

Was lehrt uns die Holland-Sturmflut 1953 ¹⁾

Von Gerhard Tomczak

Inhalt

1. Die Schäden	78
2. Die Wasserstände	79
3. Die Wetterlage	82
4. Die beobachteten meteorologischen Extremwerte	86
5. Der Aufbau der Sturmflut in der Nordsee	87
6. Die Ursachen der Deichbrüche	90
7. Voraussage der Sturmfluthöhen	91
8. Möglichkeit hoher Wasserstände an der deutschen Nordseeküste	92
9. Sturmfluten im Dezember 1954	93
10. Schriftenverzeichnis	94

1. Die Schäden

Während frühere Generationen von Naturkatastrophen in anderen Ländern oft erst sehr verspätet oder auch gar nicht hörten, erfahren wir heute infolge der modernen Nachrichtentechnik auch von den entferntesten Ereignissen in kurzer Zeit. An Hand von Augenzeugenberichten oder Reportagen werden unsere Sinne fast allwöchentlich mit neuen Eindrücken von schweren Schäden belastet, die durch Erdbeben, Taifune, Hurricane, Wolkenbrüche, Lawinen und manches andere mehr überall in der Welt hervorgerufen werden. Das einzelne, in der Öffentlichkeit zunächst als „Sensation“ empfundene Ereignis tritt dadurch schnell wieder hinter anderem zurück. Ich möchte deshalb die von dem sogenannten „Holland-Orkan“ hervorgerufenen Schäden und Verluste in wenigen Zahlen in unsere Erinnerung zurückrufen. Bevor der Orkan in der Nacht vom 31. Januar zum 1. Februar 1953 die Küsten der südwestlichen Nordsee erreichte, hatte er schon eine schwere Schiffskatastrophe im Seegebiet zwischen Schottland und Irland verursacht. Das Eisenbahnfährschiff „Princess Victoria“ (2700 BRT) hatte kurze Zeit nach dem Auslaufen aus dem schottischen Hafen in schwerer See durch Wassereinbruch Schlagseite bekommen und war nach mehrstündigem verzweifelten Kampf der Mannschaft gesunken, ohne daß es den zu Hilfe geeilten Schiffen gelungen war, eine größere Zahl von Passagieren zu retten. 128 Menschen fanden den Tod in der See. Auf seinem weiteren Weg zur Nordsee verursachte der Orkan dann in den ausgedehnten Wäldern Schottlands einen Forstschaden von einem bis dahin nie dagewesenen Ausmaß. Etwa 30 % des Baumbestandes Schottlands wurden vernichtet. In dem dann auf das Gebiet der Nordsee übergreifenden Sturm gingen weiter mehrere Fischdampfer und Küstenfahrzeuge verloren. Und schließlich trat darauf an den Küsten von Südostengland, Belgien und Holland die Sturmflutkatastrophe ein, mit der wir uns an dieser Stelle noch einmal näher befassen wollen.

Abbildung 1 (vgl. S. 179 und Abb. 16 u. 17) gibt noch einmal einen Überblick über die in Holland von der Überschwemmung betroffenen Gebiete. Vierhundert Deichbrüche, davon 38 schwerwiegende Durchbrüche durch die Küstenbefestigungen, sind darin eingezeichnet. Einige von ih-

¹⁾ Vortrag, gehalten am 18. 3. 1955 in Husum anlässlich einer Veranstaltung des Bundes der Wasser- und Kulturbauingenieure, Bezirksgruppe Husum.

Die Abbildungen 1—18 wurden den im Literaturverzeichnis angegebenen Veröffentlichungen entnommen. Für Abb. 21 stellte das Seewetteramt Hamburg des Deutschen Wetterdienstes freundlicherweise Arbeitswetterkarten zur Verfügung.

nen, die teils erst nach Wochen geschlossen werden konnten, rissen den Boden bis in große Tiefen fort. Der schwerste Bruch, auf der Insel Schouwen-Duiveland gelegen, erreichte eine Breite von 300 m und eine Tiefe von 35 m. Die Größe des auf Abbildung 1 dunkel eingezeichneten überströmten Landes betrug 160 000 ha; davon waren 130 000 ha wertvoller Kulturboden. Als im Jahre 1916 die Deiche in Nordholland brachen, waren es „nur“ 25 000 ha gewesen, die überflutet wurden; und selbst bei der historisch bekannten St. Elisabethsflut im Jahre 1421 sollen es nur 45 000 ha gewesen sein. Bei der Größe des 1953 überschwemmten Gebietes, das Vierfache dessen von 1421, möchte einem die Zahl der Toten, die in Holland etwa 1800 betrug, fast gering erscheinen. Aber wer hätte geglaubt, daß eine solche Zahl bei dem Stand der modernen Technik und Nachrichtenmittel überhaupt noch möglich ist? Die Zahl ist für unsere Verhältnisse erschreckend hoch und wesentlich wohl darauf zurückzuführen, daß die Menschen ahnungslos im Schlaf von dem eindringenden Wasser überrascht wurden. Die Menschen waren zu sicher geworden hinter den Deichen. Der Warn- und Schutzdienst hatte offenbar nicht die Schlagkraft, die er bei ständiger Bereitschaft hätte haben müssen. Die Verluste an Vieh betragen mehrere Zehntausend; ebenso wurden Zehntausende von Wohnungen zerstört oder schwerstens beschädigt. 600 000 Menschen mußten vorübergehend ausgesiedelt werden, 75 000 von ihnen auf längere Zeit.

In England betrug die Zahl der Toten etwa 300. Dort wurden 60 000 ha, in Belgien 10 000 ha überflutet. Gas- und Elektrizitätswerke wurden außer Betrieb gesetzt, der Schienen- und Straßenverkehr empfindlich lahmgelegt. Großer Schaden entstand vor allem in England durch Überschwemmung mehrerer industrieller Betriebe, darunter zweier im Bau befindlicher Ölraffinerien, und in Belgien im Hafen von Antwerpen, wo das Wasser 85 cm über die Kaimauern gestiegen war und in den Lagerschuppen gestapelte Waren vernichtete oder beschädigte.

Wir wollen uns nun der Betrachtung der Sturmflut im einzelnen zuwenden. Dabei sei zunächst ein Überblick über die an der holländischen Küste aufgetretenen Sturmfluthöhen gegeben, anschließend die meteorologische Situation erörtert, die zu dieser Sturmflut führte, und schließlich soll versucht werden, einige Schlußfolgerungen für unsere Lage an den Küsten der Deutschen Bucht zu ziehen.

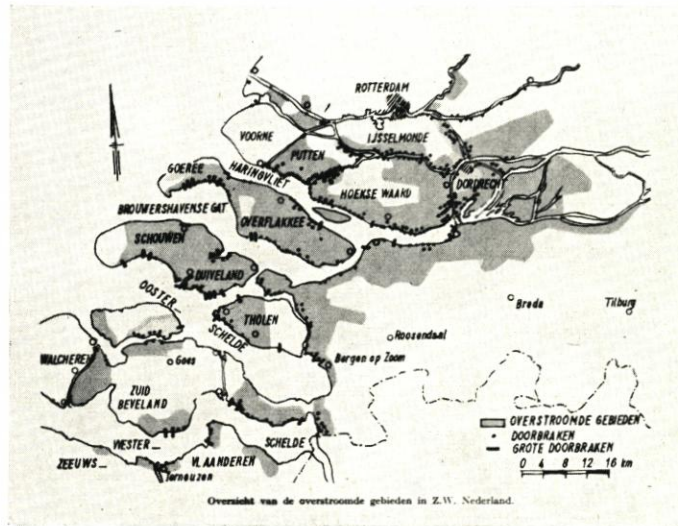


Abb. 1. Übersicht über das von der Überschwemmung betroffene Gebiet an der holländischen Küste
[Aus: MARIS (3)]

2. Die Wasserstände

Abbildung 2 zeigt einige Wasserstandskurven, und zwar von Vlissingen und Hoek van Holland. Die dicke Kurve gibt jeweils den beobachteten Wasserstandsverlauf wieder, die darunter befindliche dünne Linie zeigt den berechneten Gezeitenverlauf. Im unteren Bildteil verläuft die sogenannte „Windstaukurve“. Sie ist aus der Differenz von vorausberechnetem

und beobachtetem Wasserstand gewonnen worden. Die genannten beiden Orte wurden gewählt, weil sie ganz verschiedene Gezeitenkurven, dennoch aber völlig ähnliche Windstaukurven aufweisen. In Vlissingen tritt ein Springtidenhub von 4 bis 4,50 m auf. Nach dem Mittaghochwasser am 31. Januar verläuft die Ebbe noch normal. Allerdings tritt das Niedrigwasser bereits etwa 1,50 m erhöht ein. Während der nun folgenden Flut vergrößert sich der Windstau laufend und erreicht etwa zwei Stunden vor Hochwasser seinen größten Wert mit 3,10 m. Zur Hochwasserzeit hat er wieder auf 2,60 m abgenommen. Bei Hoek van Holland sieht die Wasserstandskurve dagegen ganz anders aus. Der nur schwache Tidefall von etwa 1,50 m, den man nach den Vorausberechnungen erwarten mußte, wird am Nachmittag des 31. Januar schon von dem in der südwestlichen Nordsee aufgestauten Wasser überdeckt. Der maximale Stau tritt infolgedessen hier zur Niedrigwasserzeit mit 3,30 m ein, nimmt danach allerdings nur wenig ab, so daß ein Sturmflutwasserstand von 3,85 m NAP beobachtet wird. Bei so verschiedenartigem Verlauf des Wasserstandes bei beiden Orten ist die Ähnlichkeit der Windstaukurven überraschend. Beginnend etwa gegen 6 Uhr am 31. Januar steigen sie achtzehn Stunden lang ziemlich gleichmäßig an und gehen erst nach anderthalb Tagen wieder auf Null zurück. Gerade diese Ähnlichkeit aber liefert den ersten Hinweis dafür — und die Betrachtung der Wetterlage wird es uns später bestätigen —, daß diese Sturmflut *im Ganzen* einen normalen Verlauf zeigte, wenn sie auch zu ungewöhnlich hohen Wasserstandswerten führte. Alle Versuche, die Sturmflut durch ein Seebeben, eine Bore, eine Flutwelle oder anders zu erklären, wie es insbesondere unmittelbar nach der

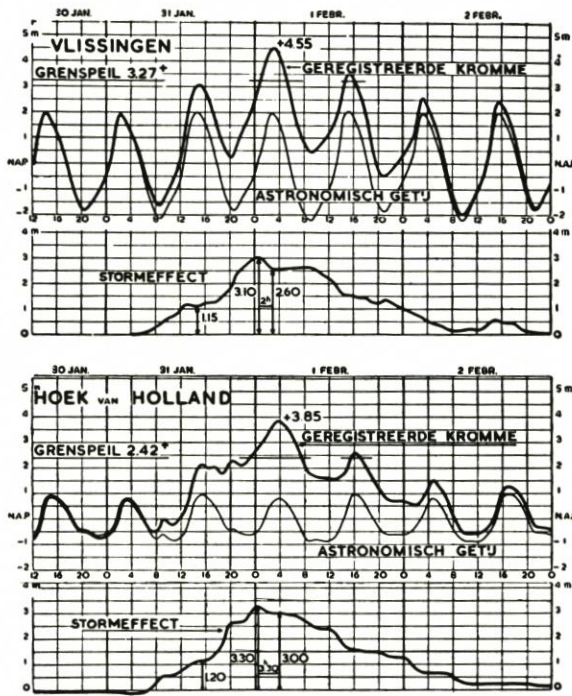


Abb. 2. Wasserstandskurven von Vlissingen und Hoek van Holland vom 30. Januar bis 2. Februar 1953
[Aus WEMELSFELDER (10)]

Sturmflut selbst in wissenschaftlichen Zeitschriften geschah, sind nicht haltbar.

Einen Überblick über den Verlauf des Wasserstandes entlang der ganzen niederländischen Küste beim Sturmfluthöchststand in der Nacht vom 31. Januar zum 1. Februar vermittelt Abbildung 3. Betrachten wir, um den richtigen Maßstab zu erhalten, zunächst die unterste Linie. Sie gibt die jeweilige Lage des mittleren Hochwassers (MThw) bei den angegebenen Orten wieder. Entsprechend dem großen Tidenhub von 4 m, liegt es im Westen des Landes, bei Vlissingen, verhältnismäßig hoch, nimmt dann nach Osten hin bis Den Helder ziemlich regelmäßig ab und steigt an den Küsten des Wattenmeeres mit zunehmendem Tidenhub wieder an. Die weiteren Linien stellen Häufigkeitswerte dar. Sie geben an, wie oft die entsprechenden Wasserstände in den vergangenen Jahrzehnten durchschnittlich im Jahr beobachtet wurden, beziehungsweise wahrscheinlich beobachtet worden wären, wenn die Registrierungen lange genug zurückreichen würden. Die Linie des sogenannten „Grenspeil“²⁾ mit der Häufigkeit 0,5 besagt also, daß dieser

²⁾ Durch Vereinbarung zwischen den holländischen Wasserbaubehörden und Hydrographen stellt dieser Wert für jeden Ort die Sturmflutgrenze („Grenspeil“) dar. Er variiert von Ort zu Ort, und zwar etwa zwischen 1,80 und 2,20 m über MThw.

gegen ganz anders aus. Der nur schwache Tidefall von etwa 1,50 m, den man nach den Vorausberechnungen erwarten mußte, wird am Nachmittag des 31. Januar schon von dem in der südwestlichen Nordsee aufgestauten Wasser überdeckt. Der maximale Stau tritt infolgedessen hier zur Niedrigwasserzeit mit 3,30 m ein, nimmt danach allerdings nur wenig ab, so daß ein Sturmflutwasserstand von 3,85 m NAP beobachtet wird. Bei so verschiedenartigem Verlauf des Wasserstandes bei beiden Orten ist die Ähnlichkeit der Windstaukurven überraschend. Beginnend etwa gegen 6 Uhr am 31. Januar steigen sie achtzehn Stunden lang ziemlich gleichmäßig an und gehen erst nach anderthalb Tagen wieder auf Null zurück. Gerade diese Ähnlichkeit aber liefert den ersten Hinweis dafür — und die Betrachtung der Wetterlage wird es uns später bestätigen —, daß diese Sturmflut *im Ganzen* einen normalen Verlauf zeigte, wenn sie auch zu ungewöhnlich hohen Wasserstandswerten führte. Alle Versuche, die Sturmflut durch ein Seebeben, eine Bore, eine Flutwelle oder anders zu erklären, wie es insbesondere unmittelbar nach der

Wasserstand durchschnittlich einmal alle zwei Jahre auftritt. Betrachten wir nun den Verlauf der Sturmflutwasserstände entlang der Küste (die dicke Linie in Abb. 3), so sehen wir, daß von Vlissingen bis Den Helder die Linie des *Grenspeil* um nahezu den gleichen Betrag von etwa 1,75 m überschritten wird. Weiter nach Osten hin sind mehrere Linien eingetragen. Die obere bezeichnet den Verlauf des Wasserstandes entlang der Festlandsküste, beginnend bei Den Oever am Abschlußdamm des IJsselmeeres bis hin zum Dollart. Die untere, gestrichelte Kurve entspricht den Stationen an der Südseite der westfriesischen Inseln. Die dazwischenliegende Kurve wurde für die Seeseite der Inseln entworfen. Man sieht, daß bis zum Abschlußdamm an der Festlandsküste der Wasserstand ebenfalls noch etwa 1,75 m über der Sturmflutgrenze liegt. Die Nordseeküste der vorgelagerten Inseln weist aber auch hier schon weniger hohe Wasserstände auf, ein Zeichen dafür, daß der Windstau auf dem flachen Wattenvorland noch erhöht worden ist. Östlich von Den Oever verläuft die Wasserstandslinie vom 1. Februar dann zur Linie des *Grenspeil* geneigt: die Sturmflut erreichte immer geringere Höhen. Im Dollart schließlich kann nach der Definition von einer Sturmflut gar nicht mehr gesprochen werden. Wie die Häufigkeitslinien 0.01 und 0.001 andeuten, entspricht die Wasserstandslinie vom 1. Februar im Katastrophengebiet etwa einer Wahrscheinlichkeit von einmal in 400 bis 600 Jahren. Die aus früheren Jahren bekannten Höchstwerte von 1825, 1894 und 1906 liegen heute bei einer durchschnittlichen Häufigkeit von einmal in 100 Jahren. Betrachten wir in Abbildung 4 in ähnlicher Weise noch kurz den Windstau entlang der holländischen Küste, und zwar für das Hochwasser I (HW I) am 31. Januar mittags, das Hochwasser II (HW II) in der Nacht zum 1. Februar und das darauffolgende, mit Hochwas-

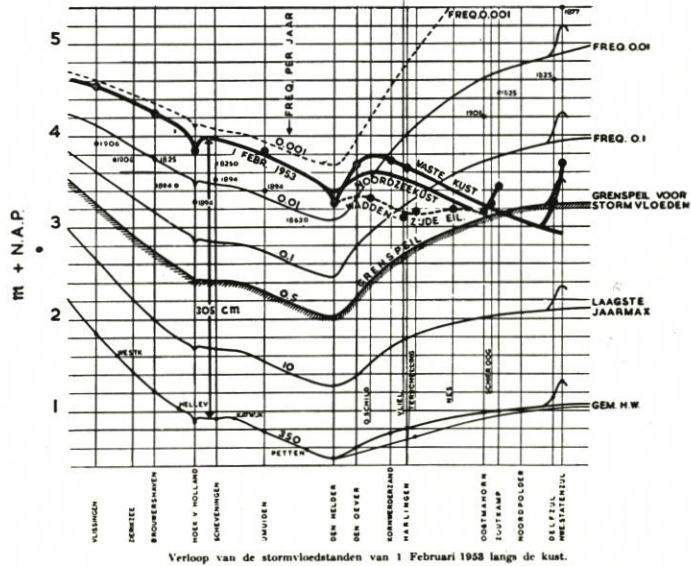


Abb. 3. Übersicht über die entlang der holländischen Küste beobachteten Wasserstände beim Sturmfluthochwasser [Aus: WEMELSFELDER (10)]

Das Diagramm zeigt den Verlauf der Wasserstände entlang der holländischen Küste am 1. Februar 1958. Die vertikale Achse (M + N.A.P.) reicht von 0 bis 5 Metern. Die horizontale Achse zeigt Stationen von Vlissingen bis Heligoland. Eine dicke gestrichelte Linie markiert den 'Grenspeil voor stormvloeden' bei ca. 1,75 m. Obere Kurven zeigen die 'Vaste kust' und 'Waddenzee'. Gestrichelte Kurven zeigen die 'Noordzee'. Häufigkeitslinien für 0.001, 0.01 und 0.1 sind eingezeichnet. Historische Wasserstände sind mit Daten wie 1825, 1894, 1906, 1925 und 1935 markiert.

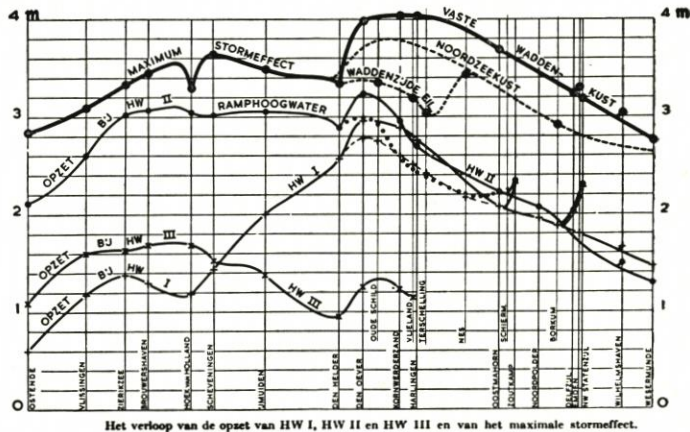


Abb. 4. Übersicht über die entlang der holländischen Küste beobachteten Windstauwerte während der Sturmfluten vom 31. Januar und 1. Februar 1953 [Aus: WEMELSFELDER (10)]

ser III (HW III) bezeichnete Mittagshochwasser. Im nordöstlichen Teil Hollands weisen das erste und das zweite Hochwasser gleichmäßig denselben Stau auf. Im Katastrophengebiet stellte das Mittagshochwasser am 31. Januar dagegen nur die Vorbereitung für den extremen Stau beim Nachthochwasser dar; der Windstau bei Hochwasser liegt dabei nur wenig unter dem maximal beobachteten Stau (40 bis 60 cm), während von Den Helder an ostwärts der maximale Stau 1 bis 1,50 m mehr betrug als zur Hochwasserzeit beobachtet wurde. Damit möchte ich den Überblick über die beobachteten Wasserstände zunächst beschließen und mich der Betrachtung der Sturmflutwetterlage zuwenden.

3. Die Wetterlage

Wir wollen dabei das Orkantief nicht nur auf seinem Weg über die Nordsee, in die es am 31. Januar vormittags eintrat, zurückverfolgen, sondern noch auf den Atlantischen Ozean hinaus, wo wir gewissermaßen seine Geburtsstunde miterleben können. In Abbildung 5 wollen

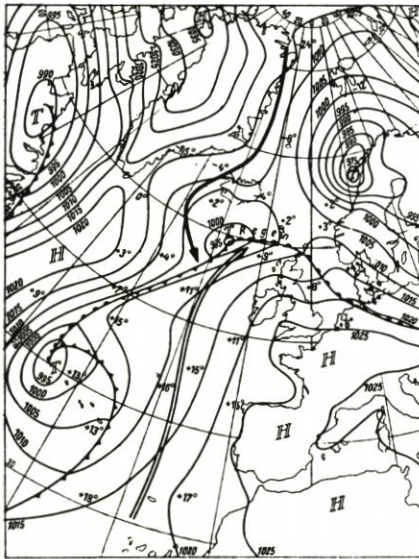


Abb. 5. Wetterlage vom 30. Januar 1953,
01 Uhr M.E.Z.

[Aus: RODEWALD (4)]

wir die Wetterlage am 30. Januar 01 Uhr morgens auf dem nördlichen Atlantik betrachten. Wir erkennen südlich von Island ein noch flaches Tief von 995 mb, das offenbar im Warmsektor des Tiefs bei den Azoren als sogenannte „Warmfrontwelle“ entstanden ist. 24 Stunden vorher war es auf der Wetterkarte noch nicht zu sehen. Das Azorentief lag damals noch etwa 8° nördlicher. Entsprechend der Strömung im Warmsektor hätte es eigentlich einen östlichen Kurs nehmen müssen. Durch den starken, einseitigen Druckgradienten auf seiner Rückseite war es aber nach Süden abgedrängt worden. Nur einem Teiltief war es gewissermaßen gelungen, der Strömung im Warmsektor zu folgen, eben jener in der Karte sichtbaren Welle bei etwa 60° N und 19° W. Wir können diesen Vorgang recht genau rekonstruieren, weil er gerade in der Nähe des dort stationierten Wetterschiffes „Weather Explorer“ vor sich ging. Die Druckregistrierung dieses Schiffes zeigt, daß anfänglich mit diesem neu entstandenen Tief gar nichts Besonderes los ist. Solche Warmfrontwellen beziehen ihre Energie fast immer einseitig aus dem Warmsektor. Sie laufen zwar meist sehr schnell, erschöpfen ihren Energievorrat aber bald und verlieren dann an Bedeutung. Etwas Ähnliches wäre wohl auch mit

unserem Tief hier geschehen. Betrachten wir nun aber die Wetterkarte. Darin sind zwei Pfeile eingezeichnet. Der eine, innerhalb des Warmsektors, kommt von Süden und zeigt an, daß die Vorderseite der Zyklone mit subtropischer Warmluft gespeist wurde, die im Ausgangspunkt Temperaturen von 18° aufweist. Der andere Pfeil aber macht deutlich, daß es dem Tief zum Zeitpunkt unserer Wetterkarte offenbar gelungen ist, den Kaltluftstrom anzuzapfen, der durch das Hoch über Grönland und das vor Nordnorwegen liegende Tief nach Süden gelenkt wird. Die Temperaturen im Ursprungsgebiet dieser Kaltluft liegen bei -24°. Auch nach ihrem langen Weg über das wärmere Wasser hat sich die Luft in der Nähe des Tiefs erst bis auf wenige Grade über Null erwärmt und weist damit immer noch einen Temperaturunterschied von 10° und mehr gegenüber der subtropischen Warmluft auf der Vorderseite der Zyklone auf. Unter dem Einfluß dieser gegensätzlich temperierten Luftmassen erhält nun das nach Osten ziehende Tief genügend Energie, um sich immer kräftiger zu verwirbeln. Dabei verliert es aber gleichzeitig seine hohe Zuggeschwindigkeit. Abbildung 6 zeigt die Wettersituation 24 Stunden später, am

31. Januar 01 Uhr. Das Tief hat sich inzwischen um 20 mb, auf 975 mb, vertieft. Es ist östlich gezogen und hat nur noch eine Geschwindigkeit von 30 km/h. Die Kaltluft ist jetzt bereits weit nach Süden vorgestoßen und engt den Warmsektor erheblich ein. Die Zufuhr frischer Warmluft aus subtropischen Gebieten hört auf. Damit ist das Tief auch schon bald auf dem Höhepunkt seiner Entwicklung angekommen. Wenig später erreicht es bei den Orkneys mit einem Kerndruck von 968 mb seinen tiefsten Wert. Auf seinem weiteren Weg durch die Nordsee vertieft es sich dann nicht mehr. Dafür treten aber zwei andere Ereignisse ein, die das Tief nun gerade für die südwestliche Nordsee so gefährlich werden ließen. Eines erkennen wir schon auf unserer Karte. Das über Grönland befindliche Hoch hat sich mit einem vom Westen heranwandernden Hoch verbunden und stößt nun rasch nach Osten vor, und zwar mit einer mittleren Geschwindigkeit von 50 km/h. Es gewinnt gegenüber dem nur mit 30 km/h ziehenden Tief damit laufend an Boden. Das Druckgefälle auf der Westseite des Tiefs hat bereits auf der Karte von 01 Uhr ein ungewöhnliches Ausmaß angenommen. Es steigert sich durch das rasche Vordringen des Hochdruckgebietes von Stunde zu Stunde. Abbildung 7 zeigt das Tief drei Stunden später bei den Orkneys auf dem Höhepunkt seiner Entwicklung. Die Kaltfront ist bis in die nördliche und mittlere Nordsee vorgedrungen. Hinter ihr hat der Wind zwar von SSW über SW auf etwa WNW gedreht, hat gleichzeitig aber zunächst wieder abgenommen. Das Feuerschiff S2, das den Kaltfrontdurchgang etwas später, gegen 07 Uhr, registrierte, meldete vorher SSW-Wind Stärke 9 und hinter der Front zunächst WNW 7—8. Die Kaltfront selbst bedeutete also, wie so häufig bei Sturmfluten übrigens, nicht die entscheidende Gefahr. Das eigentlich gefähr-

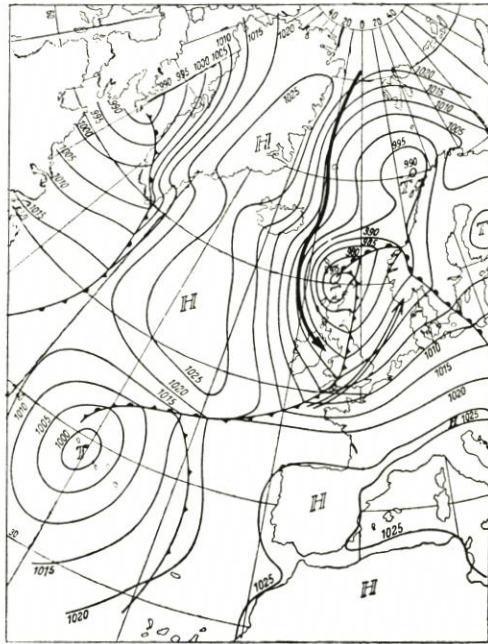


Abb. 6. Wetterlage vom 31. Januar 1953, 01 Uhr M.E.Z.

[Aus: RODEWALD (4)]

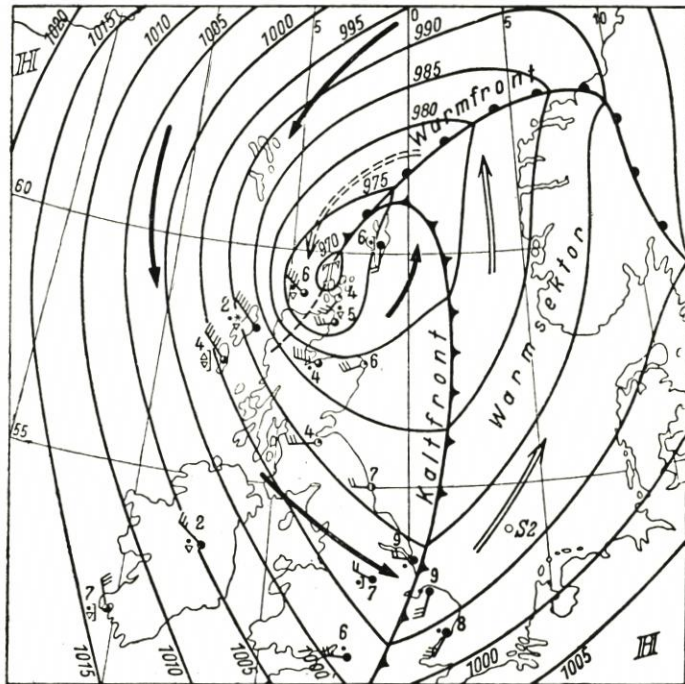


Abb. 7. Wetterlage vom 31. Januar 1953, 04 Uhr M.E.Z.

[Aus: RODEWALD (4)]

liche Gebiet liegt noch weiter westlich in der Zone des sogenannten „Tiefdrucktroges“. Dieser ist in der Karte als gestrichelte Linie eingetragen. Hier, im Gebiet des schärfsten Druckgradienten, dreht der Wind endgültig auf NW und NNW und erreicht dabei gleichzeitig volle Orkanstärke, 12 Bft. Um zu zeigen, wie ein solcher Trog entsteht, müßte man eigentlich auf Höhenwetterkarten zurückgreifen. Wenn wir uns hier um der Einfachheit willen auf die Betrachtung von Bodenwetterkarten beschränken, so dürfte die hier gezeigte Karte am ehesten eine Vorstellung von den Vorgängen vermitteln, die zu einem Tiefdrucktroge führen. Es handelt sich dabei sowohl um

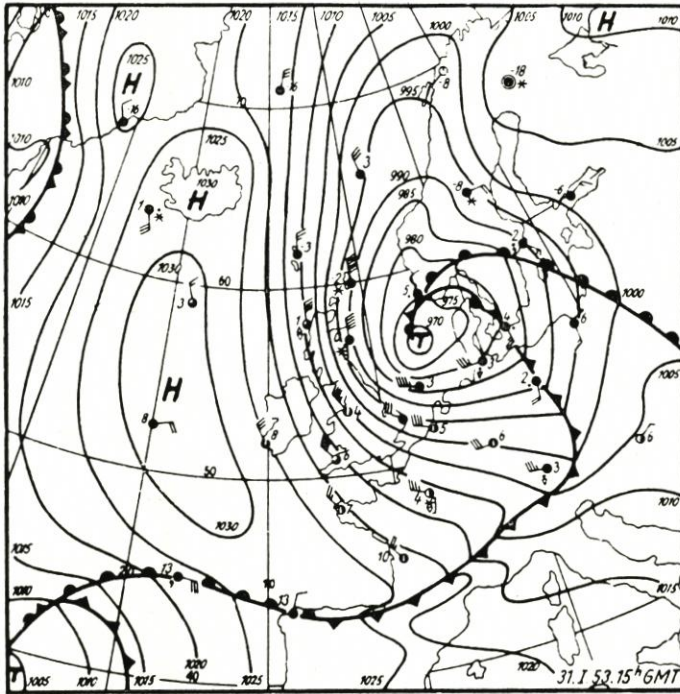


Abb. 8. Wetterlage vom 31. Januar 1953, 16 Uhr M.E.Z.
[Aus: KRUHL (2)]

zum Beispiel auch nachgewiesen werden, daß die Sturmflut vom 9./10. Februar 1949, die an der Westküste Schleswig-Holsteins einen maximalen Stau bei Niedrigwasser von 5,70 m hervorrief, der Wirkung eines solchen Tiefdrucktroges zuzuschreiben war (9). Im Falle des Holland-Orkans war die Trogbildung aber besonders verhängnisvoll. Sie bedeutete praktisch eine Zurückverlegung des Orkanfeldes nach Westen bei nur langsamer Gesamtverlagerung der Zyklone nach Osten, gleichzeitig aber schnellem Nachstoßen des Hochs von Westen her. Eine zweite, gerade für die südliche Nordsee entscheidende Folge des Trogdruckfalles war, daß die Zugrichtung der Zyklone sich änderte. Auf Grund des Druckfalles im Warmsektor hätte sie eigentlich nach Osten weiterziehen müssen. Mit der Ausbildung des Troges gewinnt aber der Trogdruckfall südöstlich des Tiefkernes die Oberhand. Er beträgt 04 Uhr zum Beispiel in Schottland und bei den Orkneys 9 mb in drei Stunden. Dadurch wird das Tief nach Südosten umgelenkt und zieht zunächst in Richtung auf die Westküste Dänemarks. Abbildung 8 zeigt die Wetterlage zwölf Stunden später, am 31. Januar 16 Uhr.

An dieser Stelle möge eine Bemerkung zur Frage der Sturmflutvorhersage eingeflochten werden. Sowohl beim niederländischen als auch bei unserem deutschen Sturmflutwarndienst liegen hinreichende Unterlagen vor, um bei bekanntem Ablauf des Wettergeschehens eine zuverlässige Vorhersage des Wasserstandes zur Hochwasserzeit zu machen. Als am 31. Januar der Sturmflut-

dynamische als auch thermische Vorgänge. Das Divergieren, das heißt das Auseinanderströmen der Luft, das in der Nähe des Tiefkernes im Gebiet hinter der Kaltfront an der Auffächerung der Isobaren erkenntlich ist, führt zu einem Druckfall südöstlich des Kernes, wo durch das Auseinanderströmen der Luftmassen gewissermaßen ein Loch entsteht. Weiter wird dieser Druckfall verstärkt in dem Augenblick, wo die in der Höhe inzwischen um den Tiefkern herumgeholtte Warmluft mit einströmt. Der doppelt gestrichelte Pfeil im Bild soll diesen Vorgang kennzeichnen. Solche Trogbildungen finden wir bei jeder energiereichen Zyklone. Sie sind auch im Hinblick auf Sturmfluten die besonders zu fürchtenden Windfelder der Sturmflutzyklonen. In einer besonderen Untersuchung konnte

warndienst des Deutschen Hydrographischen Instituts um 17.20 Uhr, also acht Stunden vor Eintritt des Hochwassers in Cuxhaven, die Gefahr einer schweren Sturmflut für die Küsten der Deutschen Bucht ankündigte, lag die hier abgebildete Karte (Abb. 8) noch nicht vor. Die Vorhersage wurde auf Grund der 13-Uhr-Wetterkarte ausgegeben, die etwa gegen 16.30 Uhr beim Meteorologen fertig ausgezeichnet vorlag. Bekanntlich lag das Tief um 04 Uhr bei den Orkneys und sollte ohne die Einwirkung des Trogdruckfalles in östlicher Richtung weiterziehen. Mit dem Hinaustreten auf die Nordsee entzieht sich die weitere Entwicklung des Tiefdruckkerns aber der direkten Beobachtung. Es muß versucht werden, aus dem Gesamtbild der Wetterentwicklung sowie an Hand der Beobachtungen der jeweiligen Küstenstationen die weitere Zugrichtung, Vertiefung oder Auffüllung des Tiefs und seine weitere Zuggeschwindigkeit zu erkunden. Nach den vorliegenden Unterlagen wurde mit einem Abschnen des Tiefs nach Südosten gerechnet und seine Lage für den 1. Februar morgens über Südschweden angenommen. In diesem Falle hätte während der Nacht die ganze Nordsee unter schwerem Nordweststurm gestanden. Betrachten wir nun die Karte von 16 Uhr. Die Lage des Kerns mit 970 mb ist darin bei nachträglicher, sehr sorgfältiger Analyse und der aus dem weiteren Wetterablauf bekannten Zugrichtung als gesichert anzusehen. Vom Standpunkt der Vorhersage am Nachmittag des 31. Januar sind aber nur einige Luftdruckwerte für die 975-mb-Isobare bekannt. Der Tiefkern selbst entzieht sich noch der unmittelbaren Beobachtung. Erst drei Stunden später (Abb. 9) gestatten die Beobachtungen einiger Feuerschiffe eine genauere Festlegung. Hier ist nun der schon bei den Orkneys begonnene Prozeß in seinem Endstadium zu erkennen: der Trogdruckfall hat zur Abspaltung eines selbständigen Tiefdruckkerns geführt, und zwar südlich von der bisherigen Zugrichtung des Tiefs. Das alte Tief ist im Skagerrak noch zu erkennen, verliert seine Selbständigkeit nun aber sehr schnell. Auf der nächsten Karte (Abb. 10), die die Darstellung der Wetterlage abschließen soll, sehen wir noch das Trogtief, das jetzt, gerade zur Hochwasserzeit in der Deutschen Bucht, genau über der Elbmündung liegt. Das ist

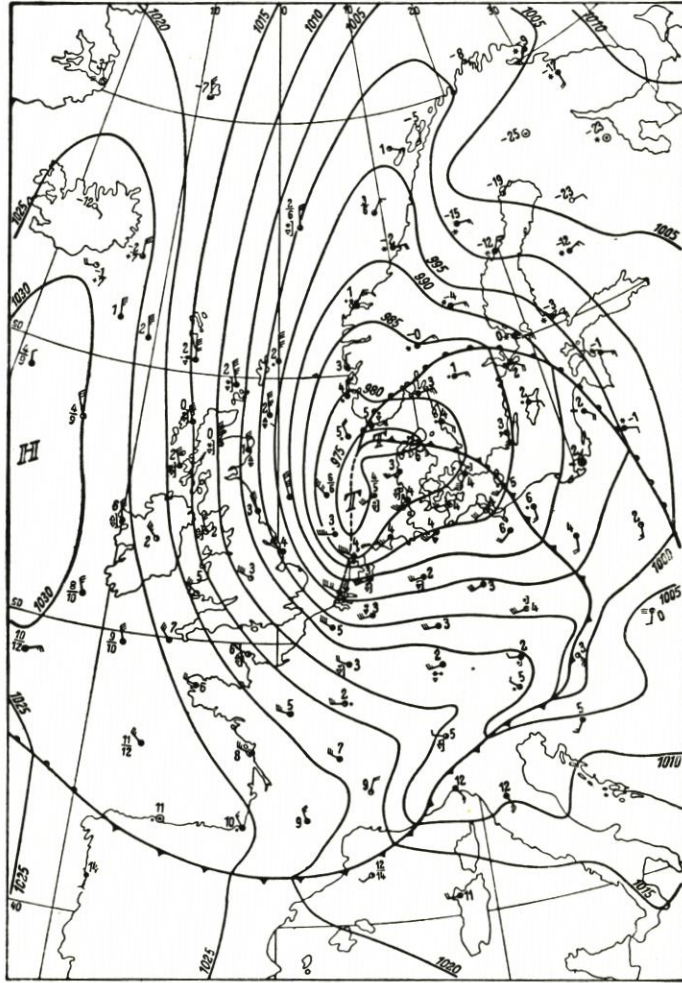


Abb. 9. Wetterlage vom 31. Januar 1953, 19 Uhr M.E.Z.

[Aus: RODEWALD (4)]

Abb. 9) gestatten die Beobachtungen einiger Feuerschiffe eine genauere Festlegung. Hier ist nun der schon bei den Orkneys begonnene Prozeß in seinem Endstadium zu erkennen: der Trogdruckfall hat zur Abspaltung eines selbständigen Tiefdruckkerns geführt, und zwar südlich von der bisherigen Zugrichtung des Tiefs. Das alte Tief ist im Skagerrak noch zu erkennen, verliert seine Selbständigkeit nun aber sehr schnell. Auf der nächsten Karte (Abb. 10), die die Darstellung der Wetterlage abschließen soll, sehen wir noch das Trogtief, das jetzt, gerade zur Hochwasserzeit in der Deutschen Bucht, genau über der Elbmündung liegt. Das ist

der Grund, warum unsere deutsche Nordseeküste in jener Nacht von einer schweren Sturmflut verschont blieb. Durch diese für uns so günstige Entwicklung erhöhte sich für die südwestliche Nordsee die Gefahr jedoch abermals. Das Gebiet des tiefen Druckes war durch diese Tiefabsplattung erneut gewissermaßen nach Westen zurückverlegt worden — es hätte ja eigentlich schon über Südschweden sein müssen —, während das Hoch mit 1030 mb schon unmittelbar vor der irisch-schottischen Küste angelangt ist.

4. Die beobachteten meteorologischen Extremwerte

Aus der Kenntnis der Wetterentwicklung läßt sich nunmehr erklären, warum gerade dieser Sturm einen so verhängnisvollen Einfluß auf die Nordsee haben konnte. Die beobachteten Wind-

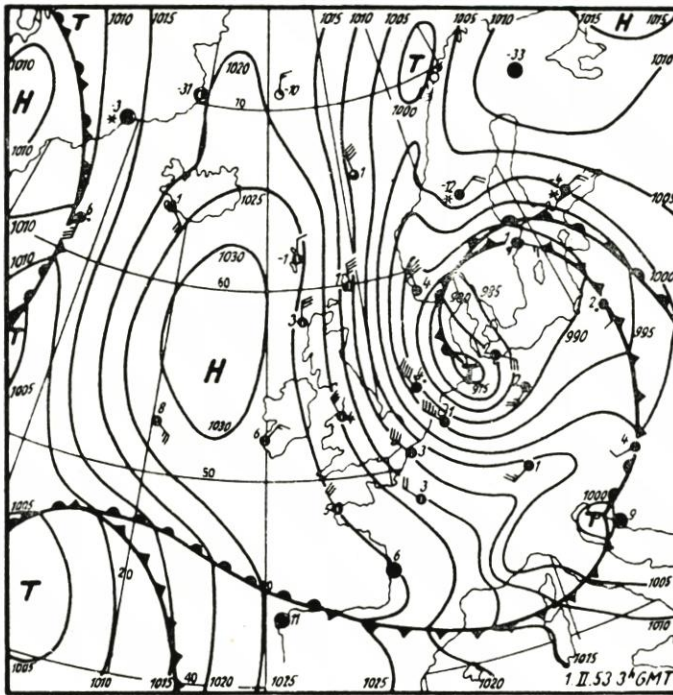


Abb. 10. Wetterlage vom 1. Februar 1953, 04 Uhr M.E.Z.
[Aus: KRUHL (2)]

geschwindigkeiten an der holländischen Küste stellten ja keineswegs bisher noch nie beobachtete Extremwerte dar. Man kann aus jüngster Zeit leicht auf einen Sturm verweisen, der zum Teil beträchtlich höhere Geschwindigkeiten, ebenfalls aus dem Nordwestquadranten, aufwies: der Sturm vom 1. März 1949. Damals wurde eine mittlere maximale Windgeschwindigkeit von 29,5 m/sec gegenüber „nur“ 25 m/sec 1953 und eine entsprechende mittlere Böengeschwindigkeit von maximal 38,5 m/sec gegen wiederum „nur“ 34 m/sec 1953 gemessen. Nicht in bezug auf die Windgeschwindigkeiten stellt der Orkan vom Februar 1953 für die holländische Küste etwas Außergewöhnliches dar, sondern in bezug auf die Dauer. Seit Beginn systematischer meteorologischer Beobachtungen in den Niederlanden im Jahre 1898 hatte noch kein Sturm mit Windstärke 9 oder mehr länger als zwölf Stunden gedauert. Im Februar 1953 dauerte, wie in der Abbildung 11 noch einmal dargestellt ist, ein solcher Sturm im gesamten westlichen Gebiet der Nordsee bis hinauf zu den Färöern vierundzwanzig Stunden und im begrenzten Seegebiet der südwestlichen Nordsee sogar dreißig Stunden an. Das ist der eigentliche „Rekord“ dieses Orkans. Er ist allein dem geschilderten Gegeneinanderwirken des einerseits rasch nach Osten vordringenden Hochdruckgebietes und der ständigen Rückwärtsverlagerung neuer Druckfallgebiete nach Westen zuzuschreiben, einer Entwicklung, die in den ersten Stunden des 31. Januar mit dem Einsetzen des außerordentlich kräftigen Trogdruckfalles über Schottland begann. Das zeigt sehr eindrucksvoll auch die linke Darstellung der Abbildung 11, in der die zeitliche Verschiebung des Orkangebietes mit Windstärke 10 oder mehr erkennbar ist. Zunächst verlagert es sich rasch nach ESE (vgl. die Lage der Linien für 30. 1. 18 Uhr und 31. 1. 18 Uhr). Vom 31. Januar 18 Uhr an, wo bereits die gesamte westliche Nordsee erfaßt ist, wandert es aber nicht weiter nach Osten, sondern konzentriert sich allmählich im-

der holländischen Küste stellten ja keineswegs bisher noch nie beobachtete Extremwerte dar. Man kann aus jüngster Zeit leicht auf einen Sturm verweisen, der zum Teil beträchtlich höhere Geschwindigkeiten, ebenfalls aus dem Nordwestquadranten, aufwies: der Sturm vom 1. März 1949. Damals wurde eine mittlere maximale Windgeschwindigkeit von 29,5 m/sec gegenüber „nur“ 25 m/sec 1953 und eine entsprechende mittlere Böengeschwindigkeit von maximal 38,5 m/sec gegen wiederum „nur“ 34 m/sec 1953 gemessen. Nicht in bezug auf die Windgeschwindigkeiten stellt der Orkan vom Februar 1953 für die holländische Küste etwas Außergewöhnliches dar, sondern in bezug auf die Dauer. Seit Beginn systematischer meteorologischer Beobachtungen in den Niederlanden im Jahre

mer stärker auf das Gebiet der südwestlichen Nordsee. Auch wenn man die Wetterkarten im einzelnen (Abb. 5 bis Abb. 10) gar nicht kennt, kann man an Hand dieser beiden Darstellungen über die Verbreitung und Dauer des Sturmes unschwer erkennen, daß ein solcher Sturm aus NNW eine äußerst bedrohliche Lage für die holländische Küste darstellen muß. Es ergibt sich daraus auch deutlich, daß der beobachtete maximale Wasserstand nicht aus einer „Sturmflutwelle“ oder dergleichen hervorgegangen sein kann, sondern den Endzustand einer allmählich sich einstellenden Neigung der gesamten Oberfläche der Nordsee darstellen muß. Durch den Orkan wurde in der gesamten Nordsee eine südliche Strömung hervorgerufen, die beim Auftreffen auf die Küsten der südwestlichen Nordsee einen Anstau und damit ein Steigen des Wasserstandes hervorrief. Jede so erzeugte Höhenänderung der Lage des Meeresspiegels bewirkt aber in einer festen Meerestiefe, beziehungsweise am Meeresboden, ein Druckgefälle und dadurch einen Gradientenstrom, der von Land nach See gerichtet ist. Im Gleichgewicht der Kräfte wird die Oberflächenströmung, die zu weiterem Anstau an der Küste führen würde, durch das in der Tiefe abströmende Wasser ausgeglichen. Bei der langen Dauer des Orkans kann man damit rechnen, daß bei der Sturmflut im Februar 1953 vor der holländischen Küste dieser Gleichgewichtszustand erreicht war.

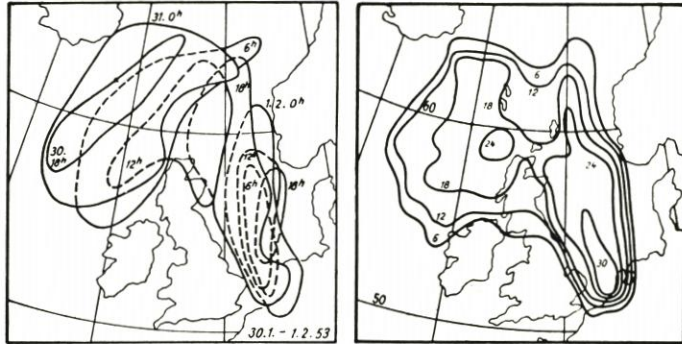
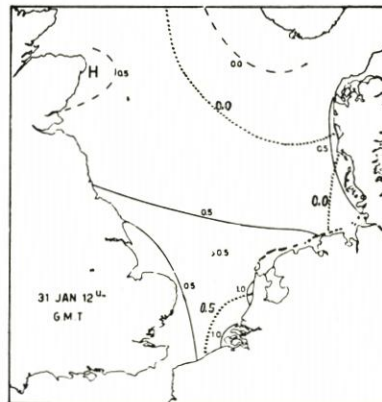


Abb. 11. Übersicht über die Ausdehnung der Orkangebiete und die Dauer des Sturmes in der Zeit vom 30. Januar bis 1. Februar 1953 [Aus: KRUHL (2)]

5. Der Aufbau der Sturmflut in der Nordsee

Zwei ausländische Ozeanographen, der Niederländer GROEN und der Engländer ROSSITER, haben versucht, den allmählichen Aufbau der Sturmflut und ihr Abklingen an Hand der Wasserstandsbeobachtungen aller Anliegerstaaten der Nordsee darzustellen. Die Abbildungen 12 bis 15 zeigen einige der von GROEN entworfenen Karten mit „Linien gleichen Windstaus“. In jede zweite Karte ist mit gepunkteten Linien die entsprechende Darstellung ROSSITERS eingezeichnet. So sehr beide in Einzelheiten manchmal voneinander abweichen, so geben sie im Prinzip doch das gleiche Bild. Am 31. Januar 12 Uhr (Abb. 12) ist der bei den einzelnen Küstenorten festgestellte Windstau offenbar noch stark örtlich bedingt. Hier differieren beide



Nevenstaande figuren laten de verdeling van het windeffect over de Noordzee zien voor een aantal tijdstippen tijdens de stormvloed. De lijnen zijn lijnen van gelijk wind-effect, d.w.z. gelijke verhoging van het waterpeil door de wind; de getallen zijn aantallen meters verhoging.

Abb. 12. Windstauverteilung am 31. Januar, 13 Uhr M.E.Z. Hinweis für die Abb. 12 bis 15. Die Neigung der Meeresoberfläche der Nordsee vom 31. Januar bis 2. Februar, dargestellt durch „Linien gleichen Windstaus“

[Aus: GROEN (1) und ROSSITER (5) GROEN - - - - ROSSITER]

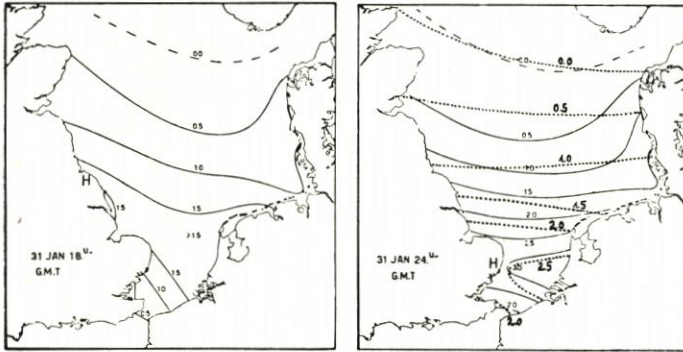


Abb. 13. Windstauverteilung am 31. Januar 1953, 19 Uhr, und 1. Februar 1953, 01 Uhr M.E.Z.

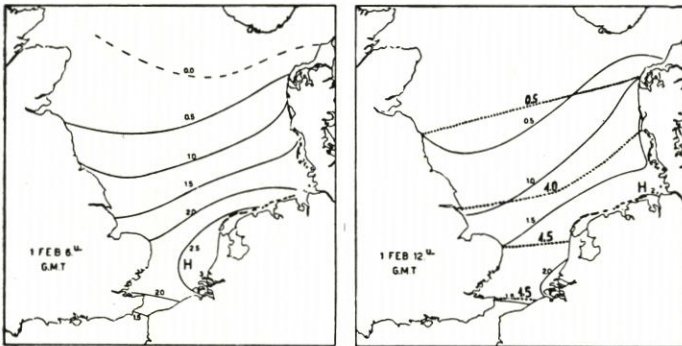


Abb. 14. Windstauverteilung am 1. Februar 1953, 07 und 13 Uhr M.E.Z.

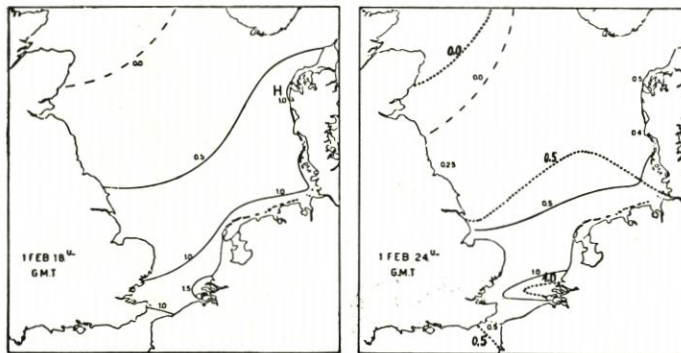


Abb. 15. Windstauverteilung am 1. Februar 1953, 19 Uhr, und 2. Februar 1953, 01 Uhr M.E.Z.

der Oberfläche durchgesetzt hat. Die Linien gleichen Windstaus verlaufen jetzt von Südwesten nach Nordosten, deutlicher noch sechs Stunden später, um 12 Uhr. Noch immer aber befindet sich das Maximum des Staus vor der südwestholländischen Küste. Die letzten beiden Darstellungen vom Abend des 1. Februar (Abb. 15) zeigen die weitere Rückkehr zu normalen Verhältnissen. Es ist offensichtlich, daß solche Entwürfe mit „Linien gleichen Windstaus“ einen recht guten

Auffassungen; es handelt sich zunächst aber um nur geringe Beträge des Windstaus. Am 31. Januar 18 Uhr (Abb. 13) entwickelt sich bereits der allmähliche Anstieg der Meeresoberfläche von Norden nach Süden. Um 00 Uhr, etwa zur Zeit des Katastrophenhochwassers vor der holländischen Küste, sehen wir das Maximum mit 2,50 beziehungsweise 3,00 m im Seegebiet der Hoofden. Weiter zum Kanal hin nimmt der Windstau wieder ab, weil dieser wie ein „Sicherheitsventil“ wirkt und einen nicht unerheblichen Teil des von Norden herangeführten Wassers aufnimmt. Die ursprünglich von Nordwesten nach Südosten verlaufenden Linien sind jetzt west-östlich gerichtet. Infolge der ablenkenden Kraft der Erdrotation werden alle Strömungen im Meere nach rechts abgelenkt. Am 31. Januar 18 Uhr setzt die Strömung also anscheinend noch nach Süden, da sie zur englischen Küste hin abgelenkt worden ist. Sechs Stunden später ist dagegen der Höchststand und ein Stillstand der Strömung eingetreten. Weitere sechs Stunden später (Abb. 14) hat der Ausstrom begonnen. Über der Nordsee herrscht zwar noch immer Nordsturm. Dieser ist aber inzwischen auf Windstärken von 9 bis 10 Bft zurückgegangen. Damit ist der Gleichgewichtszustand zwischen Oberflächen- und Tiefenströmung so gestört, daß der Ausstrom sich auch an

Einblick in den Mechanismus dieser Sturmflut in der gesamten Nordsee vermitteln können.

Es muß allerdings einschränkend darauf hingewiesen werden, daß diese Darstellungen nur als erste Versuche gewertet werden dürfen, da sie eigentlich mit unzulänglichen Beobachtungen unternommen werden. Es liegen ja nur Küstenbeobachtungen vor. Es sei auf die eingangs gezeigte Darstellung des Verlaufs des Wasserstandes an der holländischen Küste (Abb. 3 und 4) verwiesen. Dort waren für das Gebiet des Wattenmeeres drei Linien eingezeichnet worden, für die Festlandsküste und die Watt- und Seeseite der vorgelagerten Inseln. Es war daraus zu entnehmen, daß bis zu 25 % des an der Festlandsküste beobachteten Staus dem Einfluß der flachen Wattgebiete zugeschrieben werden mußten. In einer eigenen Veröffentlichung (8) wurde schon darauf hingewiesen, daß besonders an Küsten mit ausgedehnten Flachwassergebieten nicht ohne weiteres aus dem dort beobachteten Windstau auf den Stau im freien Seegebiet geschlossen werden darf. Zur Erläuterung dienen die Abbildungen 16 und 17 aus der damaligen Untersuchung. Damals während eines Wintermonats im Gebiet der inneren Deutschen Bucht sechs Hochsee-

pegel ausgelegen. Aus den Wasserstandsbeobachtungen dieser Zeit wurde der Gezeitenanteil eliminiert und den so verbleibenden Kurven die Windstauwerte von 3 zu 3 Stunden entnommen. Diese ergaben dann zusammen mit denen mehrerer Küstenorte und einiger vorgeschobener Pegelstationen (Rotesand-Leuchtturm, Mellum-Plate, Neuwerk und andere) ein verhältnismäßig engmaschiges Netz für synoptische Windstaukarten. Eine solche Karte für den Fall eines steifen auflandigen Windes, im Mittel Beaufort 6, zeigt Abbildung 16. Die Karte enthält Linien gleichen Windstaus von 10 cm. Nur einige Meilen von der schleswig-holsteinischen Küste entfernt ist der Windstau auf etwa 60 % des Betrages an der Küste selbst ab-

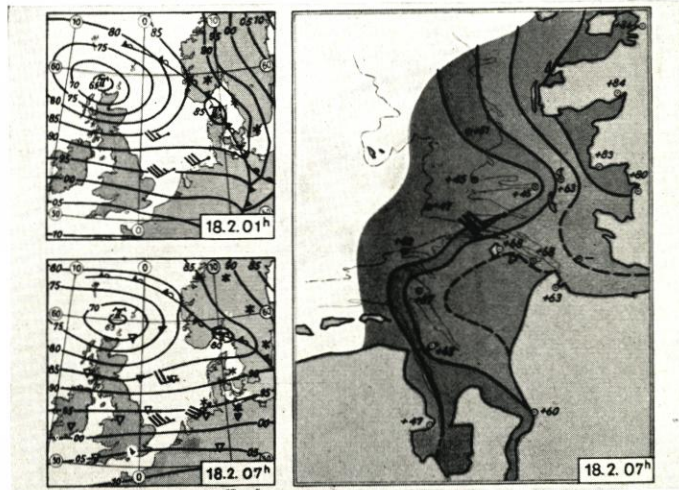


Abb. 16. Windstauverteilung bei auflandigem Wind und einheitlichem Windfeld

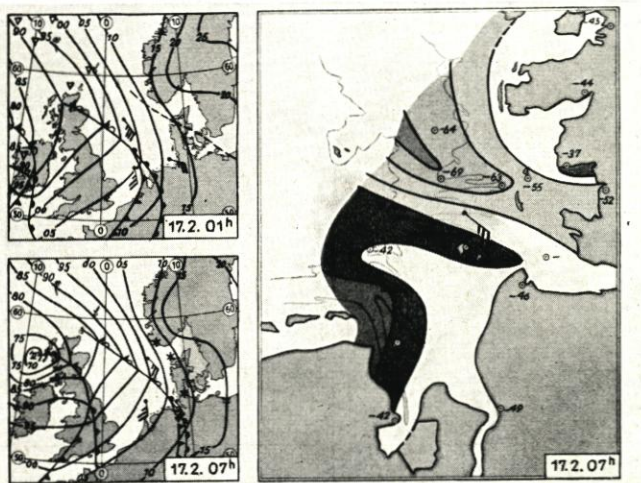


Abb. 17. Windstauverteilung bei ablandigem Wind und uneinheitlichem Windfeld

Anmerkung: Abb. 16 und 17. Neigung der Meeresoberfläche in der Deutschen Bucht als Folge der Einwirkung des Windes, dargestellt durch „Linien gleichen Windstaus“

gesunken, während dagegen die ausgedehnten Bänke und Sände vor der Küste des Landes Wursten großflächig nahezu die gleichen Werte aufweisen. Dieses Bild entspricht, wie die danebenstehende Wetterkarte (Abb. 16) erkennen läßt, einem ziemlich gleichmäßigen Strömungsfeld des Windes. Ein zweites Beispiel soll die Wirkung eines uneinheitlichen, diesmal ablandigen Windfeldes aufzeigen (Abb. 17). Man sieht, wie sich die Uneinheitlichkeit des Windfeldes in einer merkwürdigen Deformation der Meeresoberfläche widerspiegelt, in der sich anscheinend eine Art Trog in Richtung der auf der Wetterkarte erkenntlichen Front ausgebildet hat. So sehr solche Entwürfe also für die gesamte Nordsee eine Vorstellung vom Sturmflutmechanismus vermitteln können, müssen sie doch mit Kritik und Vorsicht betrachtet werden. Daß sie den wirklichen Zustand der Nordsee annähernd richtig erfassen, geht daraus hervor, daß auch Rechnungen ähnliche Bilder ergeben, wie einige Vorträge während der Sturmfluttagung der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik im September vorigen Jahres in Rom zeigten.

6. Die Ursachen der Deichbrüche

Fassen wir zusammen, was sich aus dem Wetterablauf und den Aufzeichnungen der Wasserstände über die Ursache der Sturmflutkatastrophe in Holland aussagen läßt: ein normalerweise

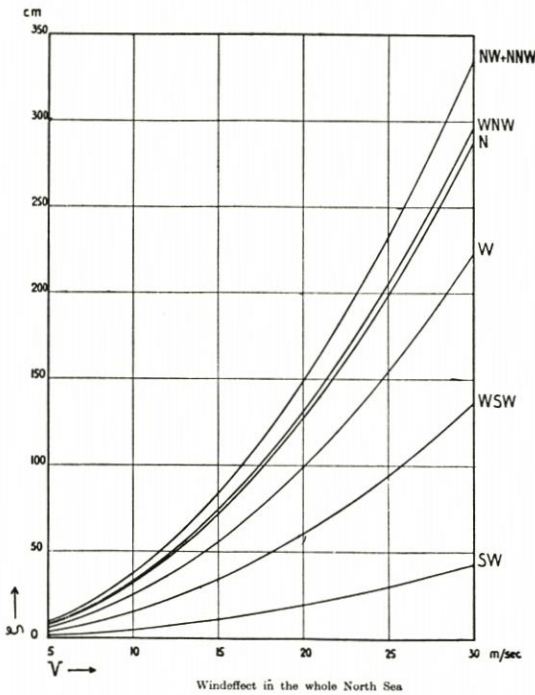


Abb. 18. Beziehung zwischen Windrichtung, Windstärke und Windstau, berechnet für Hoek van Holland [Aus: SCHALKWIJK (6)]

NNW-Wind ergibt danach bei 30 m/sec einen Windstau von etwa 340 cm. Tatsächlich beobachtet wurden 328 cm, also etwas weniger, was durchaus dem entlastenden Einfluß der Straße von Dover zugeschrieben werden kann. Der einem solchen Windstau entsprechende Wasserstand

schnelllaufendes und kurzlebige Tief, das als sogenannte „Warmfrontwelle“ entstand und den für winterliche Verhältnisse völlig „normalen“ Kerndruck von 968 mb erreichte, bewirkte einen Orkan von bisher noch nicht beobachteter Dauer, da sein stark ausgeprägter Trogdrukfall einem rasch nach Osten vordringenden Hochdruckgebiet immer neuen Widerstand entgegengesetzte und dadurch den Luftdruckgradienten laufend verschärfte oder aufrechterhielt. Dieser langdauernde Orkan, der über der gesamten Nordsee bis hinauf in das Gebiet des Nordmeeres einheitlich wütete, bewirkte eine Neigung der Meeresoberfläche in der gesamten Nordsee von Norden nach Süden³⁾. Die beobachtete Neigung der Meeresoberfläche entspricht den Vorstellungen, die wir für den Mechanismus einer Sturmflut im Gleichgewichtszustand der wirksamen Kräfte haben. Die für die aufgetretenen Windstärken von 30 m/sec = 11 Bft bei NNW-Winden zu erwartenden Höhen des Wasserstandes wurden tatsächlich beobachtet. Abbildung 18 gibt auf Grund von Unterlagen des niederländischen Sturmflutwarndienstes eine Darstellung zur Voraussage des Wasserstandes, die für Hoek van Holland entworfen wurde.

³⁾ Es sei hier erinnert, daß bei örtlicher Windstille in Cuxhaven noch ein Stau von 1,40 m und bei ablandigen Winden in Husum ein solcher von 1,33 m beobachtet wurde.

reichte vielerorts bereits aus, insbesondere an den weiter landeinwärts gelegenen niedrigeren Deichen, diese zu überspülen und dabei die Binnenseite so stark auszukolken, daß ein Teil der Deichbrüche allein daraus zu erklären ist. Der über der gesamten Nordsee tobende Orkan warf nun aber auch einen Seegang von bisher selten erreichtem Ausmaß auf. Die auf freier See beobachteten Wellenhöhen betragen in der nördlichen und mittleren Nordsee nach englischen Angaben bis zu 9 m bei gleichzeitig verhältnismäßig kurzen Perioden von 8 bis 10 Sekunden. Beim Feuerschiff S 2 und vor der holländischen Küste wurden Höhen von 6 bis 7 m bei ähnlichen Wellenperioden gemessen. Es kann kein Zweifel darüber sein, daß dieser Seegang sich bei dem hohen Wasserstand in den weiten Meeresarmen zwischen den südwestholländischen Inseln tief in die Meeresarme hinein fortpflanzte und dort durch Reflektion, Beugung und Brandung eine Kreuzsee von sicherlich ungewöhnlichem Ausmaß hervorgerufen hat. Deshalb kann man, was dem ersten Augenschein zunächst zu widersprechen schien, den Seegang auch für viele der Deichbrüche verantwortlich machen, die an den leeseitigen Deichstrecken entstanden sind.

7. Voraussage der Sturmfluthöhen

Damit wir nicht nur einen unverbindlichen Rückblick auf eine Katastrophe getan haben, die in ihren Auswirkungen wohl kaum jemand vorherzusagen gewagt hätte, sollen abschließend die beiden „Rekorde“ dieser Sturmflut, nämlich die beobachteten Sturmfluthöhen und die extreme Dauer des Sturmes, noch einmal kurz daraufhin untersucht werden, ob man eigentlich mit ihnen hatte rechnen müssen und ob solche „Rekorde“ nicht auch an den Küsten der Deutschen Bucht zu erwarten sind. So sehr in der Öffentlichkeit, auch in Fachkreisen übrigens, ursprünglich die Meinung vertreten wurde, es habe sich bei dieser Sturmflut um ein unvorhergesehenes, einmaliges Naturereignis gehandelt, haben wir beim deutschen Sturmflutwarndienst vom ersten Tage an den Standpunkt vertreten, daß zwar dieser Sturm sicher ein seltenes Ereignis bedeutete, im Zusammenhang mit ihm aber mit den aufgetretenen Wasserständen durchaus gerechnet werden mußte. Die inzwischen von vielen Seiten dazu veröffentlichten Untersuchungen haben diese Meinung bestätigt.

Die Untersuchungen über den bei verschiedenen Windstärken und -richtungen an der holländischen Küste zu erwartenden Windstau lagen seit 1946 in der soeben gezeigten Form vor. Auch schon vorher aber deuteten die Unterlagen auf die Möglichkeit solcher hohen Wasserstände hin. Außerdem war der niederländische Ingenieur WEMELSFELDER mit Methoden, die durch die Wahrscheinlichkeitstheorie gestützt wurden, schon 1939 zu dem Ergebnis gekommen, daß mit der freilich geringen Wahrscheinlichkeit von 2 bis 3 ‰, das heißt durchschnittlich einmal in 400 Jahren, Wasserstände, wie sie 1953 beobachtet wurden, an der holländischen Küste zu erwarten sind. Die vor dem 2. Weltkrieg von der niederländischen Regierung eingesetzte Sturmflutkommission hatte sich diesem Ergebnis angeschlossen und die Forderung erhoben, die Deiche um 1 bis 2 m zu erhöhen oder aber die Meeresarme durch Dämme ganz von der See abzuschließen. Es ist bekannt, daß bei einer solchen Maßnahme gleichzeitig Fortschritte im Kampf gegen die Versalzung der niederländischen Marschen erzielt werden könnten. Der Krieg bedeutete für alle diese Projekte eine Zwangspause. Einige im Krieg durchgeführte Deichbauten wurden allerdings gleich auf das neue Bestick gebracht. Nach dem Krieg hat man die Pläne zwar wieder aufgenommen, aber wegen verschiedener finanzieller und rechtlicher Schwierigkeiten und offenbar wohl auch unter dem Eindruck der an sich geringen Wahrscheinlichkeit von 2 bis 3 Promille nicht mit der wünschenswerten und notwendigen Intensität. Wir können jedenfalls feststellen: die Sturmflut vom 1. Februar 1953 in Holland hat die auf statistischen und theoretischen Rechnungen und Überlegungen fußenden Voraussagen eines möglicherweise so hohen Wasserstandes bestätigt. Fragen wir also: welche Wasserstände wären nach den entsprechenden Unterlagen an den Küsten der Deutschen Bucht zu erwarten?

8. Möglichkeit hoher Wasserstände an der deutschen Nordseeküste

Abbildung 19 zeigt die Abhängigkeit des Windstaus von der Windgeschwindigkeit und Windrichtung für drei Orte der deutschen Nordseeküste: Emden, Cuxhaven und Husum. Diese Darstellung, die im Deutschen Hydrographischen Institut als Unterlage für den Sturmflutwarn-dienst erarbeitet wurde, ist allerdings noch nicht als eine endgültige zu betrachten. Die Verar-beitung eines größeren Zahlenmaterials unter neuartigen Gesichtspunkten ist im Gange. Die hier gezeigte Darstellung läßt erkennen, daß von den drei Orten Husum am meisten gefährdet ist, wahrscheinlich wohl durch seine Lage am Ende des von Hever und Aue gebildeten „Trichters“. Einer Windgeschwindigkeit von 30 m/sec = 11 Bft würde hier ein Windstau von 4.15 m ent-sprechen⁴⁾. Im Anschluß an die Untersuchungen von WE-MELSFELDER hat Dipl.-Ing. HUNDT ebenfalls langjährige Beobachtungsreihen von Was-serständen, und zwar von mehreren Orten der West-küste Schleswig-Holsteins, statistisch bearbeitet. Wie dem Manuskript dank des Entgegenkommens von Herrn HUNDT⁵⁾ entnommen wer-den konnte, hat er für Husum einen „maßgebenden Sturmflutwasserstand“, für den die Wahrscheinlichkeit einmal in hundert Jahren gilt, von 5,90 m NN = 4,40 m über MThw angege-ben. Dieser Wert liegt abso-lut in der gleichen Größen-ordnung wie für West-sturm Stärke 11 angegebene

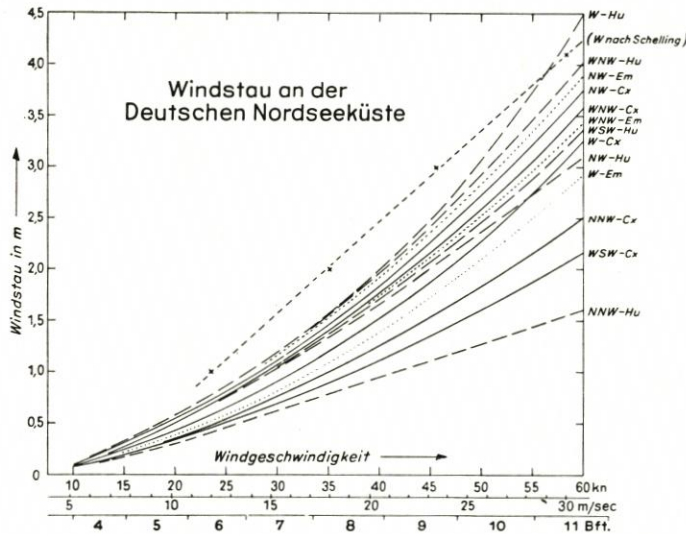


Abb. 19. Beziehung zwischen Windrichtung, Windstärke und Windstau, berechnet für Emden, Cuxhaven und Husum

Windstauwert von 4,15 m. Man wird auf Grund der Erfahrungen bei der Hollandsturmflut damit zweifellos gut tun, diesen Wert ernsthaft in die Überlegungen einzubeziehen.

Das Auftreten der genannten Sturmfluthöhen ist freilich an das Auftreten entsprechender Windgeschwindigkeiten gebunden, die außerdem lange genug andauern müssen. Die Frage nach der Möglichkeit solcher Wasserstände schließt damit automatisch die nach der Möglichkeit entsprechender Wetterlagen ein. Auf dem Gebiet der Meteorologie sind die ineinandergreifenden Elemente, die das Wettergeschehen bestimmen, insbesondere infolge der dreidimensionalen Kombinationsmöglichkeiten aber so vielfältig, die vorliegenden Beobachtungsreihen dagegen so kurz, daß jeder verantwortungsbewußte Meteorologe sich scheuen wird, konkrete Aussagen über die Eintrittswahrscheinlichkeit einer solchen Wetterlage zu machen. Immerhin: keiner wird ernsthaft bezweifeln, daß nicht rein modellmäßig eine Lage denkbar ist, bei der über der gesamten Nordsee ein Orkan aus W bis NW von genügend langer Dauer herrschen würde.

⁴⁾ In der Darstellung ist die von SCHELLING (7) in seiner Untersuchung über die Sturmfluten an der schleswig-holsteinischen Westküste entworfene Bezugsgerade mit eingetragen. Den Punkt von 4,10 m hat SCHELLING aus der Sturmflut von 1825 rekonstruiert.

⁵⁾ Siehe Seite 99 und 147 in diesem Heft.

Im Anschluß an die Untersuchungen von WE-MELSFELDER hat Dipl.-Ing. HUNDT ebenfalls langjährige Beobachtungsreihen von Was-serständen, und zwar von mehreren Orten der West-küste Schleswig-Holsteins, statistisch bearbeitet. Wie dem Manuskript dank des Entgegenkommens von Herrn HUNDT⁵⁾ entnommen wer-den konnte, hat er für Husum einen „maßgebenden Sturmflutwasserstand“, für den die Wahrscheinlichkeit einmal in hundert Jahren gilt, von 5,90 m NN = 4,40 m über MThw angege-ben. Dieser Wert liegt abso-lut in der gleichen Größen-ordnung wie für West-sturm Stärke 11 angegebene

9. Sturmfluten im Dezember 1954

Daß eine ähnlich gefährliche Wetterentwicklung wie 1953 in der westlichen Nordsee jederzeit auch in der östlichen Nordsee eintreten kann, unterliegt jedenfalls keinem Zweifel. Als Beispiel seien zum Abschluß noch zwei Abbildungen von den Dezembersturmfluten des vergangenen Jahres gezeigt. Bekanntlich verliefen die Tage vor dem Weihnachtsfest außerordentlich sturmreich. Abbildung 20 zeigt zunächst die Wasserstandskurve von Cuxhaven vom 20. bis 24. Dezember 1954. Die beobachteten Wasserstände liegen mehrere Tage lang zum Teil beträchtlich, durchschnittlich aber 1 bis 2 m über den astronomisch bedingten. Der Sturmflut am 22. Dezember waren bereits eine solche am 21. Dezember und außerdem zwei weitere hohe Tiden vorausgegangen. Nach kurzer Beruhigung bei nur einer Tide trat dann am 23. Dezember erneut eine gefährliche Situation ein, die eine Warnung vor einer „schweren Sturmflut“ erforderlich machte. Im unteren Teil der Abbildung sind jeweils wieder Windstaukurven aufgetragen. Die graugetönte Fläche einschließlich der Gebiete, in denen die Schraffur von links oben nach rechts unten verläuft, gibt den berechneten Windstau wieder, der der Windrichtung und Windstärke über der mittleren und südlichen Nordsee entspricht. Der Windstau wurde allerdings für die gesamte Zeit

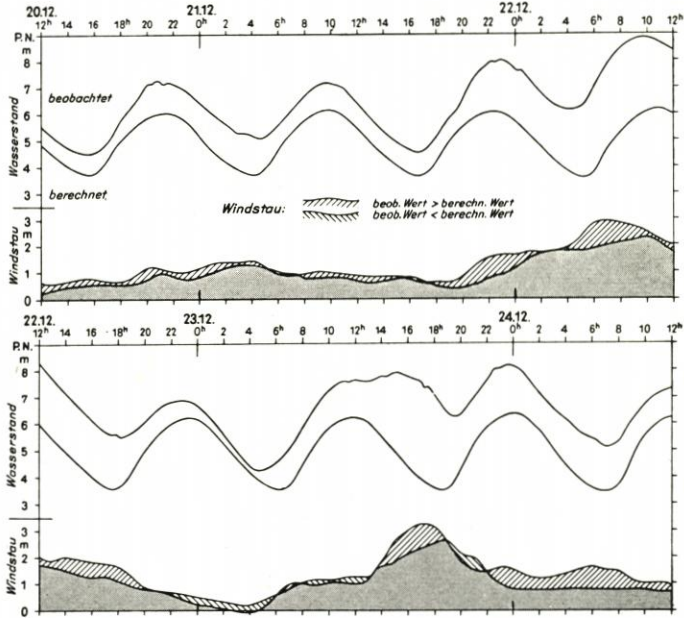


Abb. 20. Sturmfluten in Cuxhaven vom 20. bis 24. Dezember 1954

nur mit den für Hochwasser geltenden Unterlagen berechnet. Es ist bekannt, daß bei gleicher Windrichtung und -stärke der Windstau bei NW größer ist als bei HW. Die Differenzen zwischen beobachtetem und berechnetem Windstau erklären sich zum großen Teil allein hieraus. Zum Teil spielen, wie etwa am 24. Dezember, auch Trägheitserscheinungen eine Rolle.

Ohne weiter auf Einzelheiten dabei einzugehen, soll durch den hier möglichen Vergleich zwischen beobachtetem und berechnetem Windstau lediglich gezeigt werden, wie weitgehend wir heute in der Lage sind, bei bekannter Wetterlage den Windstau zu bestimmen. Unsicherheiten der Sturmflutvorhersage sind also im wesentlichen dadurch bedingt, daß gerade bei schweren Gefahrensituationen die Wetterentwicklung nicht mit der Exaktheit vorhergesagt werden kann, die für eine absolute Sicherheit der Windstauvorhersagen gefordert werden muß.

Abbildung 21 zeigt die Wetterentwicklung im entscheidenden Stadium am 23. Dezember. Wir erkennen, daß ein Tief um 10 Uhr vor Jütland liegt. Beachtlich ist bereits der Kerndruck dieses Tiefs: 955 mb! Wie ungewöhnlich ein solcher Druck ist, läßt sich daran erkennen, daß die bei uns üblichen Barographen Drucke von weniger als 955 mb gar nicht mehr registrieren. Die Abbildung 21 zeigt weiter, daß auch dieses Tief einen Tiefdrucktrogl aufweist, der gestrichelt angedeutet ist. Südlich vom Kern befindet sich der Trogl Druckfall⁶⁾.

⁶⁾ Die zweistelligen Zahlen in den folgenden Wetterkarten geben die Druckänderung der letzten drei Stunden in Zehntel Millibar an. Die dicken, aufrecht stehenden Zahlen bedeuten dabei Druckfall, die dünnen Zahlen Druckanstieg.

Die Unsicherheit der meteorologischen Situation war in diesem Fall dadurch gegeben, daß, weil keine Meldungen vom Seegebiet vorlagen, nicht bekannt war, ob der Trogdruckfall sich noch weiter auf See hin ausdehnte oder ob er mit den Falltendenzen über Dänemark und Schleswig-Holstein abschloß. Man wird zugeben, daß man vom Standpunkt der Sturmflutwarnung bei einer solchen *gefährlichen* Situation mit dem ungünstigen Falle rechnen mußte, für den übrigens auch die Meteorologen selbst eintraten, nämlich für eine mindestens noch zeitweise Fortsetzung des Druckfalles nach See hinaus. In diesem Fall aber wäre mit einer ähnlichen Verschärfung des Gradienten wie beim Holland-Orkan zu rechnen gewesen. Die Windstärken wären über der gesamten südlichen und mittleren Nordsee im Mittel auf Windstärke 10 bis 11 gegangen, und zwar mindestens sechs Stunden vor Hochwasserzeit! Die rechte Karte zeigt die

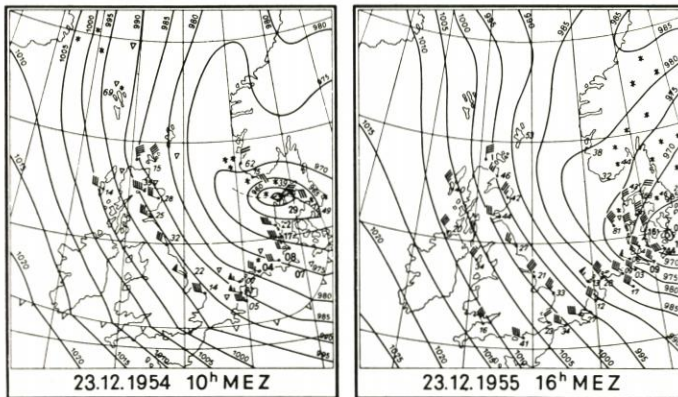


Abb. 21. Wetterlage bei der Sturmflut vom 23. Dezember 1954 an der deutschen Nordseeküste

Wetterlage sechs Stunden später, um 16 Uhr. Hier ist inzwischen klar zu erkennen, daß der Trogdruckfall sich nicht mehr über See hin fort-pflanzt. Ein Schiff vor der dänischen Küste meldet bereits einen Druckanstieg von 8,1 mb in drei Stunden. Der Druckfall dagegen ist schon stark nach Südost abgedrängt. Die größte Gefahr ist damit vorüber. Dennoch treten vereinzelt noch Windstärken von 11 Bft auf. Im Mittel herrschten über See allerdings nur 9 bis 10 Bft. Das Hochwasser in der Nacht zum 24. Dezember tritt entsprechend niedriger ein, wenn es auch noch immer einen Windstau von maximal 2,21 m zeigt und selbst an der schleswig-holsteinischen Westküste trotz der Winddrehung auf NNW bis N noch Höhen von 1,80 m über MThw (Büsum) eintraten.

Auf dieses Beispiel aus jüngster Zeit sei abschließend aufmerksam gemacht, weil es ein Hinweis darauf sein kann, daß wir jederzeit an unseren Küsten mit gefährlichen Wetterentwicklungen rechnen müssen, die es ratsam erscheinen lassen, sich nicht auf bisher beobachtete Höchstwerte des Wasserstandes zu verlassen, sondern die durch Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen und die Berechnungen des Sturmflutwarndienstes als möglich angegebenen Windstauwerte ernsthaft zu berücksichtigen.

10. Schriftenverzeichnis

1. GROEN, P.: Analyse van het verloop der waterstanden langs de kusten der noordzee tijdens de stormvloed van 1953. Kon. Nederl. Meteorol. Inst., Meteorol. Rapport, 1e Vervolg, Mei (Abb. 12 bis 15), 1954.
2. KRÜHL, H.: Zur Dynamik polarer Kaltluftausbrüche am Beispiel des Holland-Orkans vom 30. 1. bis 1. 2. 1953. Ann. d. Meteorol. 6. Jg., H. 3/4 (Abb. 8, 10, 11), 1953/54.
3. MARIS, A. G.: De overstromingsramp 31 januari — 1 februari 1953. De Ingenieur, 65, Nr. 31 (Abb. 1), 1953.
4. RODEWALD, M.: Der große Nordseesturm vom 31. Januar und 1. Februar 1953. Die Naturwissenschaften, Jg. 40 (Abb. 5 bis 7, 9), 1953.
5. ROSSITER, J. R.: The North Sea storm surge of 31 January and 1 February 1953. Philos. Transact. Roy. Soc. London, Ser. A., No. 915, 1954.

6. SCHALKWIJK, W. F.: A contribution to the study of storm surges on the Dutch Coast. Kon. Nederl. Meteor. Inst., Mededelingen en Verhandelingen, Serie B, Deel I, No. 7, De Bilt (Abb. 18), 1947.
7. SCHELLING, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein. „Die Küste“ I, H. 1, 1952.
8. TOMCZAK, G.: Die Einwirkung des Windes auf den mittleren Wasserstand der Deutschen Bucht vom 15. Februar bis 6. März 1951. Dtsch. Hydrogr. Ztschr. 6, H. 1 (Abb. 16, 17), 1953.
9. TOMCZAK, G.: Die Sturmfluten vom 9. und 10. Februar 1949 an der deutschen Nordseeküste. Dtsch. Hydrogr. Ztschr. 3, H. 3/4, 1950.
10. WEMELSFELDER, P. J.: De overstromingsramp 31 januari — 1 februari 1953. Waterstanden. De Ingenieur 65, Nr. 33 (Abb. 2 bis 4), 1953.