. Koninkl. Nederl. Meteorologisch Instituut Nr. 102. Mededeelingen en Verhandlingen. 1949.
7. LANG, A.: Untersuchung zur morphologischen Entwicklung des Emsmündungstrichters von der Mitte des 16. Jahrhunderts bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts. (Unveröffentlicht, Manuskript im Wasser- und Schifffahrtsamt Emden.)
8. VAN VEEN, J.: Is de heersche Windrichting te Amsterdam sedert 1700 gekrompen? Tijdschr. van het Kon. Nederl. Aardr. Genootsch. S. 704. Amsterdam 1940.
9. VAN VEEN, J.: Eb- en vloed-schaar systemen in de Nederlandsche getijwateren. Waddensymposium S. 43—65. 1950.
10. WAGNER, A.: Klimaänderungen und Klimaschwankungen. Braunschweig 1940.
11. WILDVANG, D.: Der Einbruch der Nordsee in das Mündungsgebiet der Ems. Abhandl. Nat. Ver. Bremen, Bd. 30, H. 1/2, S. 33—53. Bremen 1937.
12. Atlas Niedersachsen, Deutscher Planungsatlas Bd. 2. Veröff. d. Niedersächs. Amtes f. Landesplanung u. Statistik, Reihe K, Band 9. Bremen 1950.

# 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, Tümmmlauer 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.

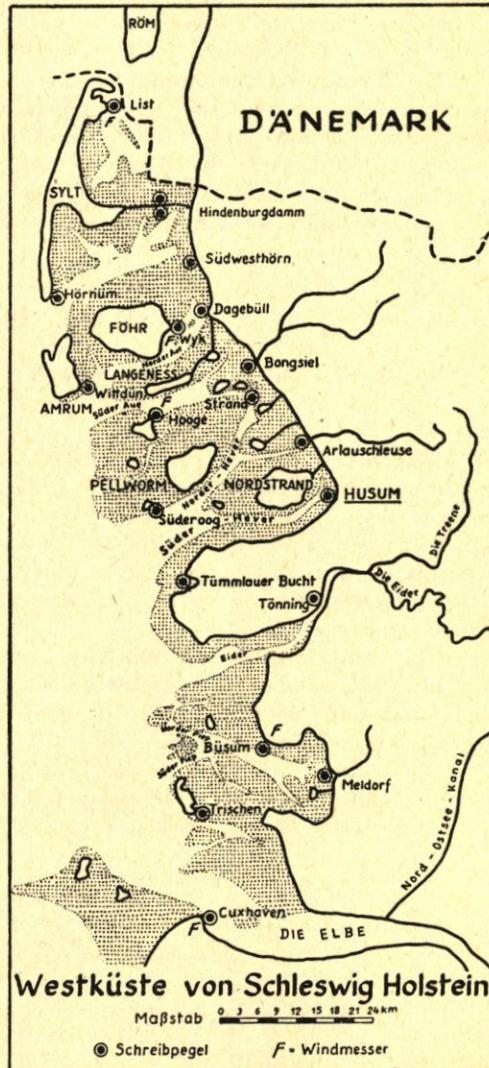


Abb. 1. Übersichtsplan mit der Lage der Schreibpegel und Windmesser

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
$\Delta$	= Unterschied	MSp.NW	= mittleres Springniedrigwasser
$\Sigma$	= 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.

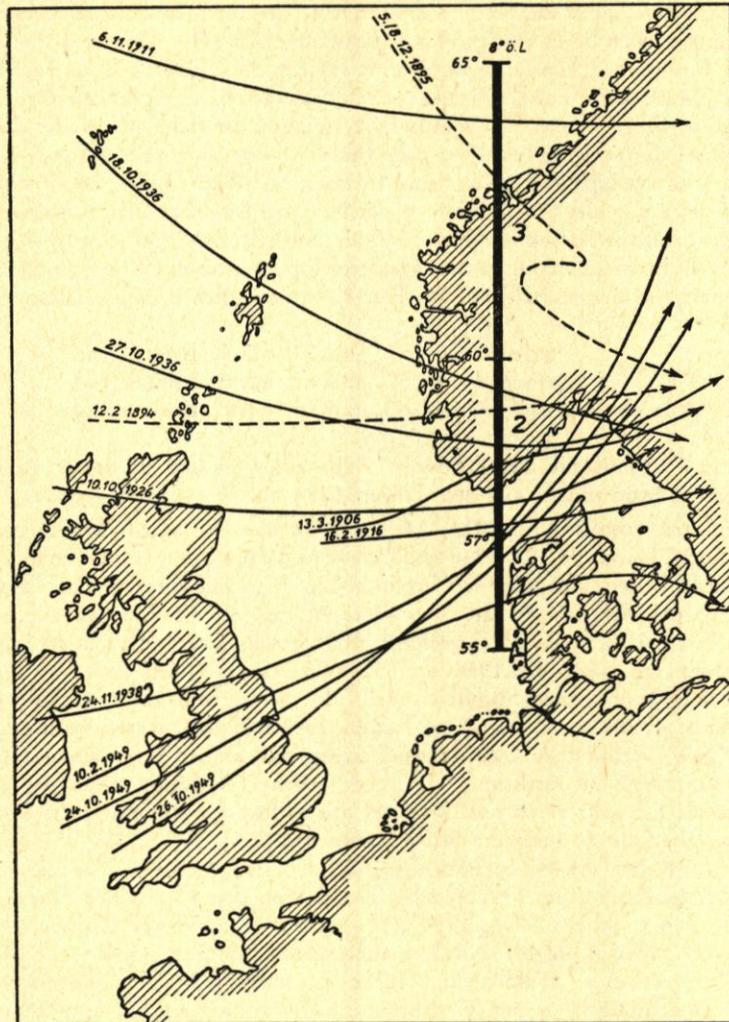


Abb. 2. Zugbahnen der Sturmtiefs

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 Hafenuferdeich 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 Hefigkeit 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 Hefigkeit 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.

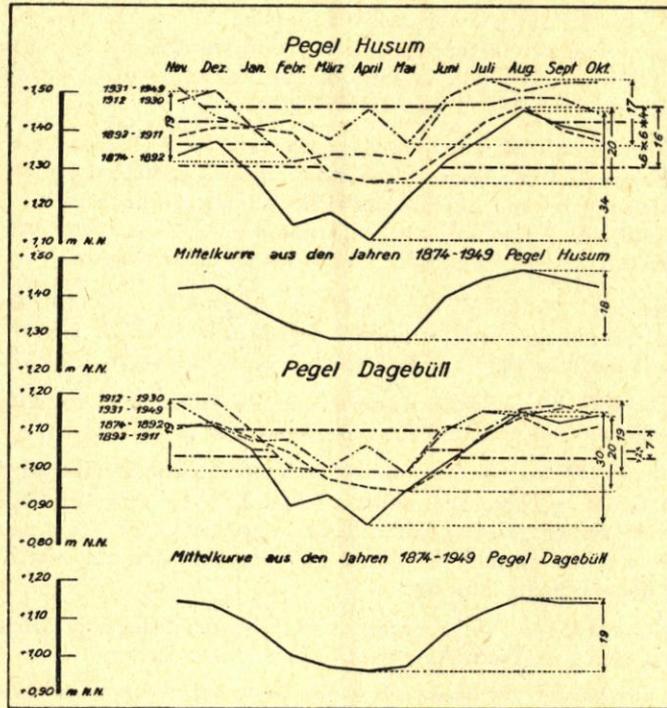


Abb. 3. Mittlere Monatshochwasserstände

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  $124 \cdot 0,28 =$  rund 35 cm gestiegen sein. Hiernach würde das GHW 1825 in Husum  $1,45 - 0,35 = 1,10$  m NN betragen haben. Der angegebene Sturmflutwasserstand von 14 Fuß über GHW würde demnach entsprechen:

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

bei Hamburger Fuß:  $1,10 + 4,01 = 5,11$  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  $1,25 \cdot 0,314 = 39$  cm = 33 cm/100 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  $5,45 - 4,39 = 1,06$  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  $1,06 + 3,77 = 4,83$  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  $1,07 + 4,08 = 5,15$  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  $1,23 - 0,37 = 0,86$  m NN angenommen werden, so daß sich das HHW nach Abzug des Wellenauflaufes von 7 Fuß errechnet zu  $13 \cdot 0,314 = 4,08 + 0,86 = 4,94$  m NN.

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

In Wyk/Föhr errechnet sich die Sturmfluthöhe 1825, wenn das GHW zu  $1,23 - 0,39 = 0,84$  m NN angenommen wird, zu  $3,60 + 0,84 = 4,44$  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<sup>h</sup> bis 7<sup>h</sup> 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.

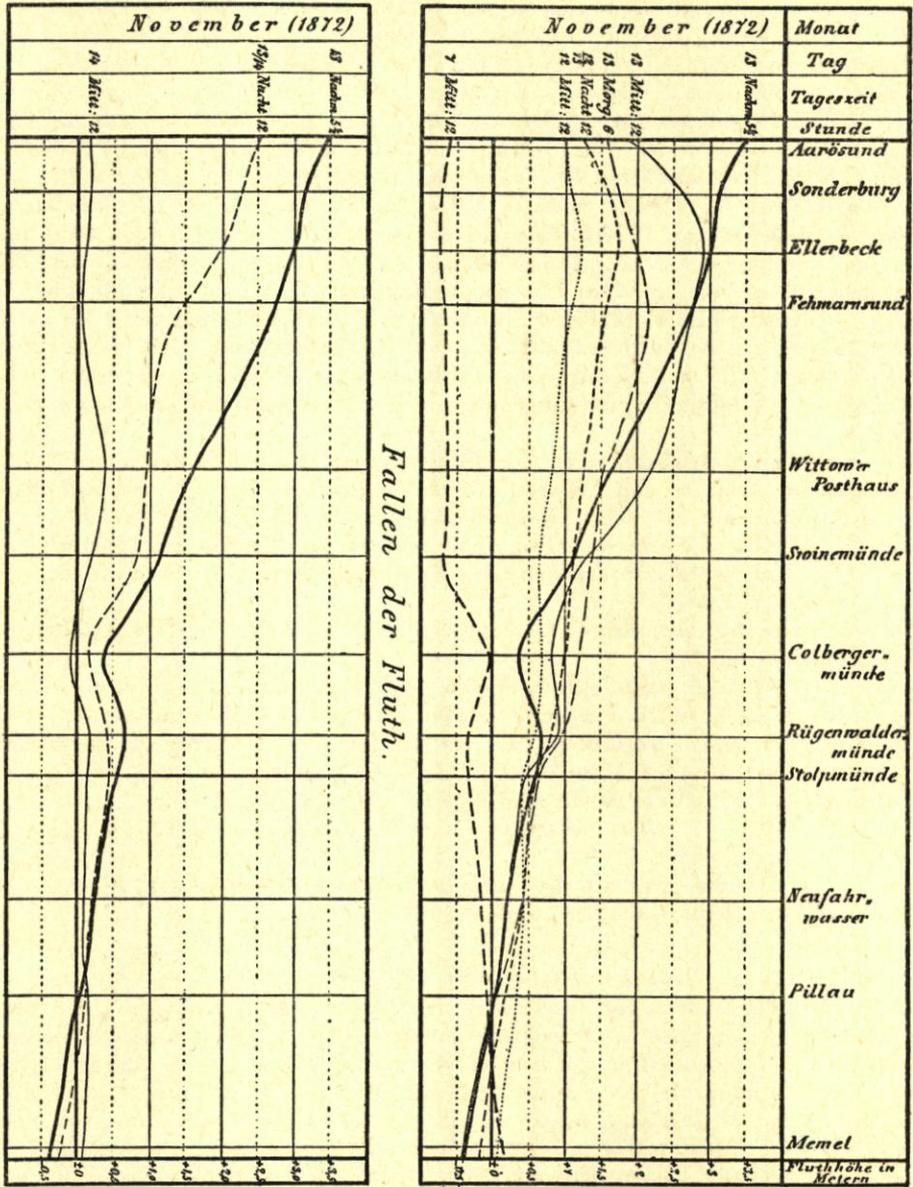


Abb. 4a. Sturmflut am 12./13. November 1872 in der Ostsee  
Zeitliche und örtliche Entwicklung (dargestellt nach Baensch)

Die Scheitelwasserstände zu den verschiedenen Beobachtungszeiten von 12<sup>h</sup> bis 17<sup>h</sup>30' 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.

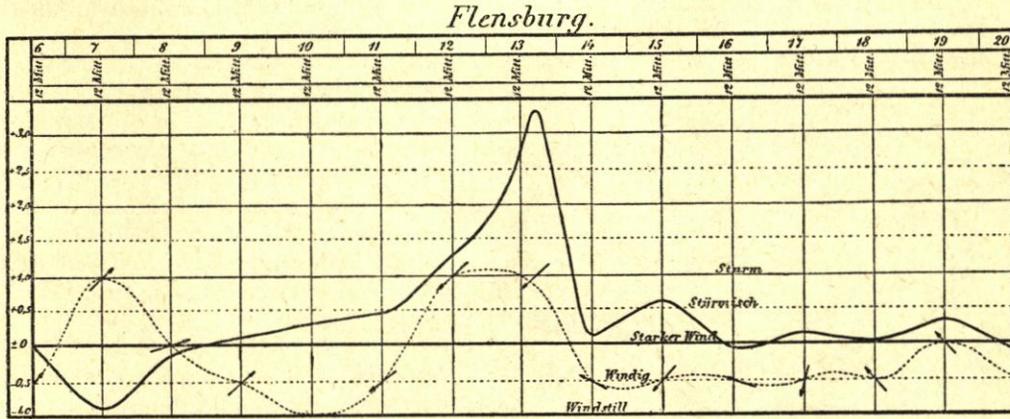


Abb. 4b. Sturmflut am 12./13. November 1872 in der Ostsee  
Wasserstände und Windintensität in Flensburg (dargestellt nach Baensch)

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.

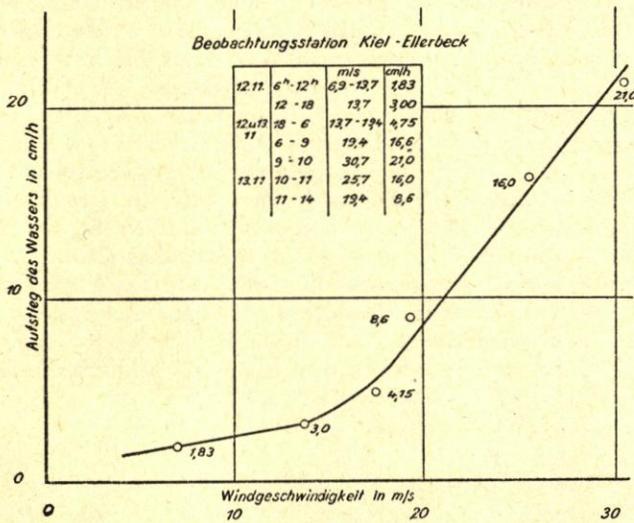


Abb. 5. Sturmflut am 12./13. November 1872 in der Ostsee  
Steiggeschwindigkeiten

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

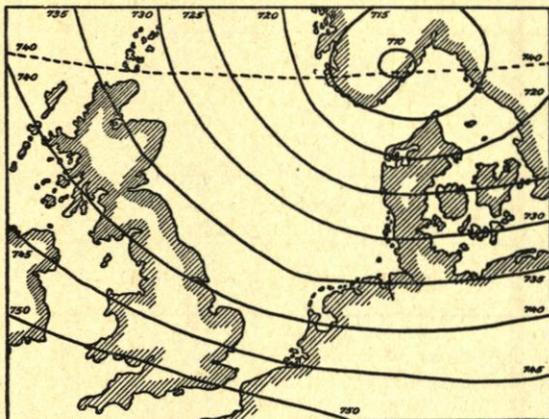


Abb. 6. Wetterkarte 12. Februar 1894, 8h  
(Isobaren in mm)

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<sup>h</sup> bedeutend höher auflief als das erste, war dies in Husum umgekehrt. Husum meldet am 12. 2. um 6<sup>h</sup>20' 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 vorausgerechneten 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

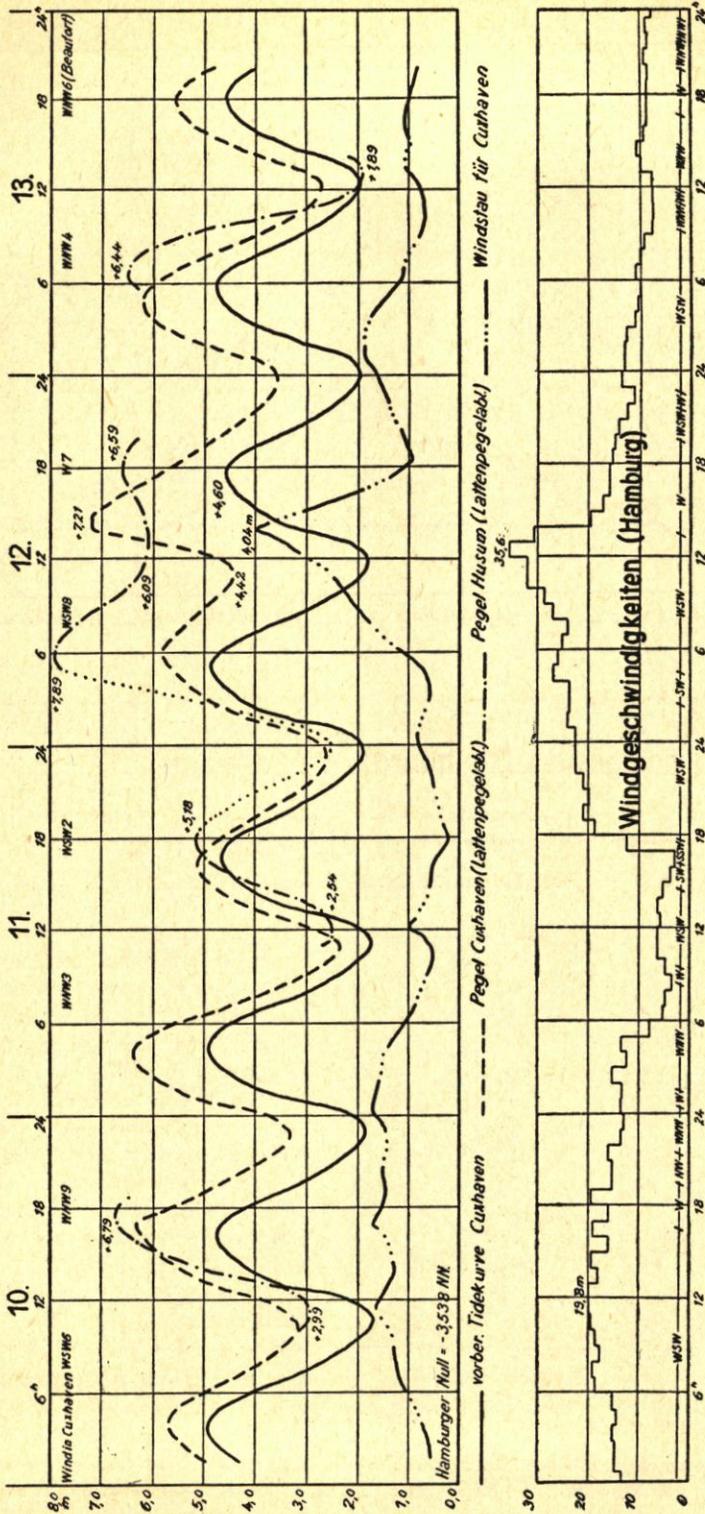


Abb. 7. Sturmflut vom 10. bis 13. Februar 1894 (nach Nehls)  
(Windgeschwindigkeit in m/s)

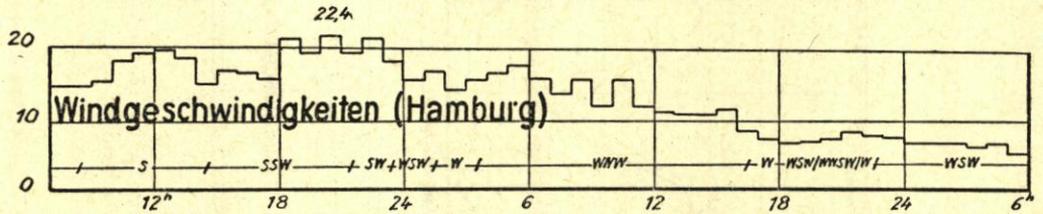
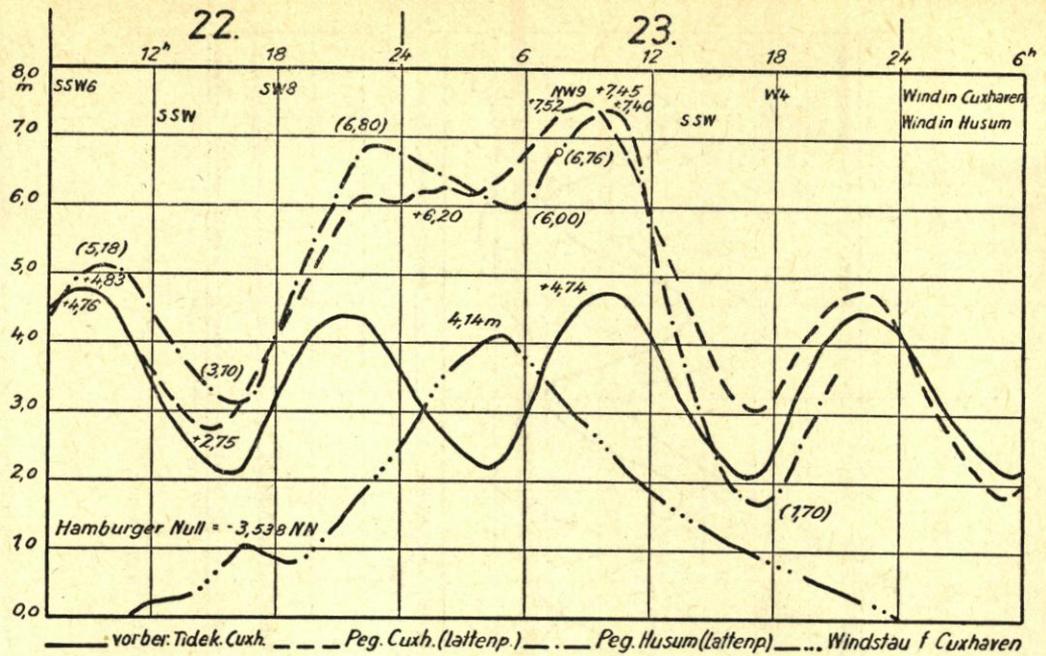


Abb. 8. Sturmflut am 22./23. Dezember 1894 (nach Nehls)

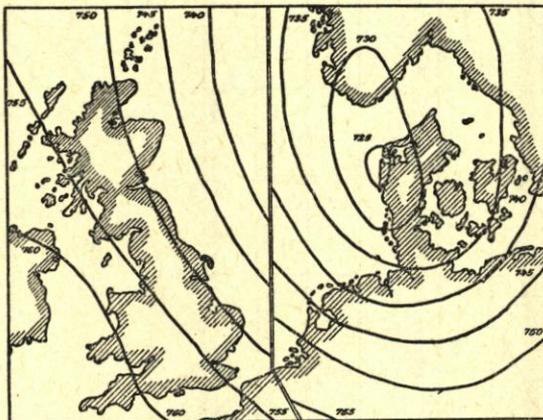


Abb. 9. Wetterkarte 22. Dezember 1894, 20<sup>h</sup>  
(Isobaren in mm)

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<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> am 22. 12. bis 12<sup>h</sup>30' 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:

- Die Tidewirkung ist bei stark angestautem Wasserspiegel und gleichbleibendem Wind abgeschwächt.
- 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.

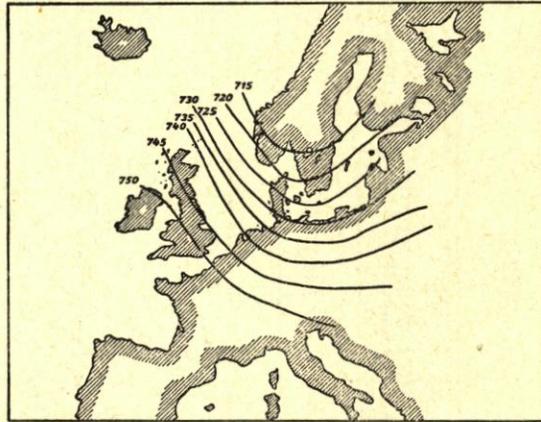


Abb. 10. Wetterkarte 7. Dezember 1895, 8<sup>h</sup>  
(Isobaren in mm)

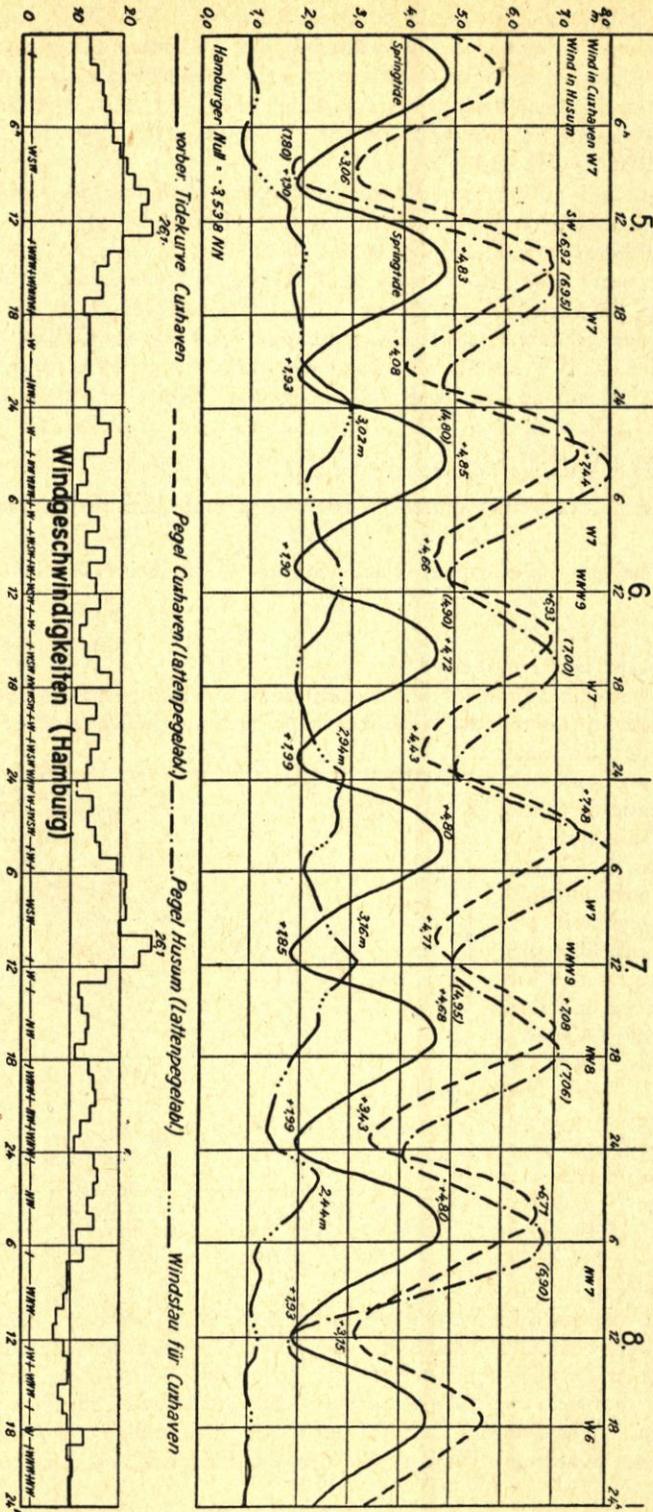


Abb. 11. Sturmflut vom 5. bis 8. Dezember 1895 (nach Nehls)  
(Windgeschwindigkeit in m/s)

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



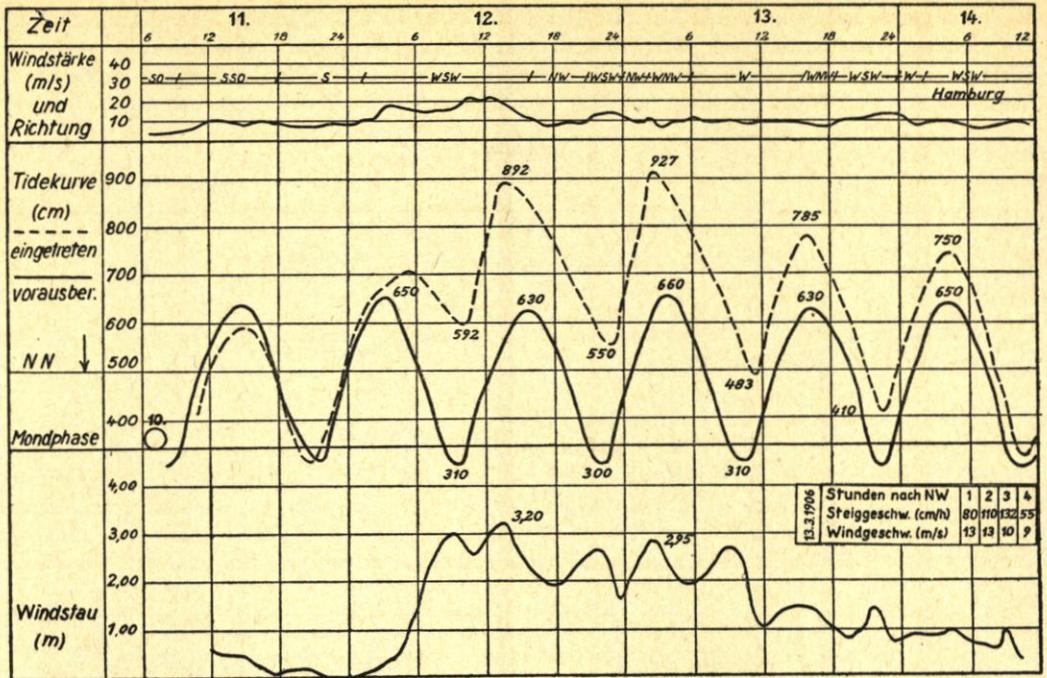


Abb. 14. Sturmflut am 13. März 1906. Pegelstation Husum

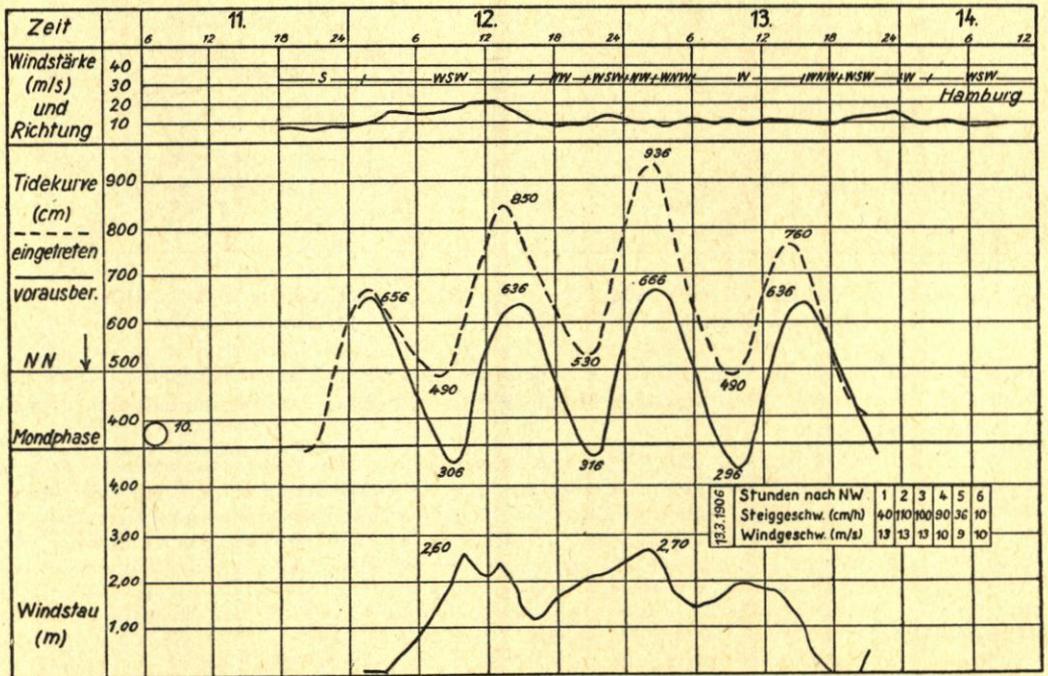


Abb. 15. Sturmflut am 13. März 1906. Pegelstation Cuxhaven

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

	11. 3.				12. 3.				13. 3.			
	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

	5. 11.				6. 11.				7. 11.			
	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<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> SSW 8—9 und um 21<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> West 11, um 14<sup>h</sup> W 11 und um 20<sup>h</sup> 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).

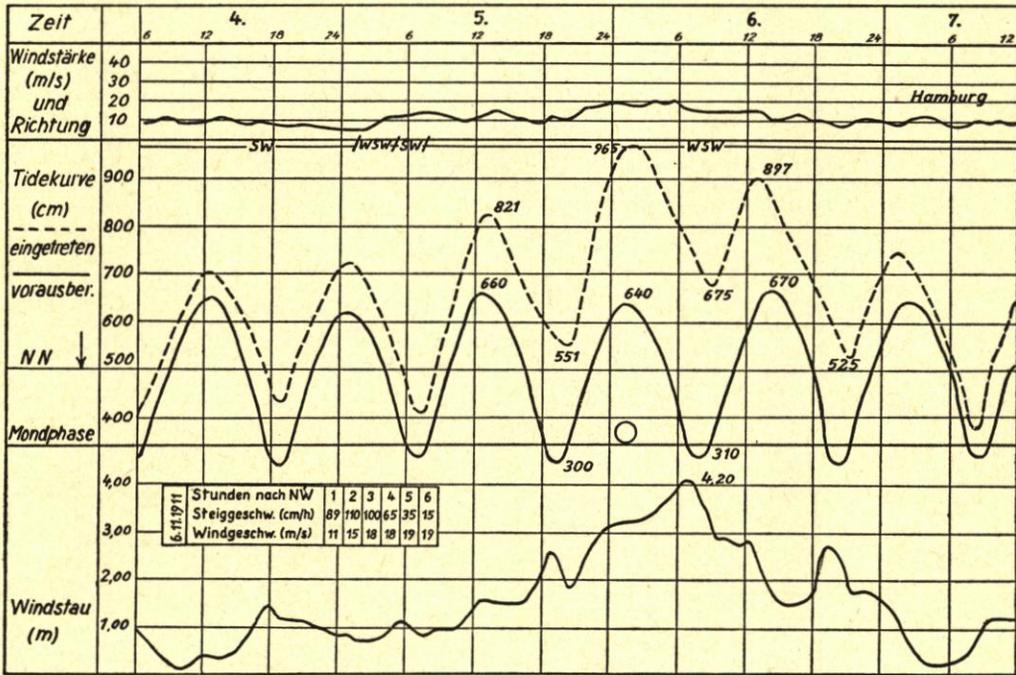


Abb. 16. Sturmflut am 5./6. November 1911. Pegelstation Husum

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).

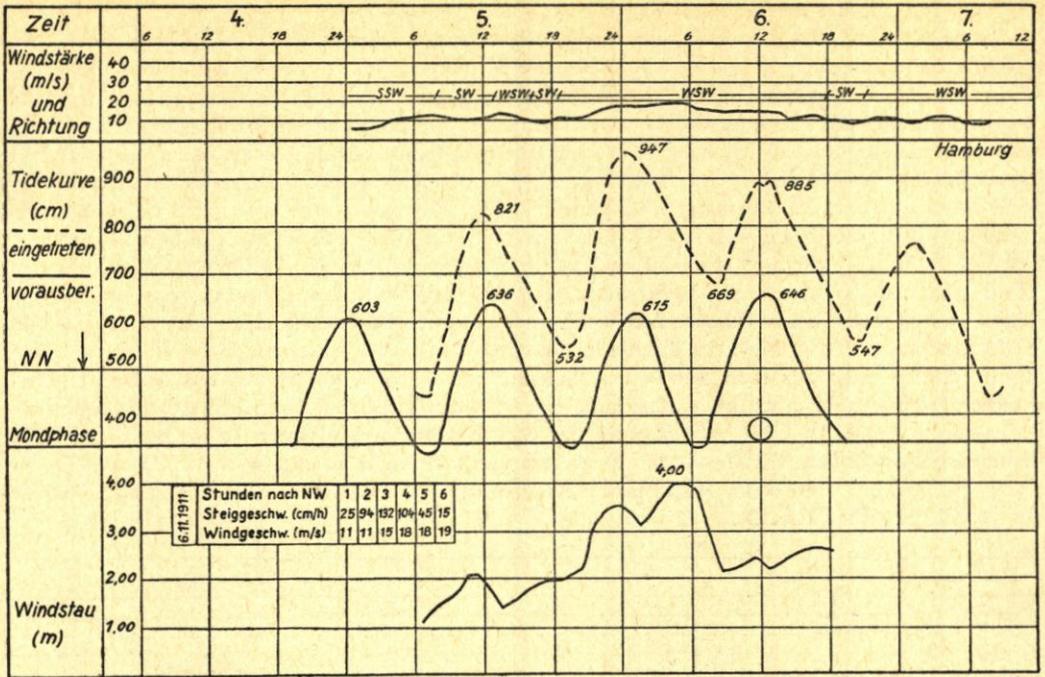


Abb. 17. Sturmflut am 6. November 1911. Pegelstation Tönning

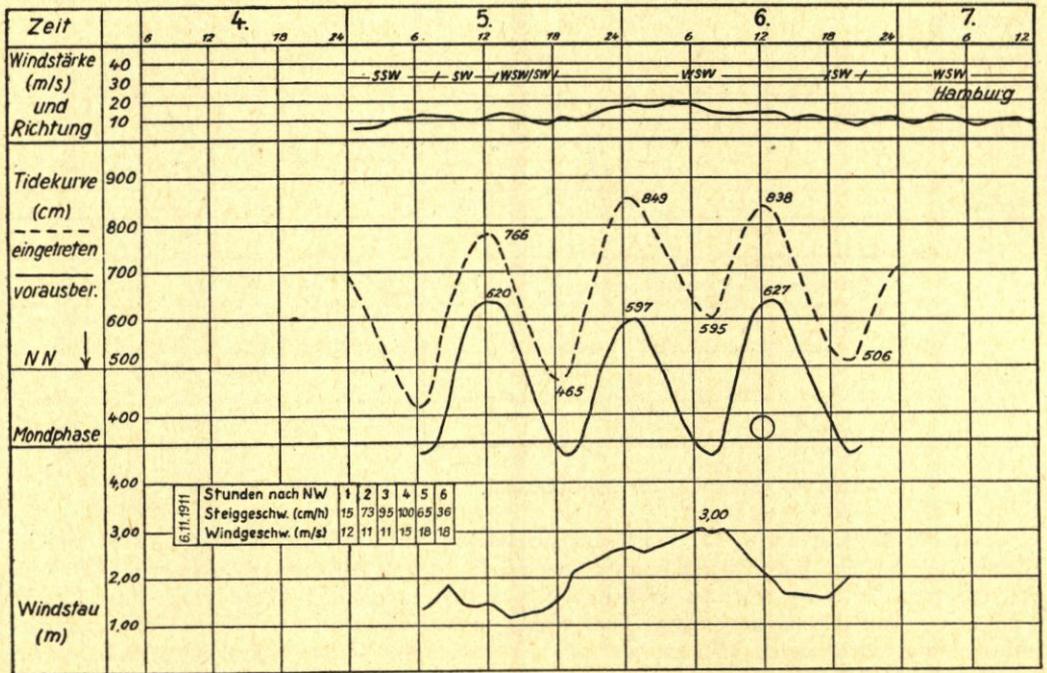


Abb. 18. Sturmflut am 6. November 1911. Pegelstation Cuxhaven

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).

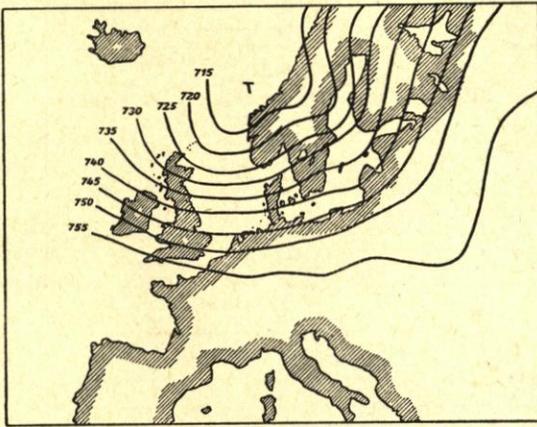


Abb. 19. Wetterkarte 5. November 1911, 20h  
(Isobaren in mm)

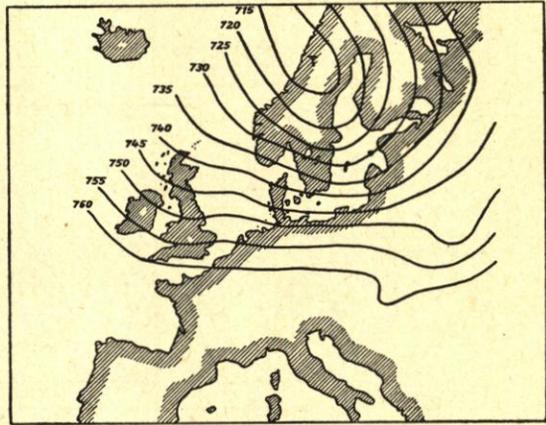


Abb. 20. Wetterkarte 6. November 1911, 8h  
(Isobaren in mm)

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 Tidedestieg 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-

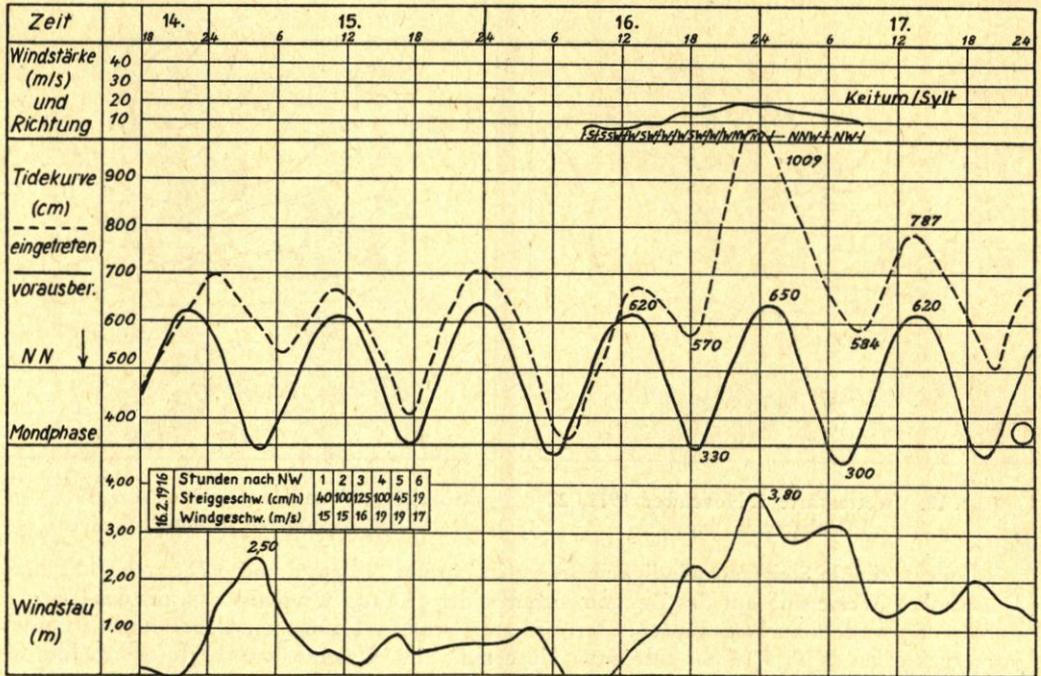


Abb. 21. Sturmflut am 16. Februar 1916. Pegelstation Husum

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<sup>h</sup> ab, d. h. in Husum etwa zwei Stunden vor Eintritt der Flut, 10—15 m/s erreichte.

Um 13<sup>h</sup>30' 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<sup>h</sup>45' 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<sup>h</sup>40' = 680 cm a. P.) ist das Wasser bis 23<sup>h</sup>45' 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,

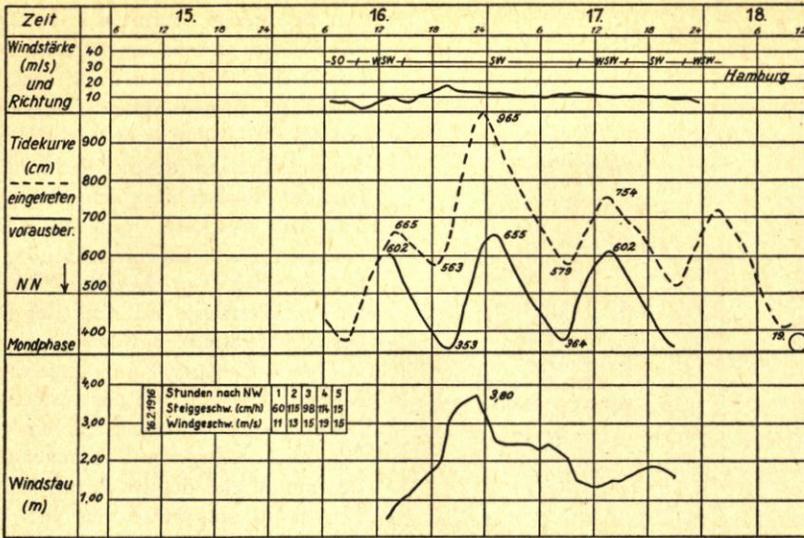


Abb. 22. Sturmflut am 16. Februar 1916. Pegelstation Tönning

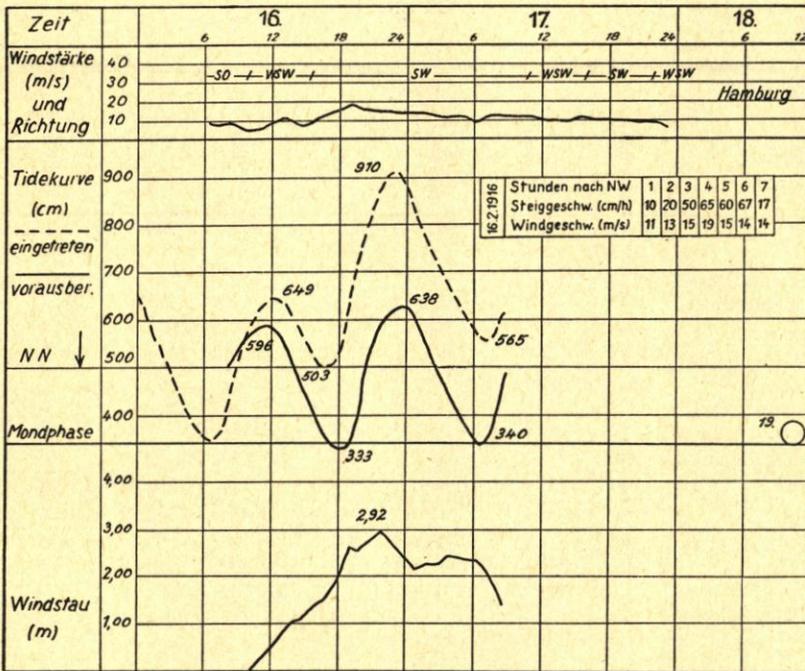


Abb. 23. Sturmflut am 16. Februar 1916. Pegelstation Cuxhaven

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<sup>h</sup>30'—0<sup>h</sup>30') noch anhielt und keine große Ebbe eintreten ließ.

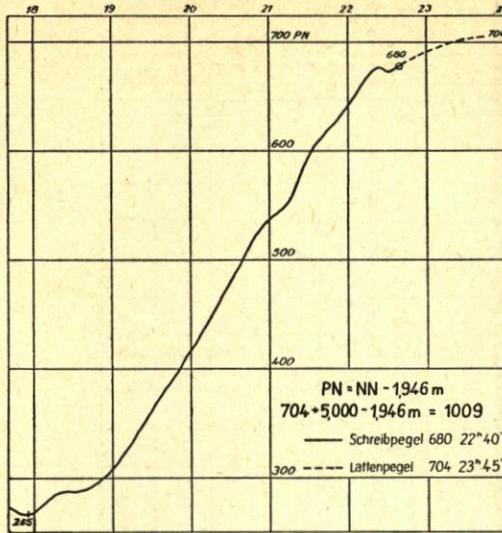


Abb. 24. Original-Sturmflutkurve vom 16. Februar 1916. Pegel Husum

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 vorausberechnetem 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.	4½ Std.	4½ Std.	4 Std.	4½ 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<sup>h</sup> bis 23<sup>h</sup> Windstärke 9—11.  
 Tönning: Von 20<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> bis 22<sup>h</sup> 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.

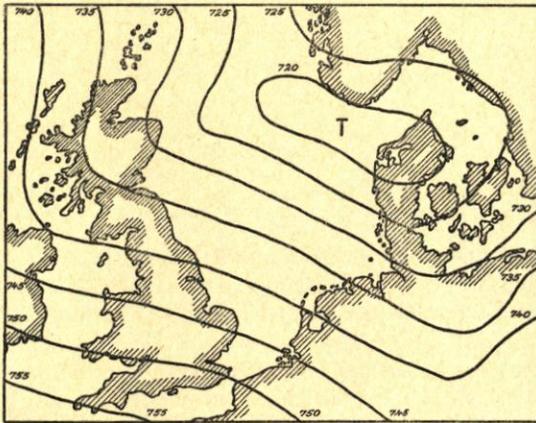


Abb. 25. Wetterkarte 16. Februar 1916, 19<sup>h</sup>  
(Isobaren in mm)

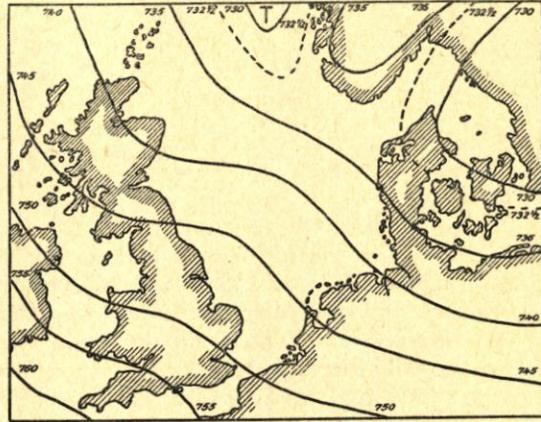


Abb. 26. Wetterkarte 17. Februar 1916, 8<sup>h</sup>  
(Isobaren in mm)

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<sup>h</sup> 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.

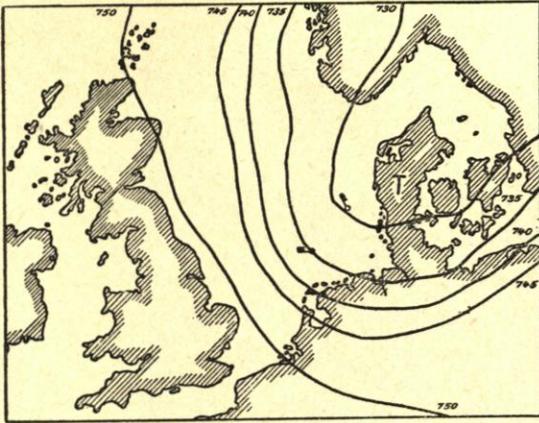


Abb. 27. Wetterkarte 10. Oktober 1926, 8h (Isobaren in mm)

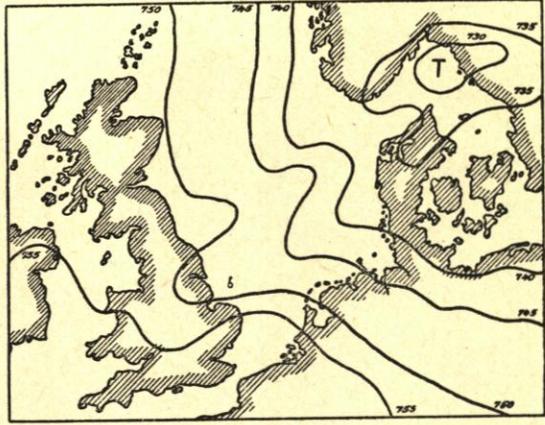


Abb. 28. Wetterkarte 12. Oktober 1926, 20h (Isobaren in mm)

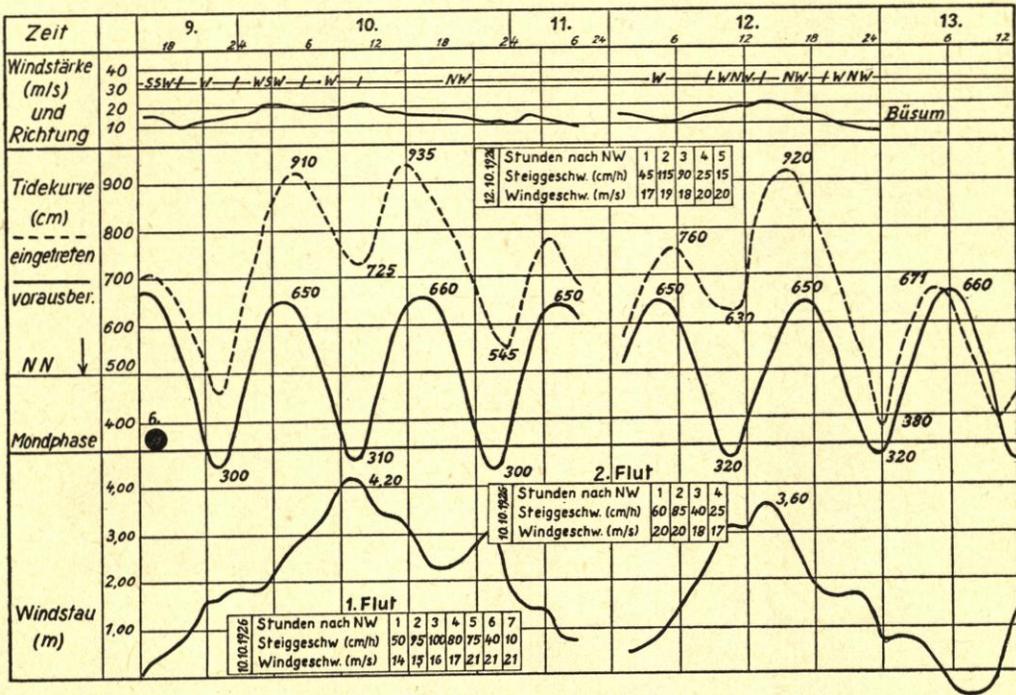


Abb. 29. Sturmflut am 10./12. Oktober 1926. Pegelstation Husum

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

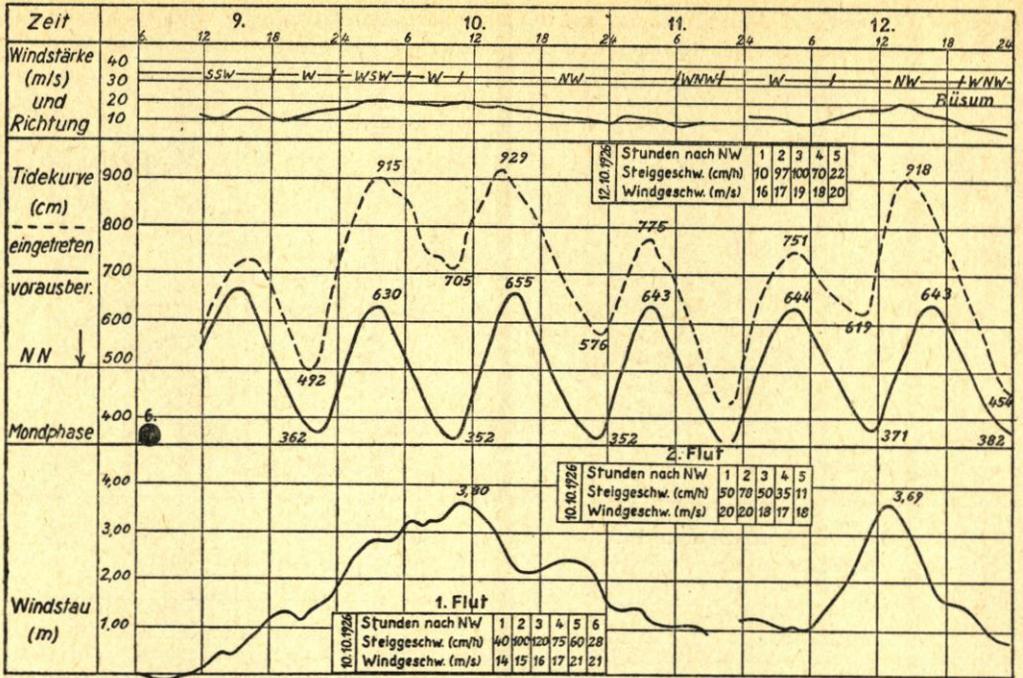


Abb. 30. Sturmflut am 10./12. Oktober 1926. Pegelstation Tönning

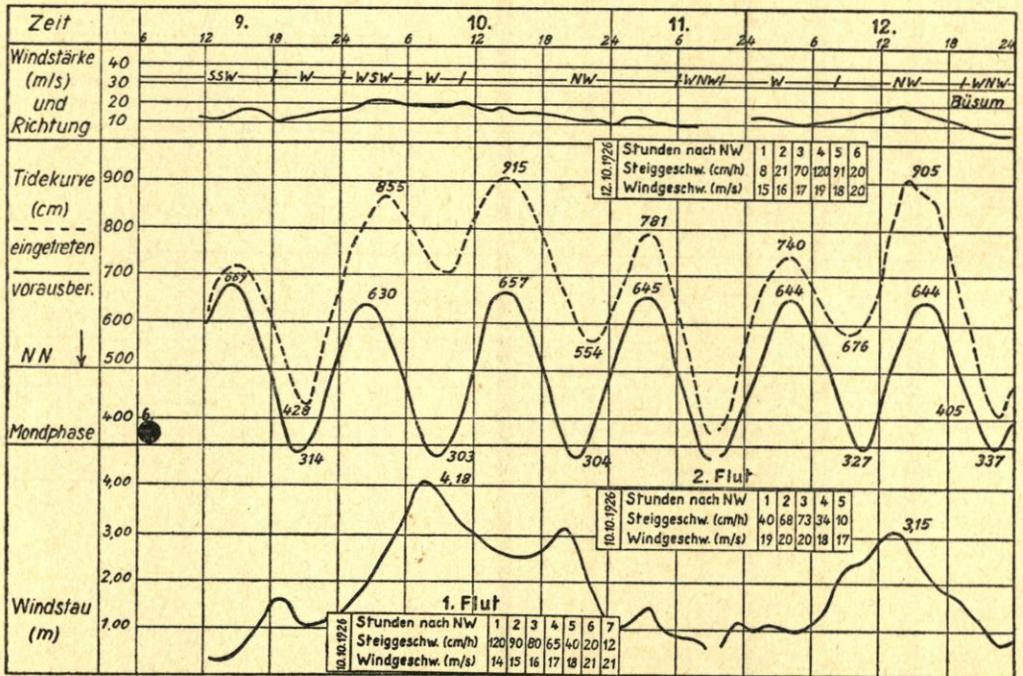


Abb. 31. Sturmflut am 10./12. Oktober 1926. Pegelstation Büsum

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	586	655	650	620	643	644	646	574
Zeit (vorausb.)	3h56'	4h26'	3h55'	3h00'	3h20'	1h25'	16h34'	16h00'	16h00'	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 Tiestieg 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

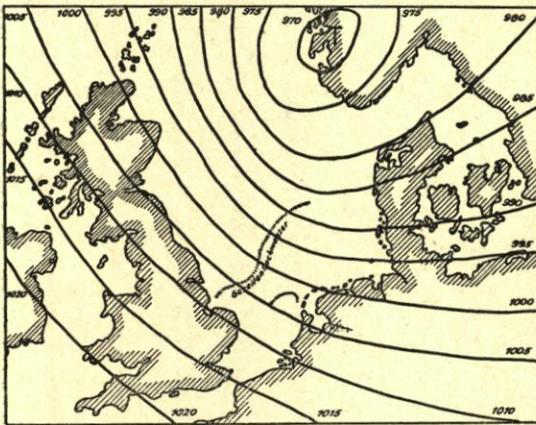


Abb. 32. Wetterkarte 18. Oktober 1936, 8<sup>h</sup>  
(Isobaren in mb)

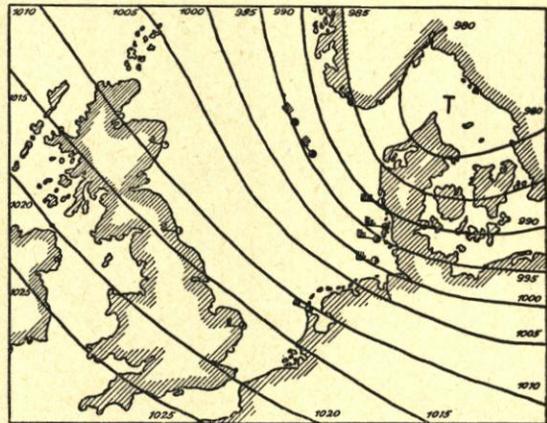


Abb. 33. Wetterkarte 18. Oktober 1936, 14<sup>h</sup>  
(Isobaren in mb)

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 8<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> und 12<sup>h</sup>, wobei Böen mit 33 m/s um 14<sup>h</sup>15' 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).

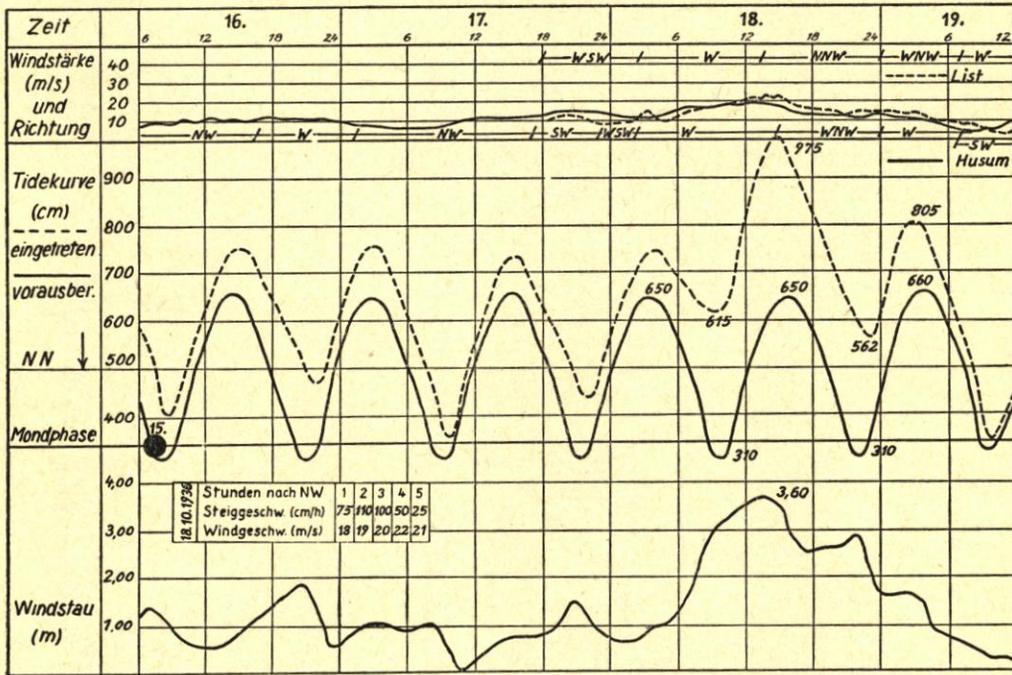


Abb. 34. Sturmflut am 18. Oktober 1936. Pegelstation Husum

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.)	15h41'	16h08'	15h18'	15h37'	15h15'	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
Zeit (eingetr.)	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	7 W	7 W	7 W	7 W	7 W	7 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<sup>h</sup> 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<sup>h</sup>), so daß zur HW-Zeit der Gestirnsflut (10<sup>h</sup>) noch nicht die größte Windwirkung eingesetzt hatte.

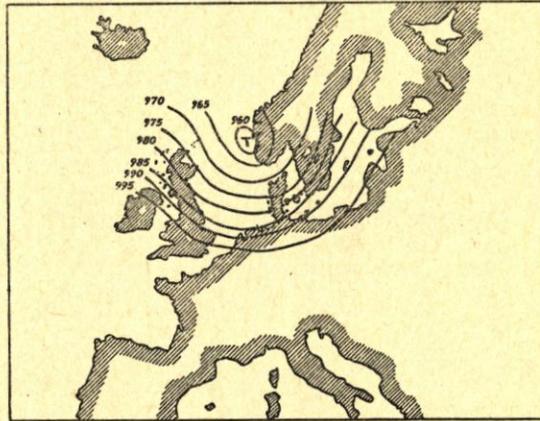


Tabelle 9  
Sturmflut am 27. Oktober 1936

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	590	600	616	623	600	617	638	623	624	642	640	635	650	610	610
	10h55'	11h31'	11h04'	10h51'	10h31'	11h50'	11h43'	10h50'	11h26'	11h04'	10h50'	10h45'	10h00'	10h00'	8h45'	8h45'
HW (eingetr.) Zeit (eingetr.)	975	826	844	850	874	856	908	930	900	900	938	950	906	861	867	786
	11h30'	11h25'	11h30'	11h15'	11h00'	12h00'	13h15'	11h15'	12h00'	11h30'	12h15'	10h30'	10h40'	10h30'	10h44'	10h10'
Windstrau bei vorausberedn. HW (cm)	310	240	250	220	240	260	240	310	280	280	270	280	220	210	160	
Max. Wind- stau (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 W	8 W	8 W	8 W	8 W
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.	6 Std.	6 Std.	6 Std.	6 Std.

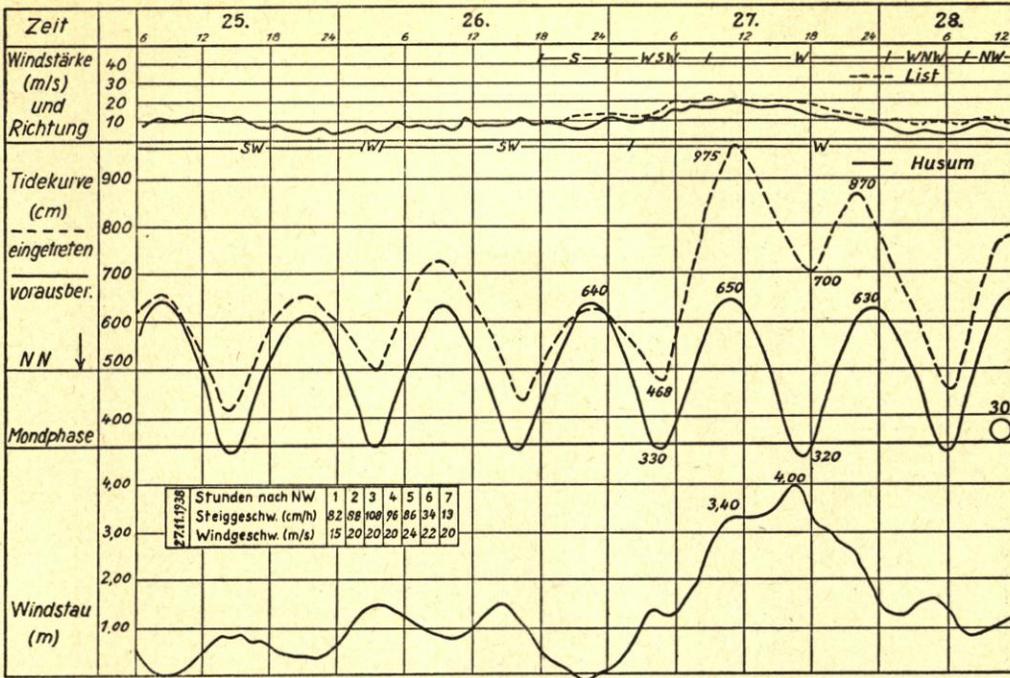


Abb. 36. Sturmflut am 27. Oktober 1936. Pegelstation Husum

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<sup>h</sup> bei Süd zu West auf 18 m/s im Mittel mit Böen von 23 m/s aufzufrischen. Das Maximum wurde gegen 24<sup>h</sup> bei Westsüdwestrichtung mit 22 m/s im Mittel und 27 m/s in Böen erreicht (Abb. 38).

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

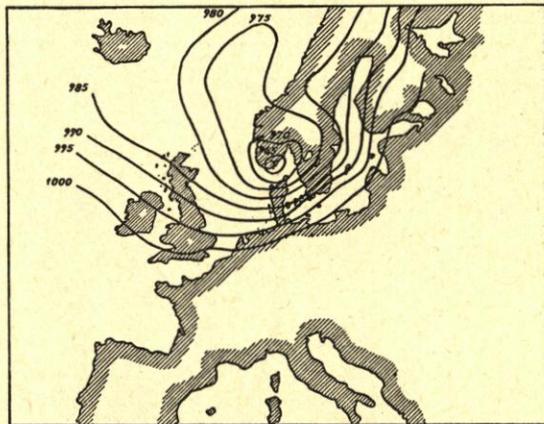


Abb. 37. Wetterkarte 24. November 1938 (Isobaren in mb)

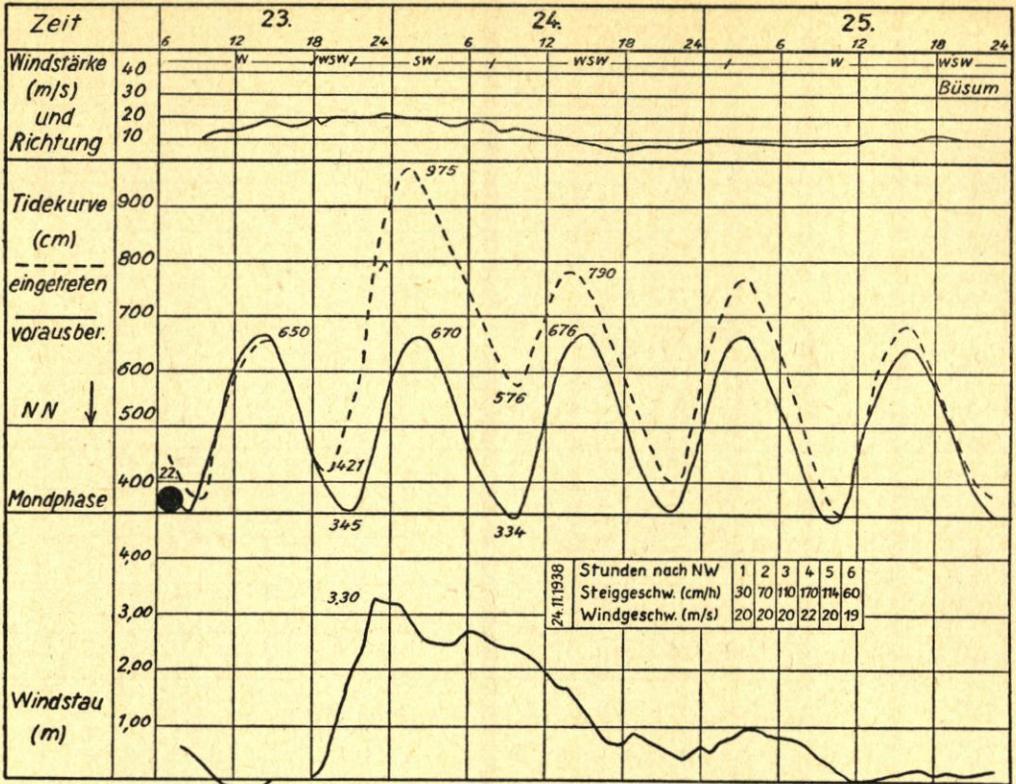


Abb. 38. Sturmflut am 24. November 1938. Pegelstation Tönning

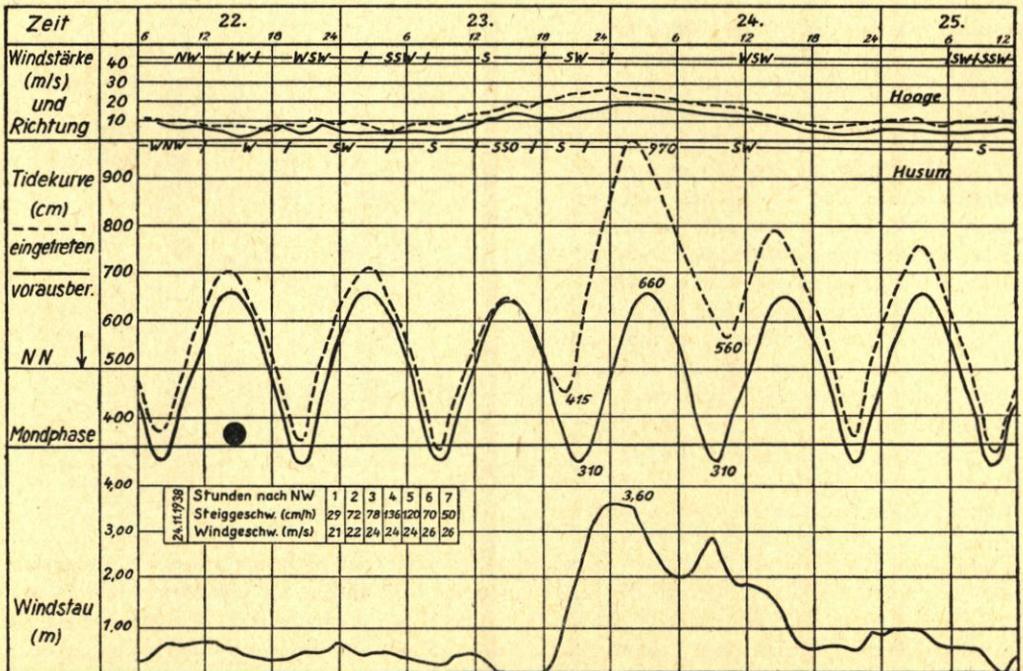


Abb. 39. Sturmflut am 24. November 1938. Pegelstation Husum

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<sup>h</sup> eintreten läßt. Aber bereits das folgende NW ist rund 1,0 m erhöht, obgleich noch bis 17<sup>h</sup> bzw. 18<sup>h</sup> 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 Tidenstieg 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.

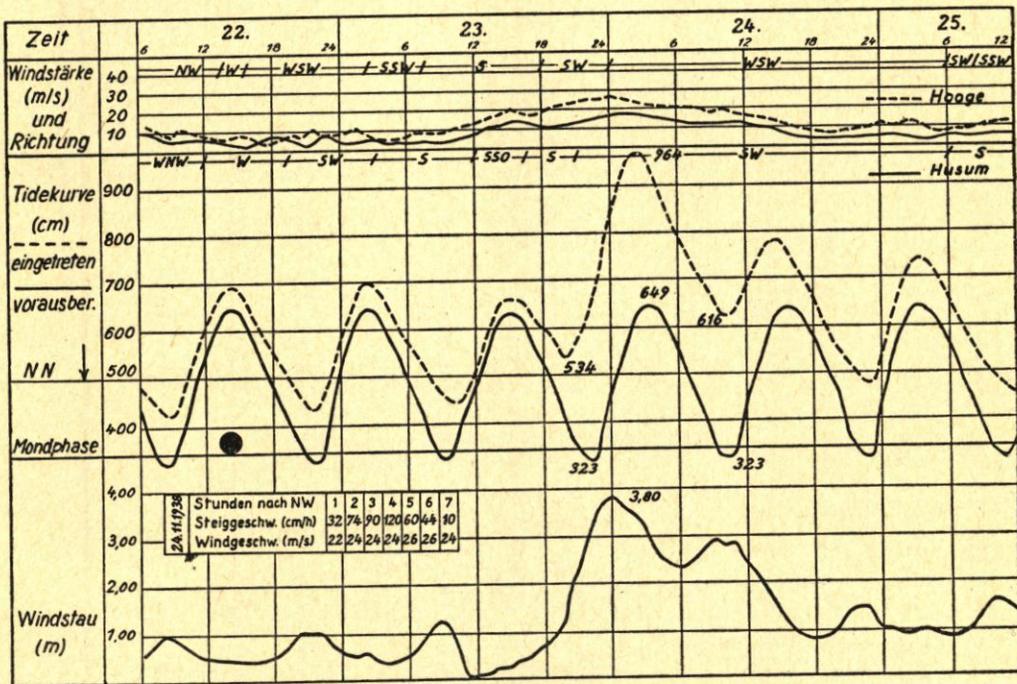


Abb. 40. Sturmflut am 24. November 1938. Pegelstation Bongsiel

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

Tabelle 10  
Sturmflut am 24. November 1938

Vegetation	Husum	List	Hörnum	Wittdün	Hooge	Süderoog	Tümmelauer Bucht	Hindenburg- damm Nord	Hindenburg- damm Süd	Wyk	Strand	Südwesthörn	Bongsiel	Arlau- Schleuse	Tönning	Büsum	Cuxhaven	Trischen	Helgoland
MHW	645	564	573	598	608	610	618	577	600	606	628	608	633	637	652	644	638	634	573
MNW	313	405	398	364	353	340	—	—	—	350	323	—	380	—	335	328	348	302	346
H W (Vorausb.)	660	580	600	614	624	626	634	593	616	622	644	624	649	653	690	680	660	—	630
Zeit (Vorausb.)	3h10'	3h59'	2h53'	2h26'	2h25'	2h05'	2h23'	4h02'	3h50'	3h06'	3h05'	3h37'	3h05'	3h16'	2h30'	2h10'	2h20'	—	0h45'
H W (eingetrenn.)	970	812	856	865	884	876	903	824	920	906	946	927	964	950	975	894	850	858	774
Zeit (eingetrenn.)	2h00'	2h45'	2h30'	2h28'	1h43'	1h40'	1h54'	3h15'	3h10'	2h35'	2h18'	2h44'	2h15'	2h00'	1h30'	1h40'	1h45'	1h45'	0h45'
W/Indstrau bei Vorausberechn.	250	230	250	250	240	230	230	210	300	280	—	290	290	250	240	210	190	—	140
H W (cm)	360	240	260	250	290	270	310	260	340	300	340	340	380	340	330	317	195	—	180
Max. Wind- strau (cm)	19h20'	19h30'	19h30'	18h45'	18h32'	18h43'	19h18'	20h00'	20h30'	19h45'	19h35'	20h15'	20h00'	19h50'	19h30'	18h20'	18h45'	18h25'	17h37'
N W-Zeit	6h40'	7h15'	7h00'	7h35'	7h11'	6h57'	6h36'	7h15'	6h40'	6h50'	6h43'	6h29'	6h15'	6h10'	6h00'	6h40'	7h00'	7h20'	7h08'
Steigdauer	415	508	505	480	476	451	459	525	575	490	482	539	534	455	421	368	397	391	440
N W (eingetr.)	555	304	351	385	408	425	444	299	345	416	464	388	430	495	554	526	453	467	334
Tidestieg (cm)	136	65	70	75	120	90	115	80	95	85	110	100	120	130	170	110	120	100	70
Max. Steig- geschwindigkeit (cm/h)	83	42	50	52	57	60	64	41	52	62	69	60	69	80	91	79	65	64	47
Mittl. Steig- geschwindigkeit (cm/h)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Stärke u. Rich- tung d. Windes bei H W	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	SW	SW	SW	SW	SW
Stärke u. Rich- tung d. Windes 6 Std. vor H W	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	WSW	WSW	WSW
Dauer d. Winde ( > 15 m/s) aus westl. Richtung gen vor. H W	12 Std.	13 Std.	12 Std.	12 Std.	12 Std.	11 Std.	12 Std.	13 Std.	12 Std.	12 Std.	13 Std.	12 Std.	12 Std.	13 Std.	13 Std.	13 Std.	13 Std.	12 Std.	12 Std.

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

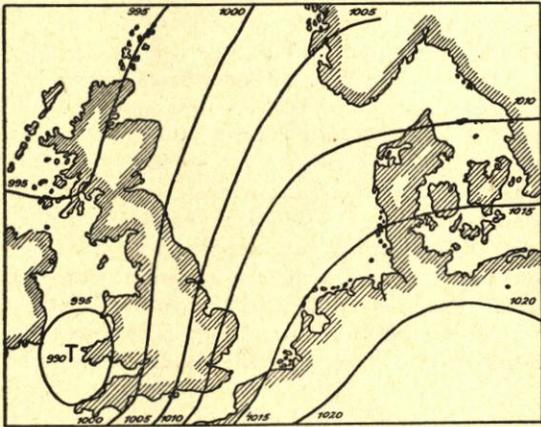


Abb. 41. Wetterkarte 9. Februar 1949, 7<sup>h</sup>  
(Isobaren in mb)

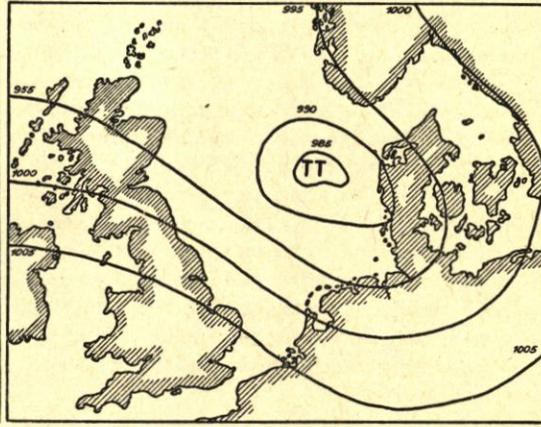


Abb. 42. Wetterkarte 9. Februar 1949, 19<sup>h</sup>  
(Isobaren in mb)

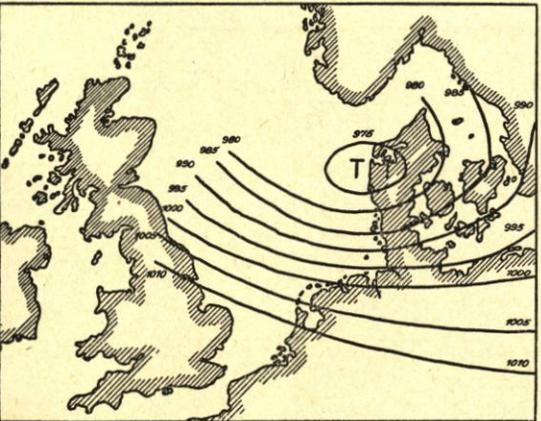


Abb. 43. Wetterkarte 10. Februar 1949, 1<sup>h</sup>  
(Isobaren in mb)

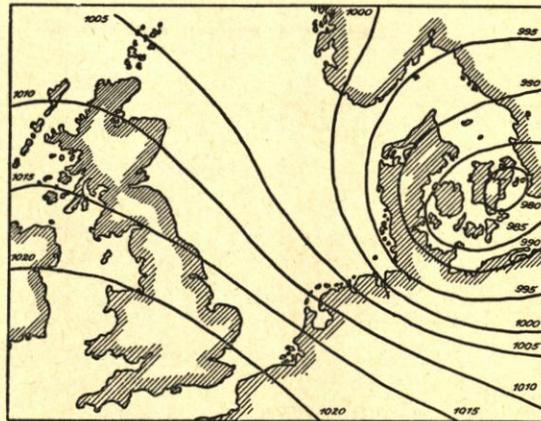


Abb. 44. Wetterkarte 10. Februar 1949, 7<sup>h</sup>  
(Isobaren in mb)

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<sup>h</sup> erreichte es die westliche Nordsee und vertiefte sich rasch auf 975 mb. Es zog in gleicher Richtung weiter, bis es gegen 21<sup>h</sup> unter gleichzeitiger Vertiefung auf 970 mb fast vier Stunden lang vor der jütländischen Küste liegen blieb. Erst gegen 1<sup>h</sup> am 10. 2. setzte es seine Bahn nach NO fort und befand sich um 6<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> aus südlicher und südöstlicher Richtung, drehten aber um 18<sup>h</sup> über SW auf WSW bis W und frischten bis 3<sup>h</sup> am 10. 2. im Nordbezirk (im Süden Eiderstedts bis 5<sup>h</sup>) 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<sup>h</sup>30' am 9. bis 1<sup>h</sup>30' 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<sup>h</sup> bis 5<sup>h</sup> am 10. 2., während in Hooge die maximale Windgeschwindigkeit nur etwa eine Stunde lang von 1<sup>h</sup>45' bis 2<sup>h</sup>45' mit rund 30 m/s angezeigt wurde. In Cuxhaven ist bereits am 9. 2. um 24<sup>h</sup> die höchste Windgeschwindigkeit mit 20,6 m/s aus WSW bis 1<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> 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 <sup>h</sup>	17	86 (Flut)
21—22 <sup>h</sup>	20	70 (Flut)
22—23 <sup>h</sup>	23	75 (Ebbe)
23—24 <sup>h</sup>	26	60 (Ebbe)
24—01 <sup>h</sup>	27	35 (Ebbe)
01—02 <sup>h</sup>	30	20 (Ebbe)
02—03 <sup>h</sup>	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<sup>h</sup> 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 Tidesieg betrug 5,85 m (Mittel für Husum = 3,32 m) und erreichte damit den bisher beobachteten Höchstwert (Abb. 45).

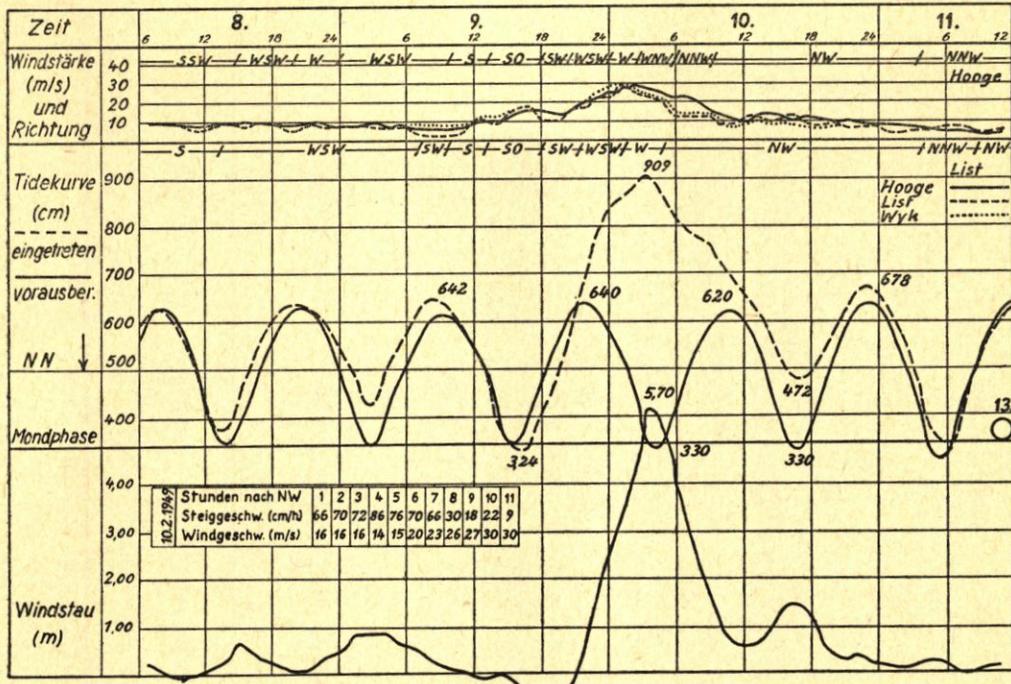


Abb. 45. Sturmflut am 10. Februar 1949. Pegelstation Husum

Für die Messstellen List, Husum und Büsum sind auch die Luftdruckwerte bekannt. In Husum fiel der Luftdruck vom 9. 2. 12<sup>h</sup> zum 10. 2. 2<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> 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'
Windstau bei vorausberdn.													
HW (cm)	70	—	50	80	20	30	20	60	20	20	—	30	—
Max. Windstau (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.

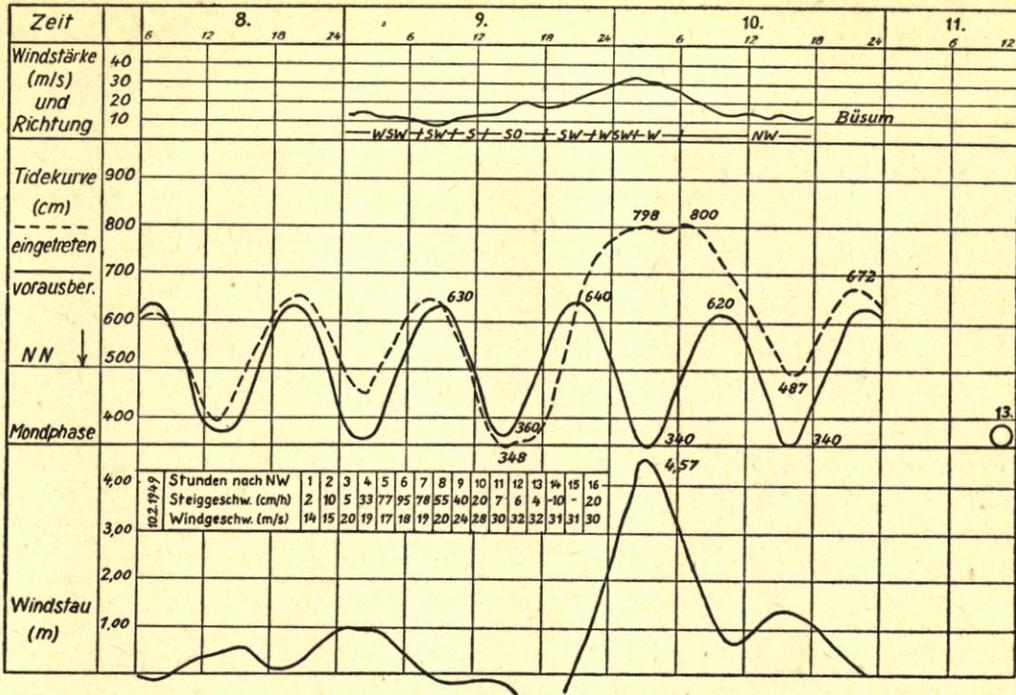


Abb. 46. Sturmflut am 10. Februar 1949. Pegelstation Buisum

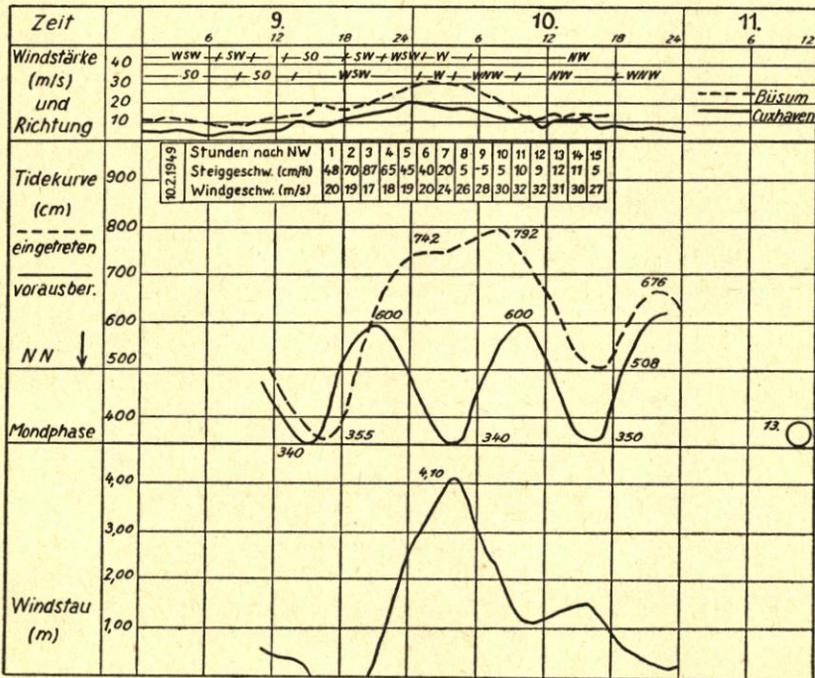


Abb. 47. Sturmflut am 10. Februar 1949. Pegelstation Cuxhaven

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<sup>h</sup> seine größte Geschwindigkeit erreicht, die bis kurz vor 3<sup>h</sup> anhielt, um dann stark nachzulassen. Auch Hooge zeigt diese Windverhältnisse. In Büsum dagegen trat die Höchstgeschwindigkeit erst um 2<sup>h</sup> ein und hielt sich dann bis etwa 5<sup>h</sup> am 10. 2. Hierdurch entstanden südlich von Eiderstedt breitere Scheitel der Flutkurven. Sobald der Wind um 5<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> mit 32 m/s auftrat und zu dieser Zeit reiner Westwind herrschte, war in Cuxhaven bereits um 23<sup>h</sup>30' am 9. 2. die höchste Windgeschwindigkeit erreicht. Sie betrug hier nur noch 20,6 m/s. Ab 1<sup>h</sup> am 10. 2. fiel die Windgeschwindigkeit stetig ab, hielt sich aber noch bis 7<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> und 19<sup>h</sup> nach SW und gegen Mitternacht auf W. Die weitere Rechtsdrehung nach NW erfolgte dann in Hooge und List zwischen 4<sup>h</sup> und 5<sup>h</sup>. Auch in Büsum setzte die Drehung nach NW am 10. 2. um 5<sup>h</sup> ein. Cuxhaven zeigte die Rechtsdrehung auf WNW bereits um 4<sup>h</sup>, 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

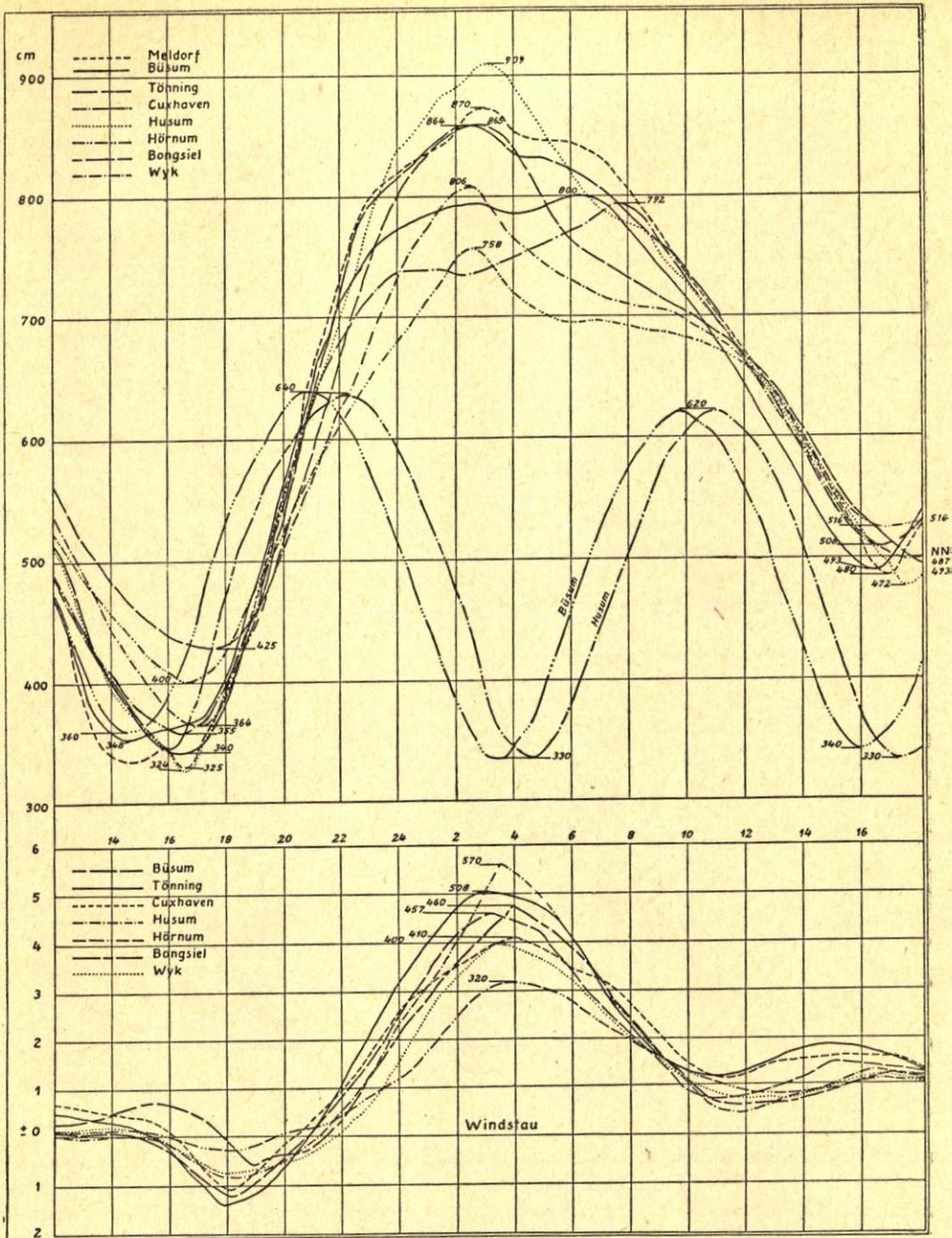


Abb. 48. Tidekurven während der Sturmflut am 9./10. Februar 1949  
 (Die beiden unteren Kurven im oberen Diagramm stellen mittlere Tidekurven von Büsum und Husum dar)

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

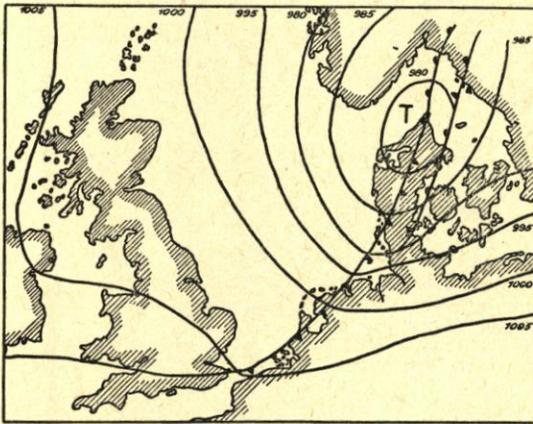


Abb. 49. Wetterkarte 24. Oktober 1949, 13h  
(Isobaren in mb)

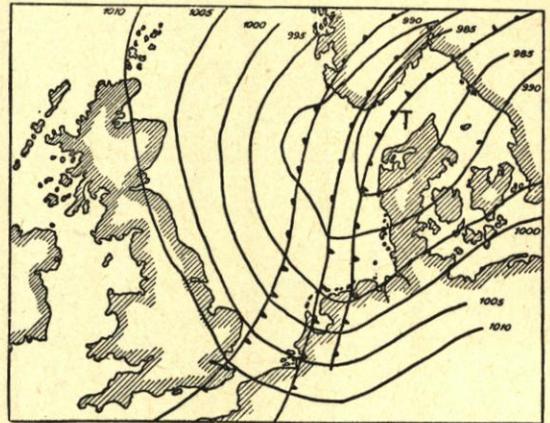


Abb. 50. Wetterkarte 26. Oktober 1949, 19h  
(Isobaren in mb)

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<sup>h</sup> und 12<sup>h</sup> 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 <sup>h</sup> 32'	14 <sup>h</sup> 30'	—	—
HW (eingetreten)	922	900	909	954
Zeit (eingetreten)	13 <sup>h</sup> 40'	12 <sup>h</sup> 50'	12 <sup>h</sup> 40'	13 <sup>h</sup> 15'
Windstau bei vorausberechnetem HW (cm)	100	110	—	—
Max. Windstau (cm)	300	238	—	—
NW-Zeit	9 <sup>h</sup> 50'	9 <sup>h</sup> 10'	9 <sup>h</sup> 20'	9 <sup>h</sup> 12'
Steigdauer	3 <sup>h</sup> 50'	4 <sup>h</sup> 50'	3 <sup>h</sup> 20'	4 <sup>h</sup> 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<sup>h</sup>—13<sup>h</sup>) 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<sup>h</sup>30' 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<sup>h</sup> 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).

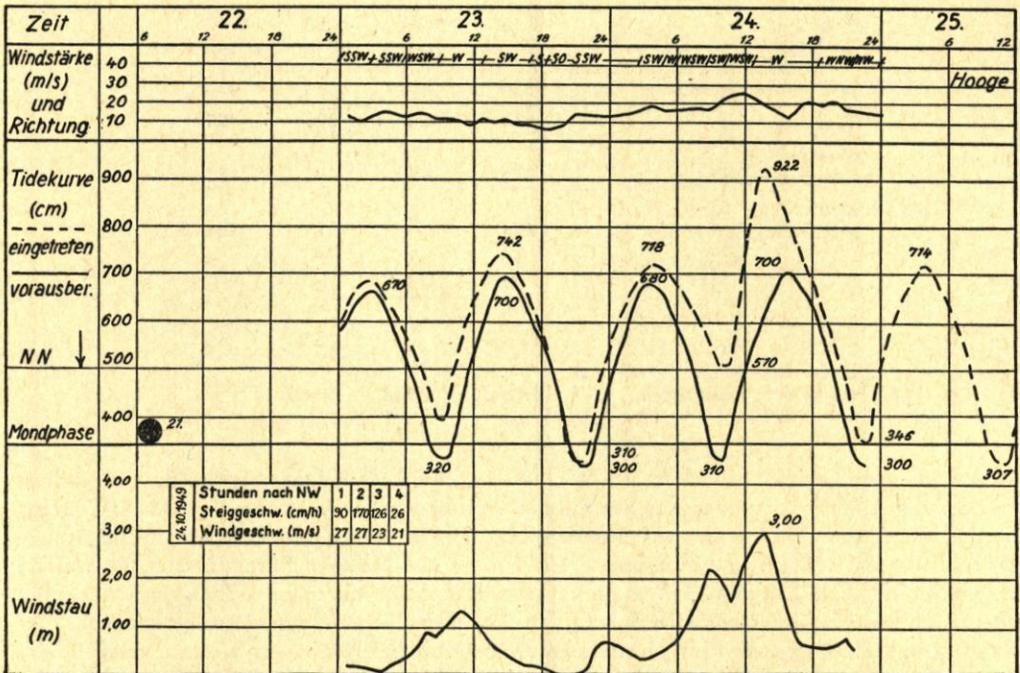


Abb. 51. Sturmflut am 24. Oktober 1949. Pegelstation Husum

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

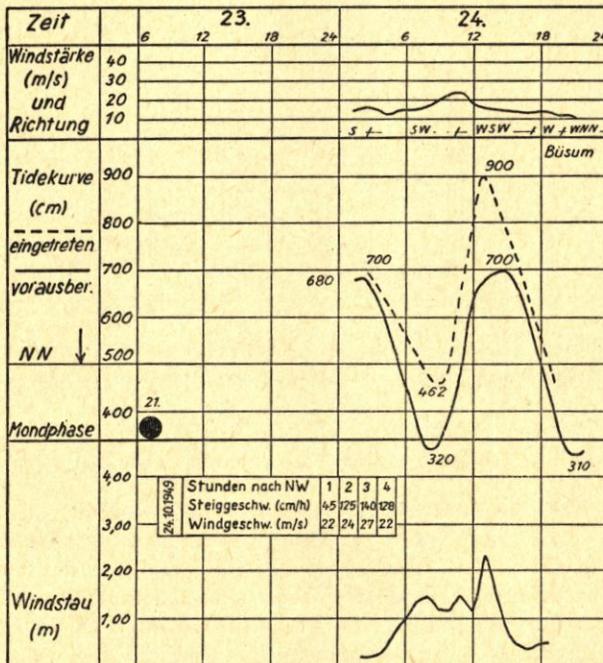


Abb. 52. Sturmflut am 24. Oktober 1949. Pegelstation Büsum

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).

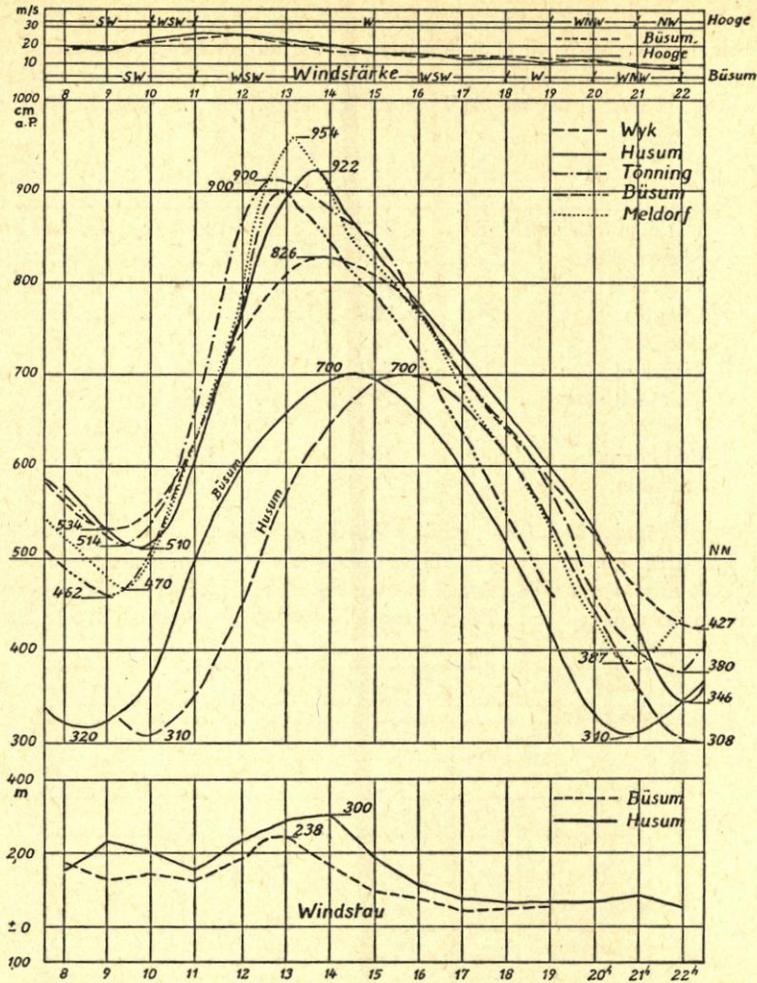


Abb. 53. Tidekurven während der Sturmflut am 24. Oktober 1949  
(Kurve „Büsum“ und Kurve „Husum“ sind mittlere Tidekurven)

## 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 Höchstfalle 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	Südweststörn	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. Windgeschwindigkeit 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 Windstaues (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 Windstaues 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 Windstaues 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'	670	+ 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	6h15'	330	53	—	
13. 1. 1916	19h15'	935	20h00'	610	+ 0h45'	325	977	972	7,0	WNW	11	4h45'	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	—	

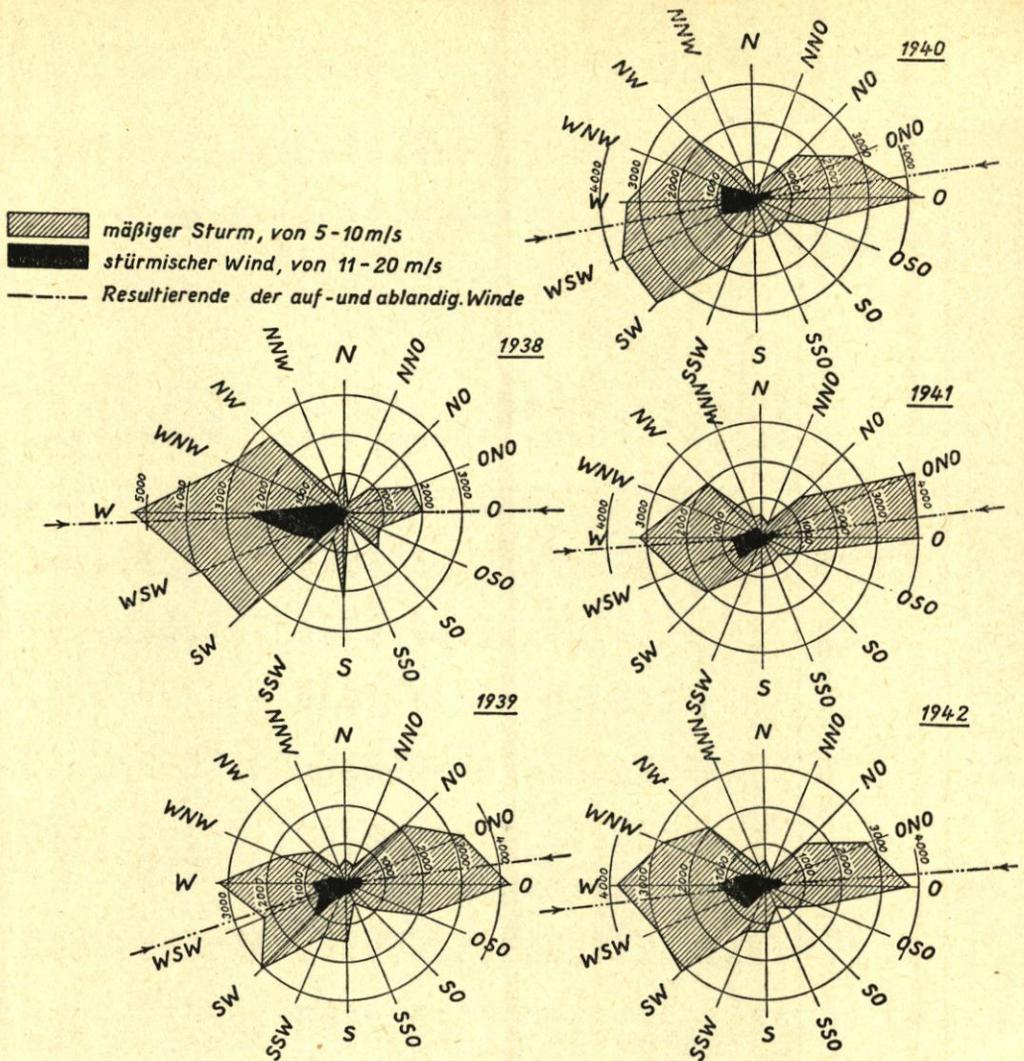


Abb. 54. Winddiagramme für den Windmesser Husum (1938—1942)

An der Westküste beträgt der bisher größte, durch einwandfreie Aufzeichnungen belegte Windstau über dem vorausgerechneten HW 3,59 m bzw. bei vorausgerechnetem 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
Dez.	—	—	—	—	—	666	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	674	640	6
Jan.	746	672	—	9	637	760	—	6	675	770	682	8	—	684	680	9	718	678	651	9
Febr.	—	664	—	5	—	626	—	5	702	638	601	7	701	685	648	7	790	—	643	11
März	—	652	633	6	—	727	686	9	703	706	675	9	674	680	—	9	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
Juni	678	676	—	8	719	648	654	8	675	666	657	8	711	673	—	10	722	650	—	9
Juli	—	—	—	—	—	668	—	6	673	657	646	6	—	650	644	6	—	663	—	6
Aug.	669	667	—	5	—	678	—	6	692	760	668	10	—	—	—	—	—	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
Σ	2888	6519	2623	67	3348	6127	4050	74	6265	6999	5243	87	4875	6132	2629	80	4310	5439	4621	78
vorbr.	2636	6450	2504		3295	5805	3756		5931	6450	5008		4613	5805	2504		3954	5160	4382	
Windstau	252	69	119		53	322	294		334	549	235		262	327	125		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
Dez.	—	—	—	—	—	688	—	6	—	716	—	6	—	—	694	7	—	—	652	8
Jan.	680	—	—	8	—	—	—	—	—	678	—	6	—	710	—	8	739	705	645	11
Febr.	—	772	—	12	—	732	—	9	—	705	—	8	717	679	679	10	685	679	652	8
März	707	—	—	9	—	—	636	9	733	636	—	8	703	633	—	9	700	—	—	7
Apr.	—	—	—	—	744	666	—	9	691	659	670	9	677	658	619	8	—	—	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
Juli	—	—	640	7	681	—	677	9	680	671	661	8	684	665	645	8	680	656	—	6
Aug.	674	—	—	5	—	—	—	—	668	659	—	8	713	—	—	12	678	—	—	7
Sept.	—	—	—	—	—	658	—	5	696	—	620	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
vorbr.	1977	1920	1252		2636	3870	1878		4613	5805	3130		3954	4515	3756		3954	3870	2504	
Windstau	84	123	54		107	188	92		242	271	102		333	184	198		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
Dez.	—	—	—	—	—	—	—	—	724	—	662	7	—	812	—	9	810	698	633	10
Jan.	—	—	—	—	—	—	—	—	633	651	—	7	—	648	—	7	—	—	—	—
Febr.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	681	670	620	8	—	—	667	7
März	696	660	—	9	662	660	749	12	716	717	624	10	—	684	610	7	662	—	—	7
Apr.	660	639	—	7	—	—	—	—	—	659	—	7	—	728	—	13	—	—	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
Aug.	694	724	625	7	694	722	—	9	685	669	694	7	693	692	675	7	—	696	—	6
Sept.	—	—	669	8	698	702	692	9	736	701	—	9	708	674	660	7	780	701	650	7
Okt.	—	—	—	—	—	746	—	12	—	699	—	7	719	—	—	11	—	715	—	9
Σ	3382	3971	3230	55	3375	4822	2730	67	5499	6866	3268	86	4257	7669	2565	101	3676	4166	2598	67
vorbr.	3295	3870	3130		3295	4515	2504		5272	6450	3130		3954	7095	2504		3295	3870	2504	
Windstau	87	101	100		80	307	226		227	416	138		303	574	61		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	—	—	645	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)				12. 10. 1926				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	max	ΔN	ΔH	ΔN												
	cm				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	210	80	360	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	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
Hooqe	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
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	220	210	80	301	240	260	210	270	90	210	280	301	110	190	180	195	40	30	410	410	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

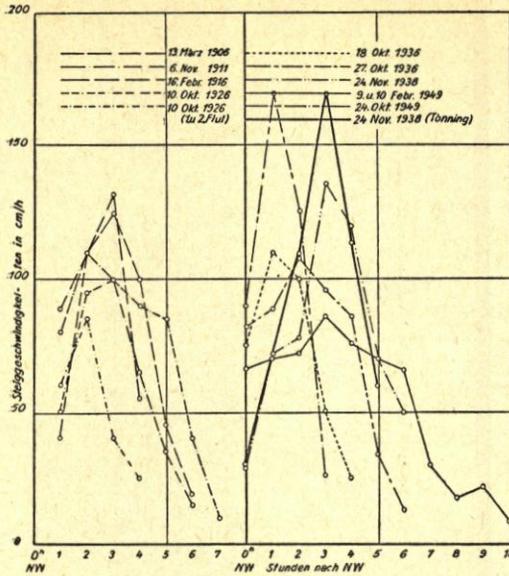


Abb. 55. Steiggeschwindigkeiten einiger Sturmfluten in Husum von NW bis HHW

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

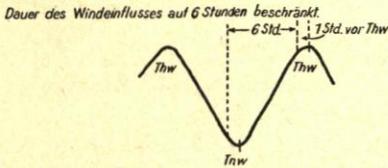
Wasser (Flut) zusammengefallen, so wäre wahrscheinlich ein noch stärkerer Anstieg über HW erfolgt.

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.

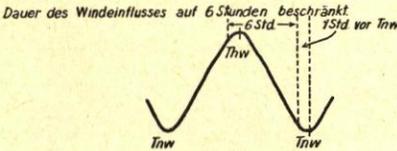
Richtung) bei gegebenen örtlichen Verhältnissen zwar der wichtigste, aber nicht der alleinige Einflußfaktor für die Abweichungen von der Gestirnsstide ist. Aus naheliegenden Gründen soll trotzdem die Untersuchung auf den Einfluß der Windwirkung beschränkt werden. Da immer noch drei Variable bedeuten 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.**

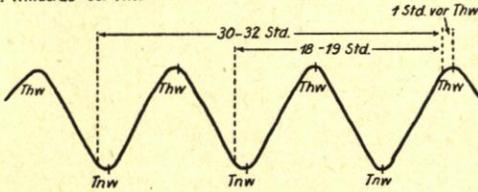


**b. Windstau bei Tnw**



**2. Bei anhaltenden Winden über mehrere Tiden.**

**a. Windstau bei Thw**



**b. Windstau bei Tnw**

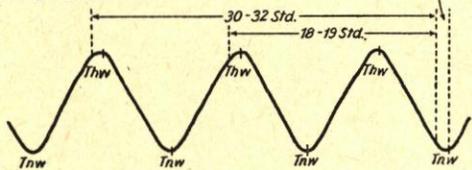


Abb. 56. Berechnung des Windstaues

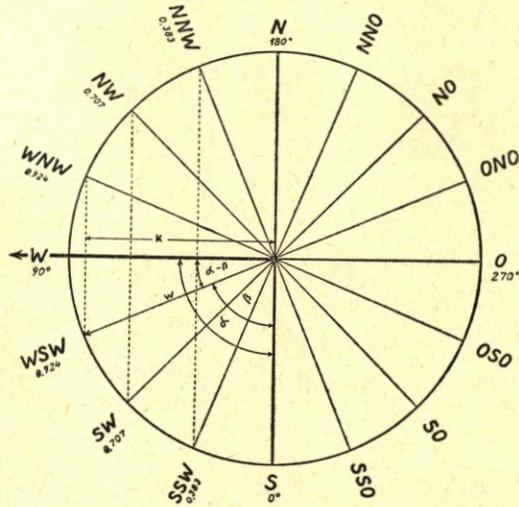


Abb. 57. Windkraftzerlegung auf die West-Achse

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

- k = wirksame Windkomponente
- w = gemessene Windgeschwindigkeit in m/s
- $\alpha$  = wirksame Windrichtung
- $\beta$  = 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		bis			Sa.	im Mittel m/s	voraus-berechnet	ein-getreten		
		Tag	Zeit	Tag	Zeit							
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			HW		Unterschied	Windrichtung
Tag	Zeit	von	bis	Tag	Zeit		Sa.	im Mittel m/s	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

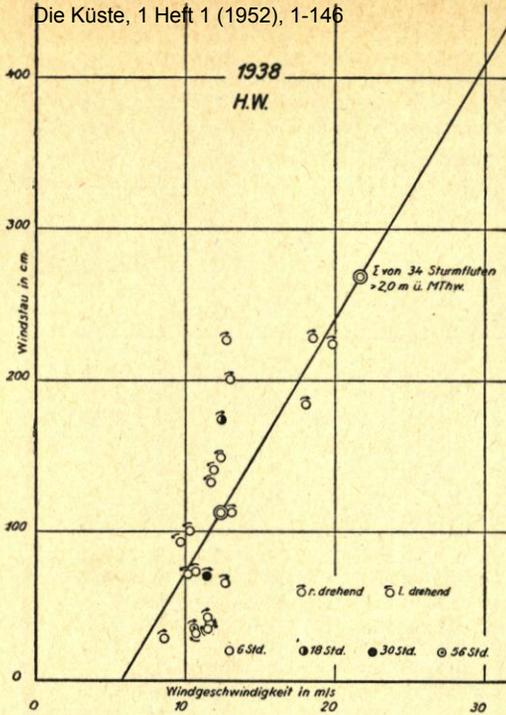


Abb. 58. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1938 bei HW a. P. Husum)

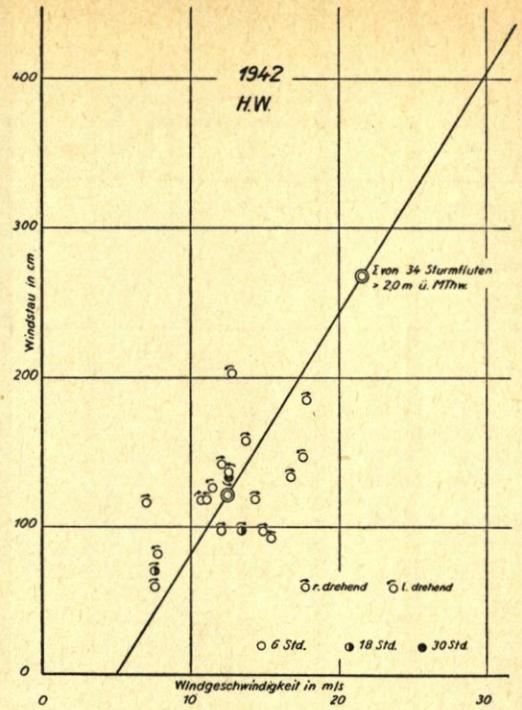


Abb. 59. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1942 bei HW a. P. Husum)

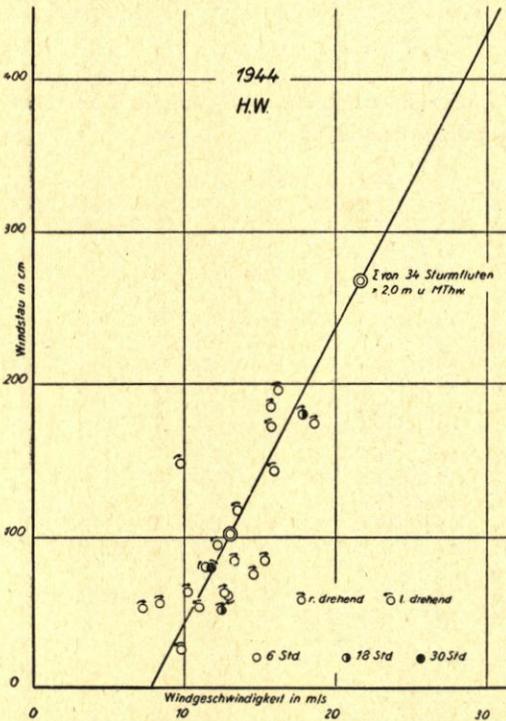


Abb. 60. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1944 bei HW a. P. Husum)

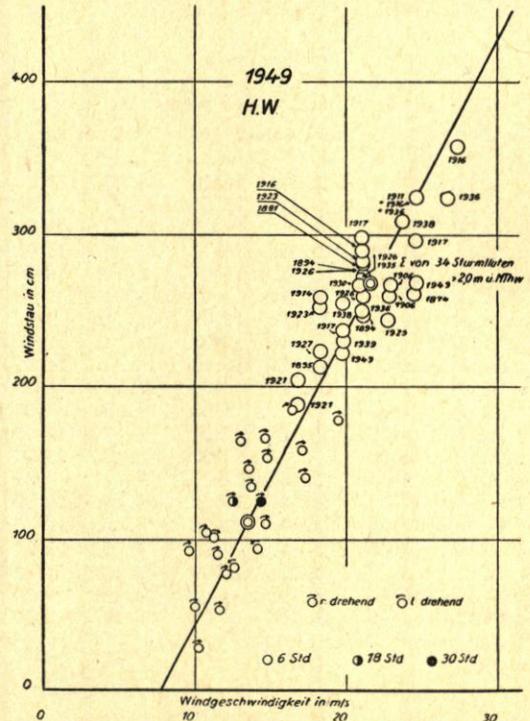


Abb. 61. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1949 bei HW a. P. Husum)

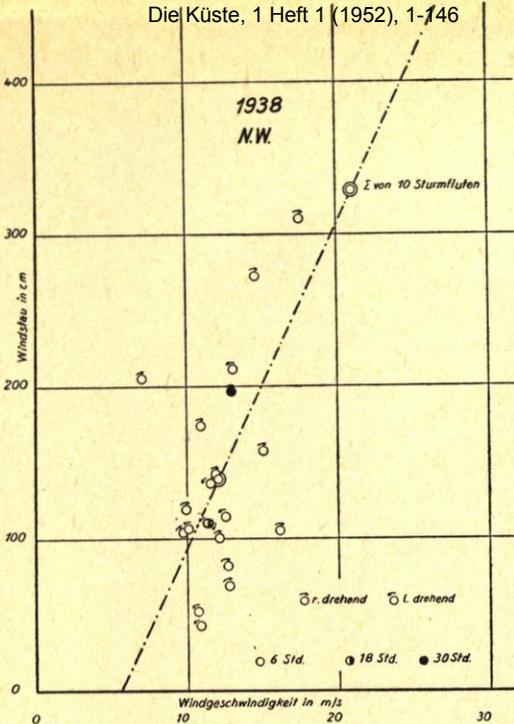


Abb. 62. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1938 bei NW a. P. Husum)

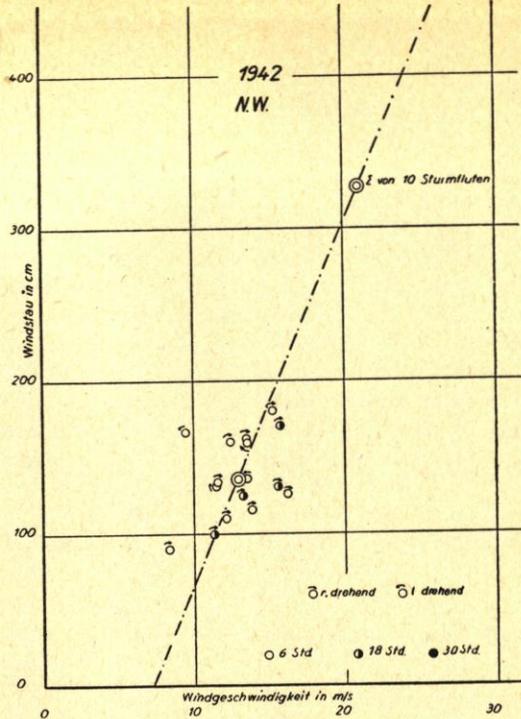


Abb. 63. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1942 bei NW a. P. Husum)

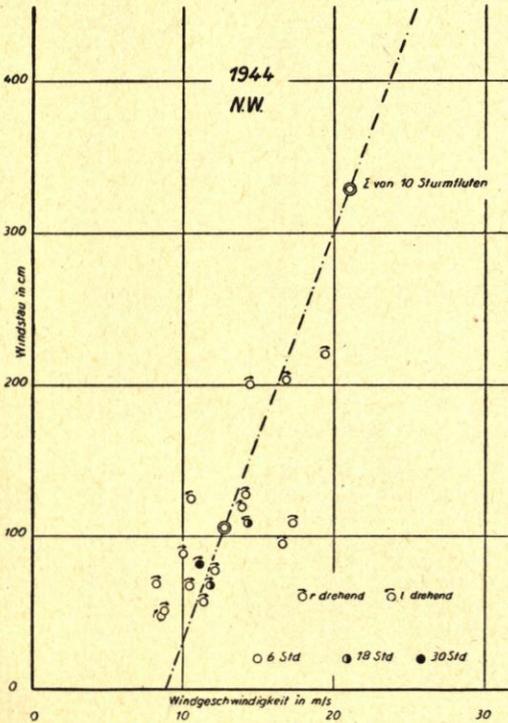


Abb. 64. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1944 bei NW a. P. Husum)

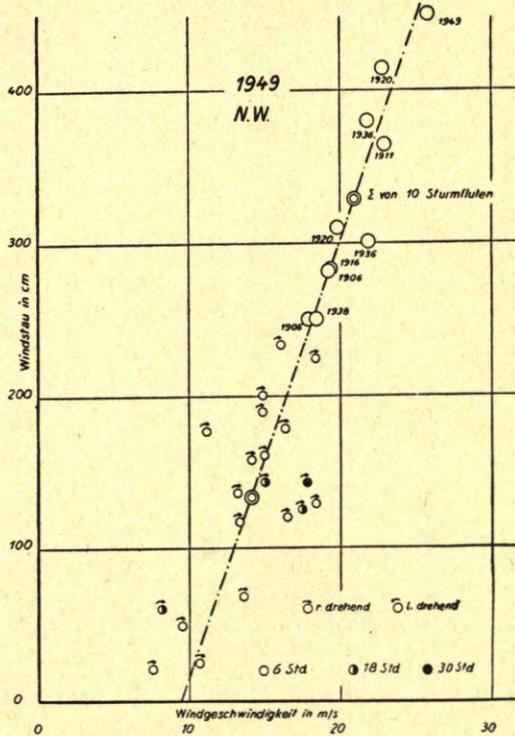


Abb. 65. Windstau und wirksame Windkomponente bei westlichen Winden mit mittlerer Geschwindigkeit > 10 m/s (1949 bei NW a. P. Husum)

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).

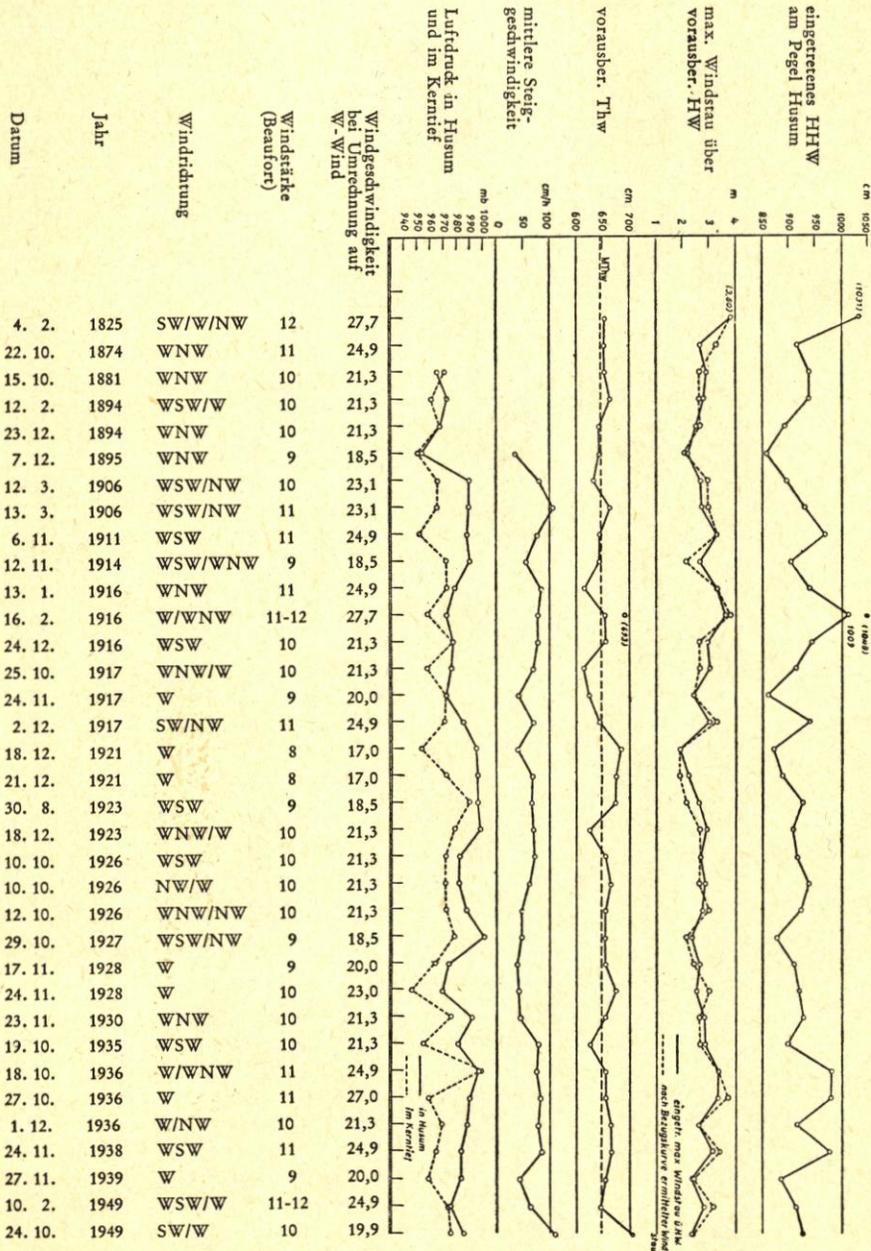


Abb. 67. 35 Sturmfluten am Pegel Husum von > 2 m über MThw

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

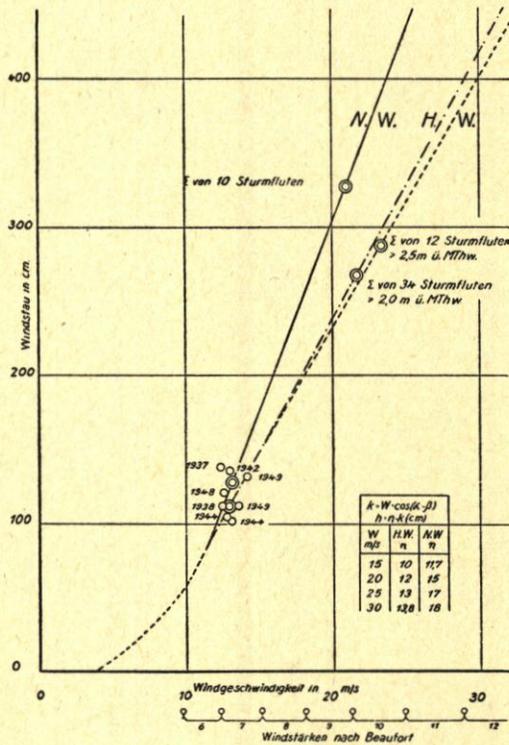


Abb. 66. Windstau bezugscurve bei HW und NW am Pegel Husum

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.

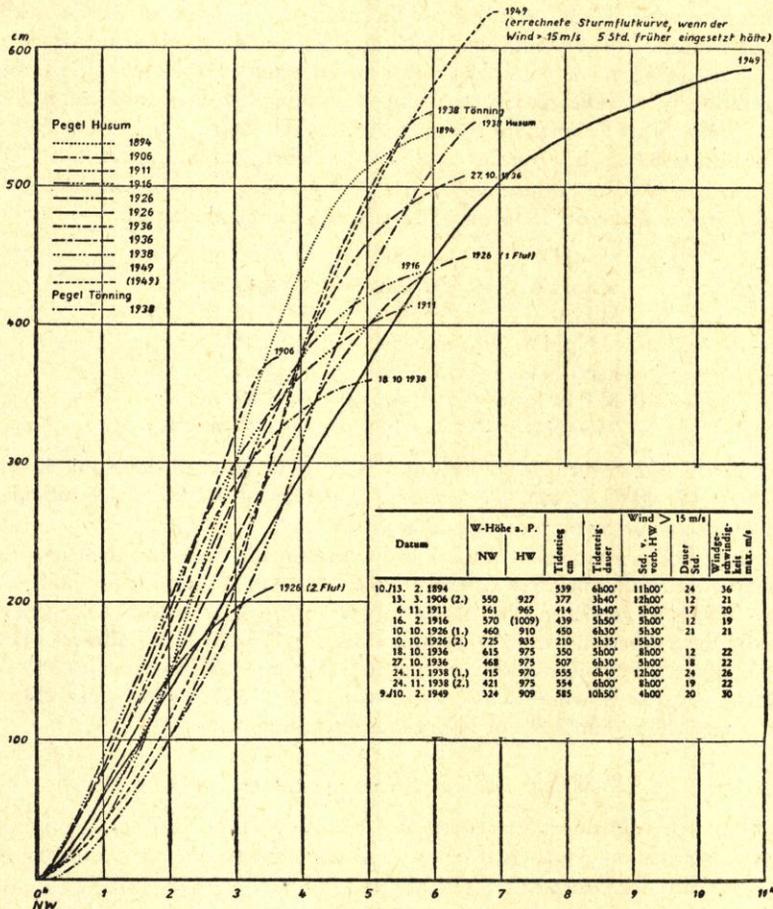


Abb. 68. Tidesieg einiger Sturmfluten von 1906—1949

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.

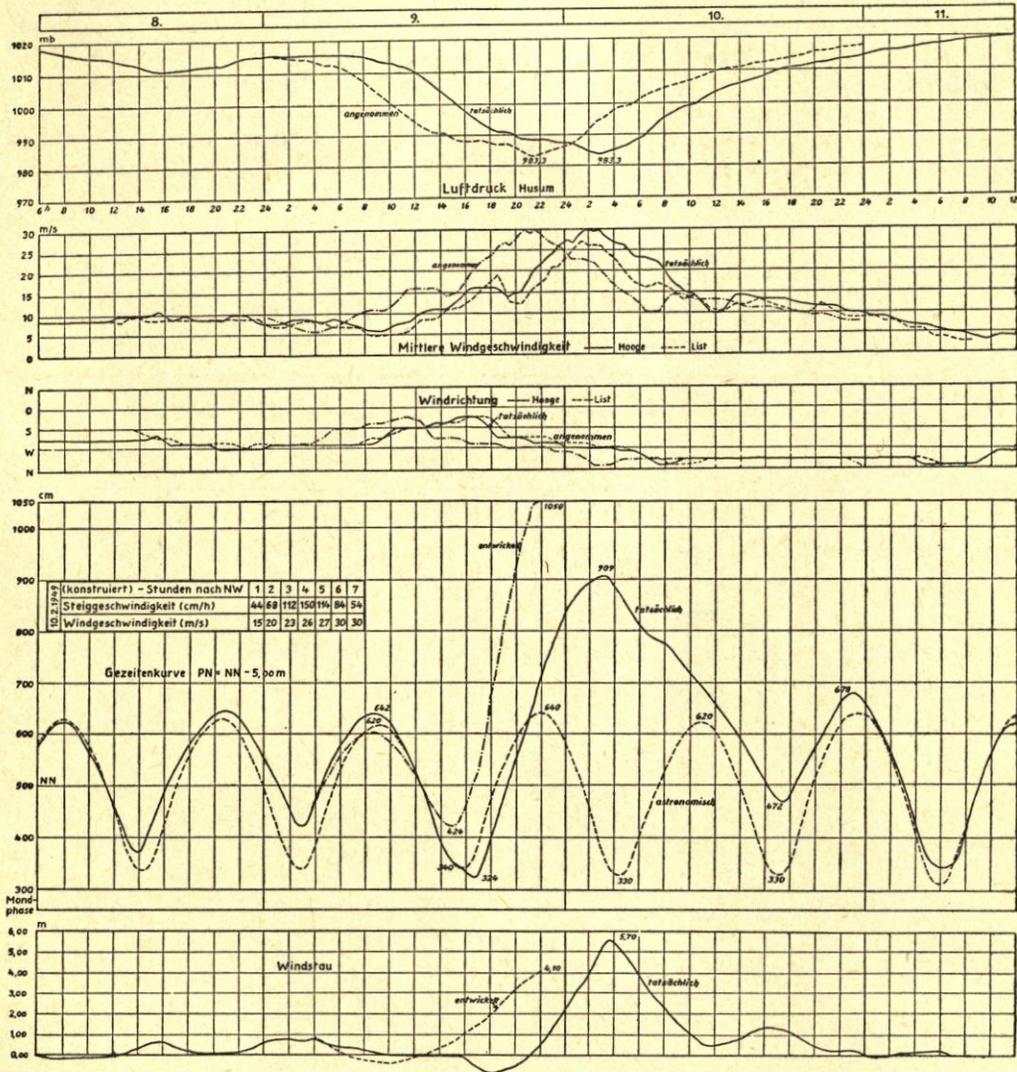


Abb. 69. Tidekurven und Wetterverhältnisse während der Sturmflut am 10. Februar 1949 (Pegel Husum)

### 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	—

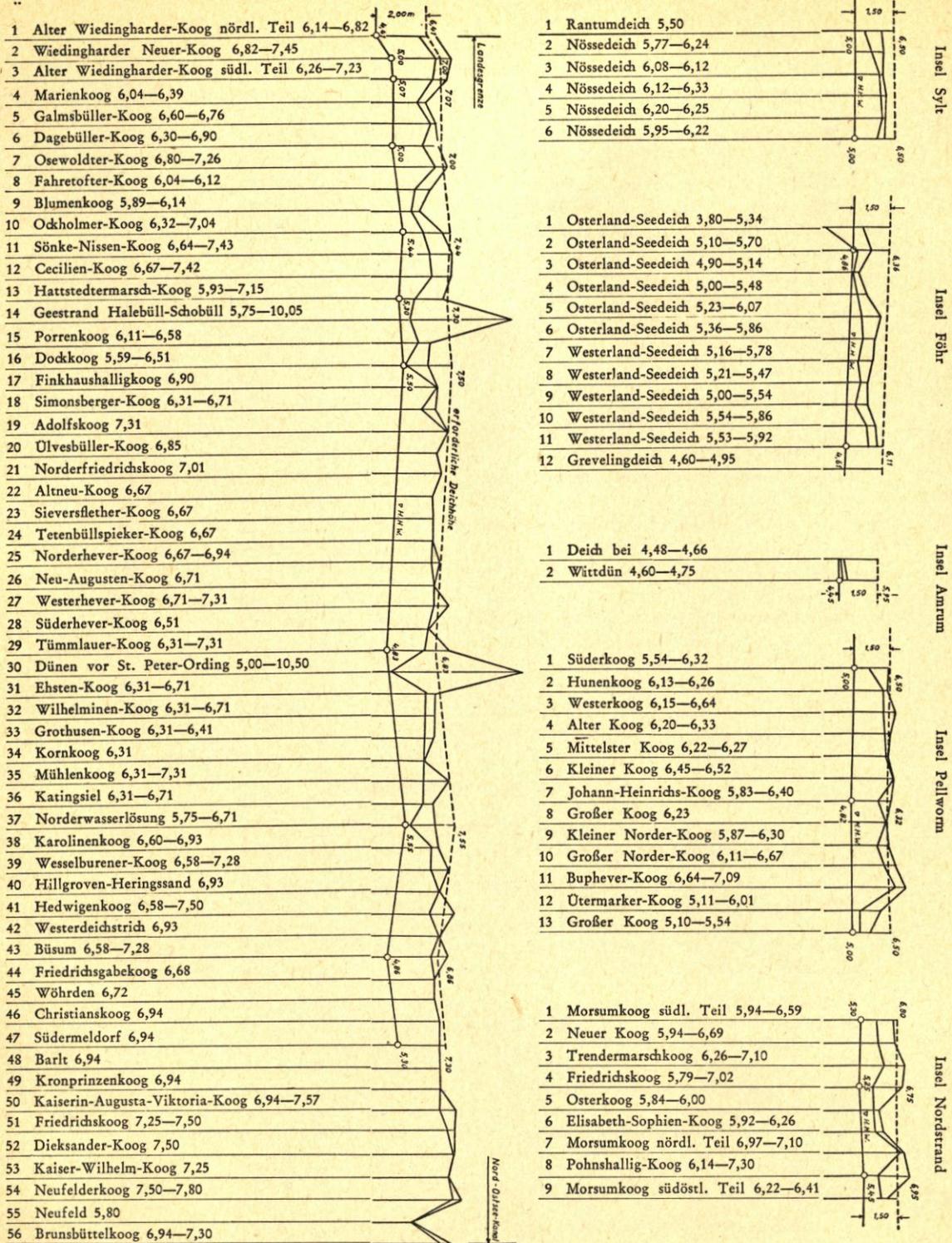


Abb. 70. Höhen der Seedeiche an der Westküste Schleswig-Holsteins und auf den Inseln, Höhenangaben auf NN bezogen

## 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<sub>nw</sub>) 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<sub>Thw</sub> 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 Windstaues 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.