Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE

3950-A-2012-00000078

JAHRGANG 10 1962 HEFT 2

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE

HERAUSGEBER:
DER KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE

Jahrgang 10 - 1962
Heft 2

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

Anschriften der Verfasser dieses Heftes:

Arbeitsgruppe Sturmfluten im Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247; HUNDT, Claus, Dipl.-Ing., Marschenbauamt Heide, Pegelaußenstelle, Büsum, Am Hafen; KLINGE, Wilhelm, Oberregierungs- und -baurat, Regierung Lüneburg, Lüneburg, Heinrich-Heine-Str. 52; KOOPMANN, Georg, Dr., Regierungsrat, Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Str. 76; RODEWALD, Martin, Dr., Oberregierungsrat, Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Str. 76; WOHLENBERG, Erich, Dr. habil., Marschenbauamt-Forschungsstelle Westküste, Husum, Nissenhaus.

Die Verfasser sind für den Inhalt ihrer Aufsätze allein verantwortlich.

Nachdruck aus dem Inhalt nur mit Genehmigung des Herausgebers: Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Regierungsbaudirektor i. R. C. HENSEN, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247, gestattet.

Schriftleiter: Dr. habil. E. WOHLENBERG, Husum, Nissenhaus.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Inhaltsverzeichnis

RODEWALD, Martin, Dr., Oberregierungsrat
Zur Entstehungsgeschichte der Sturmflut-Wetterlagen in der Nordsee im Februar 1962 1

KOOPMANN, Georg, Dr., Regierungsrat
Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 in ozeanographischer Sicht 55

KLINGE, Wilhelm, Oberregierungs- und -baurat
Betrachtungen zu den Höhen der Deiche an Elbe und Weser 69

WOHLENBERG, Erich, Dr. habil.
Die Trinkwasserversorgung der Halligen nach der Sturmflut im Februar 1962 . . 86

Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Arbeitsgruppe Sturmfluten
Der maßgebende Sturmflutseegang und Wellenauflauf an den Deichen.
Ergebnisbericht 1 135

HUNDT, Claus, Dipl.-Ing.
Beitrag zur Frage des maßgebenden Sturmflutseegangs vor einem Deich am Watt.
Beispiel Büsum 136

HUNDT, Claus, Dipl.-Ing.
Der maßgebende Sturmflutseegang und Wellenauflauf für das Deichbestick der
deutschen Nordseeküste auf Grund der Sturmflut vom 16. Februar 1962 . . . 146

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Zur Entstehungsgeschichte der Sturmflut-Wetterlagen in der Nordsee im Februar 1962

Von Martin Rodewald

Inhalt

A. Zusammenfassung 1
B. Einleitung
Anlaß und Begrenzung der Studie 3
C. Hauptteil
Die nordatlantische Luftzirkulation in der 2. Februar-Dekade 1962 und ihre Bedeutung für das Zustandekommen der Sturmflut-Wetterlagen in der Nordsee 6
1. Die neufundländische Frontalzone vom 12. Februar 1962 6
2. Die Entstehung der Frontalzone 7
3. Der neutrale Punkt vom 12. und 15. Februar 1962 9
4. Bahn und Entwicklung der nordatlantischen Druckfallgebiete in der 2. Februar-Dekade 1962 11
5. Die Wetterschiffe C und B als Indikatoren der Frontalzone 15
6. Der Verlauf der Bord-Temperaturen bei den Wetterschiffen C und B (2. Februar-Dekade) 17
7. Der Luftdruck- und Windverlauf bei den Wetterschiffen C und B (2. Februar-Dekade) 19
8. Die relative Topographie 500/1000 mb über dem Nordatlantik in der 2. Februar-Dekade 1962 21
9. Absolute Topographie der 500-mb-Fläche und Höhenströmung über dem Nordatlantik in der 2. Februar-Dekade 1962 22
10. Die Entstehung, Bewegung und Auflösung der Stromfeld-Singularität des neutralen Punktes vom 12. und 15. Februar 1962 28
11. Der Druckfall-Effekt der Frontalzonen-Verschärfung (C-B) vom 14. Februar 1962 abends 34
12. Die Hochdruck-Vorgeschichte der Sturmzyklonen der 2. Februar-Dekade 1962 . . 40
13. Die Besonderheit der nordatlantischen Luftmassenverteilung Mitte Februar 1962 46
D. Schlußbemerkung
Die Ähnlichkeit der „Produkte" der Frontalzone von Mitte Februar 1962, der Sturmzyklonen in ihrer Bahn und Vertiefung 51

A. Zusammenfassung

Die Einleitung orientiert über Anlaß und Begrenzung der Studie. Anlaß: die nordwestdeutschen Sturmfluten vom 12. und 16./17. Februar 1962 und ihre atmosphärische Urheberschaft. Begrenzung: auf die — für die Entstehung der Sturmflut-Wetterlagen maßgebliche — Luftzirkulation im Nordatlantik. Der Ablauf der Nordsee-Stürme selbst wird in dem Bericht nicht berührt.

Der Hauptteil behandelt die nordatlantische Luftzirkulation in der 2. Februar-Dekade 1962, soweit sie für das Zustandekommen der Sturmflut-Wetterlagen in der Nordsee Bedeutung hat.

1. Die neufundländische Frontalzone vom 12. Februar 1962 wird als Muster jenes thermischen Luftmassen-Gegensatzes vorgeführt, der für die Entwicklung des Sturmtiefs vom 12. Februar verantwortlich ist.
2. Die Entstehung beziehungsweise Verschärfung der Frontalzone läßt sich im Prinzip auf ein Vierer-Druckfeld (je zwei kreuzweise liegende Hochs und Tiefs) mit neutralem Punkt des Stromfeldes zurückführen. Diese besondere Strömungsanordnung bewirkt die gegenseitige Näherung von Warmluft und Kaltluft (Frontogenese).

3. Der neutrale Punkt vom 12. und 15. Februar 1962 hat nahezu die gleiche Lage von 51 bis 52° N, 45° W, in ONO von Neufundland. Die „Begegnungs-Isobaren" an ihm kommen in beiden Fällen aus dem hohen Norden und dem tiefen Süden, ein Merkmal für das frontverschärfende und damit zyklonenverstärkende Potential dieser Strömungsanordnung.
4. Bahn und Entwicklung der nordatlantischen Druckfallgebiete in der 2. Februar-Dekade 1962 werden verglichen. Drei System-Folgen treten auf: 10.—13. Februar, 13.—17. Februar, 16. bis 20. Februar. Die beiden ersten gipfeln in mehr als 50 mb 24stündigem Druckfall im Ostsee- bzw. Nordmeergebiet, wobei die entscheidende Verstärkung der von Neufundland abwandernden Druckfallgebiete „stromabwärts" von dem neutralen Punkt erfolgt. Bei dem letzten Druckfallgebiet der Dekade dagegen fehlt diese Stromfeld-Singularität, und es schwächt sich auf seiner Wanderung nach Europa ab. So kommt es glücklicherweise nicht zu einem dritten fluterzeugenden Nordsee-Sturm.
5. Die Wetterschiffe C und B als Indikatoren der Frontalzone sind, da sie den neutralen Punkt (52° N, 45° W) auf der warmen und kalten Seite flankieren, hierfür besonders günstig gelegen. Die Mitteltemperatur der unteren Troposphäre („relative Topographie" 500/1000 mb) läßt deutlich drei Verschärfungen des Temperaturgefälles C—B erkennen, in Parallele mit den drei Druckfallgebieten. Am 11./12. Februar erreicht das Gefälle 22°, am 14./15. Februar 23°, beide Male mit der Ausprägung des neutralen Punktes im Vierer-Druckfeld. Am 18./19. Februar, als diese Besonderheit fehlt, geht das Temperaturgefälle nur bis maximal 15°.
6. Der Verlauf der Bordtemperaturen bei den Wetterschiffen C und B (2. Februar-Dekade) zeigt die gleichen Schwankungen der Intensität der Frontalzone wie die Gesamtschicht bis etwa 5½ km Höhe (500 mb), der Taupunkt dabei stärker als die Lufttemperatur. Mit Hilfe des Taupunktes läßt sich die Schwankung zeitlich hier noch genauer fixieren als auf aerologischem Wege. Den Nordseesturm-Druckfallgebieten Nr. 1 und Nr. 2 entsprechen Maxima der Taupunkt-Differenz (C-B) von 22° und 24°, dem sturmlosen Druckfallgebiet Nr. 3 eine solche von 15°.
7. Der Luftdruck- und Windverlauf bei den Wetterschiffen C und B (2. Februar-Dekade) zeigt charakteristische Unterschiede. Er liefert das Verständnis für die Schwankungen der Temperatur und damit für die Fluktuationen der Frontalzone.
8. Die relative Topographie 500/1000 mb über dem Nordatlantik in der 2. Februar-Dekade 1962 gibt das räumliche Bild der Frontalzone. Es zeigt sich, daß sie am 12., 15. und 18. Februar in der Nachbarschaft der Wetterschiffe C und B tatsächlich am schärfsten ist, während sie sich nach Westen und Osten hin abschwächt.
9. Absolute Topographie der 500-mb-Fläche und Höhenströmung über dem Nordatlantik in der 2. Februar-Dekade 1962 lassen den schweren Orkan sichtbar werden, der — etwa längs der Frontalzone — in den oberen Luftschichten weht. Am 12. und 15. Februar werden Maximalwinde von 135 Knoten (etwa 250 km/Std.) in Höhe der 500-mb-Fläche gemessen. Die frontale Höhenströmung ist mit der (thermischen) Frontalzone eng gekoppelt, deren Verbreiterung „stromabwärts" ihr sogenanntes Delta bildet. Im nördlichen Teile dieses Deltas erfolgt der stärkste Luftdruckfall am Boden, und es wird kurz beschrieben, wie nun ein sich selbst verstärkender Prozeß abläuft, der das Druckfallgebiet und damit die Zyklone unter Verstärkung nach Osten treibt.
10. Die Entstehung, Bewegung und Auflösung der Stromfeld-Singularität des neutralen Punktes vom 12. und 15. Februar 1962 verdient wegen dessen Schlüsselstellung für die Ausbildung der Sturmzyklonen eine besondere Betrachtung. Beide Male ist es so, daß seine Lebensgeschichte mit der Trennung von zwei Tiefdruckgebieten beginnt und mit der Vereinigung von zwei Hochdruckgebieten endet. Zwischen dem Stadium zyklonischer und dem antizyklonischer „Begegnungs-Isobaren" liegt das Stadium der Reife, in dem diese Isobaren mehr geradlinig von weither kommen und die stärkste frontogenetische Wirkung eintritt. Da die zellulare Struktur des Druckfeldes am Boden am ausgeprägtesten ist, wird der neutrale Punkt hier am deutlichsten und verliert sich mit der Höhe. Trotzdem durchsetzt der frontogenetische Effekt die gesamte Troposphäre.
11. Der Druckfall-Effekt der Frontalzonen-Verschärfung (C-B) vom 14. Februar 1962 abends, der maßgeblich zur Entwicklung des „Katastrophen-Tiefs" beiträgt, läßt sich aus einer Analyse des Druck- (und Temperatur-) Verlaufs im Raume Südgrönland-Island ableiten. Der Druckfall vollzieht sich in drei Stufen, deren letzte weder einem „Trog" noch einer „Front-

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

welle" zuzuschreiben ist. Das Auflaufen des postumen Druckfalls auf die ersten Druckfall-Stufen ergibt die Übertiefung der Zyklone.

12. Die Hochdruckvorgeschichte der Sturmzyklonen der 2. Februar-Dekade 1962 ist deshalb wesentlich, weil das (warme) Azorenhoch und das (kalte) Labrador-Hoch die beiden Hauptpartner des zyklogenetischen Vierer-Druckfeldes darstellen. Das stark nordwärts verschobene Azorenhoch stellt mit Druckwerten bis 1048 mb ein Rekordhoch für das Seegebiet um 45° N, 25° W dar. Es liegt deutlich im Zuge einer längerdauernden Entwicklungstendenz der Druckanomalien des Winters 1962. Aber auch das Kaltluft-Hoch über Labrador läßt sich auf eine solche Entwicklungstendenz zurückführen, die im Januar 1962 das bisher stärkste Hoch in der Witterungsgeschichte der USA mit sich brachte (1063 mb). Das Zusammenspiel der atlantischen und der nordamerikanischen Drucksteigtendenz und damit der großen antizyklonischen Zirkulationsräder ist kennzeichnend für die nordatlantische Großwetterlage in der 2. Februar-Dekade.
13. Die Besonderheit der nordatlantischen Luftmassenverteilung Mitte Februar 1962 folgt aus der ungewöhnlichen Luftdruckverteilung. Durch Vergleich mit der Normalverteilung wird die Verschiebung der Tropikluftgrenze nach Norden und Westen deutlich, die einem Befahren der VAN BEBBERSCHEN Zyklonenstraßen II und III (Seegebiet Südisland-Südskandinavien) Vorschub leistet. Der Nordseesturm, der die Katastrophenflut brachte, entstand also — um es zusammenzufassen — nicht aus dem Zufall gleichsinnigen Wirkens von „Kleinigkeiten", sondern im Zuge einer großzügigen und ganz besonderen Zirkulationsentwicklung.

Der Schluß weist auf die Ähnlichkeit der „Produkte" der Frontalzone hin, nämlich der Bahn und Vertiefung der beiden Sturmzyklonen vom 12. und 16. Februar 1962. Das aktive Stadium beider liegt zwischen etwa 40° W und 20° O, dauert 60 Stunden und bringt eine Vertiefung des Zentrums um 55 bzw. 52 mb; Ausgangspunkt und Endpunkt liegen im gleichen Raum — der Ausgang ostwärts Kap Farvel, das Ende vor dem Eingang zum Bottnischen bzw. Finnischen Meerbusen. Trotz dieser generellen Ähnlichkeit treten im einzelnen Unterschiede auf, welche die Nordseestürme vom 12. und 16. Februar 1962 — und damit die Sturmfluten — verschieden ausfallen lassen.

B. Einleitung: Anlaß und Begrenzung der Studie

In der zweiten Februar-Dekade 1962 kam es über der Nordsee zu zwei schweren Winterstürmen, die in der Deutschen Bucht ihre Höhepunkte am 12. Februar mittags und am 16. Februar abends hatten. Der erste führte zu einer schweren Sturmflut an der nordfriesischen Küste und im Elbe-Bereich. Der zweite verursachte die bekannte nordwestdeutsche Katastrophenflut vom 16./17. Februar, die sich besonders verhängnisvoll in Hamburg auswirkte.

Hier sei nur kurz — an Hand der Abbildungen B. 1 und B. 2 — der in seinen Auswirkungen verheerendere Sturm vom 16./17. Februar 1962 gekennzeichnet. Die Abbildung B. 1 bringt das Ergebnis einer Wind-Auswertung von List auf Sylt, der Station, die an der Deutschen Bucht die größten Windstärken registrierte. Die Abbildung zeigt — in Meter je Sekunde — für jede Stunde vom 16. morgens bis 17. nachmittags

das Stundenmittel der Windgeschwindigkeit
das höchste 10-Minuten-Mittel
die höchste Böenspitze.

Die Werte sind zur Veranschaulichung durch einen Kurvenzug verbunden, und die Niveaus von 20, 25 und 35 m/s sind besonders markiert. Man sieht, daß die Haupt-Sturmzeit etwa 23 Stunden dauerte, vom 16. Februar, 11 Uhr, bis zum 17. Februar, 10 Uhr. Während dieser Zeit waren die Mittelwerte wie folgt:

beim Stundenmittel	20,8 m/s (100 %)
beim höchsten 10-Minuten-Mittel	26,1 m/s (125,5 %)
bei der höchsten Böenspitze	37,8 m/s (181,7 %).

Die mittlere Windgeschwindigkeit (Stundenmittel) lag also nicht besonders hoch; sie entsprach der Beaufortstärke 9. Aber schwere Orkanböen traten allstündlich auf; die Spitzenwerte lagen im Durchschnitt der 23 Stunden etwa 82 % höher als die Stundenmittel des Windes. Die jeweils höchsten zwei Werte während der 23 Stunden waren:

beim Stundenmittel	24 und 23 m/s
beim höchsten 10-Minuten-Mittel	30 und 28 m/s
bei der höchsten Böenspitze	44 und 43 m/s.

Diese absoluten Böen-Maxima entsprechen etwa 85 Knoten oder 160 km/Stunde. Der Sturm wehte zunächst aus West und drehte am Abend des 16. Februar auf WNW.

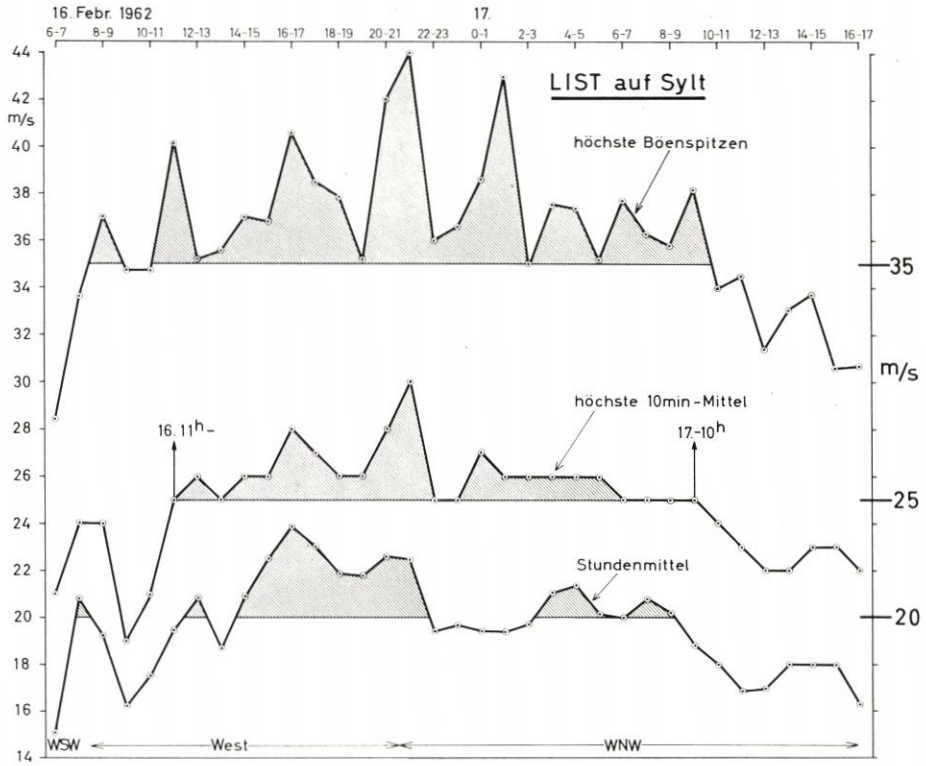


Abb. B. 1. Der Verlauf des Sturmes in List auf Sylt vom 16. Februar 1962 morgens bis zum 17. Februar 1962 nachmittags

Die Abbildung B. 2 stellt die Druckverteilung über dem Nordseegebiet etwa beim Höhepunkt des Sturmes in der Deutschen Bucht am 16. Februar um 22 Uhr MEZ dar. Bei den eingezeichneten Windgeschwindigkeiten bedeutet

eine halbe Fieder	5 Knoten
eine ganze Fieder	10 Knoten
der „Sturmwimpel" (Dreieck)	50 Knoten (schwerer Sturm).

Zwischen Südwestengland (1030 mb) und Schweden (960 mb) beträgt die Druckdifferenz 70 mb. Ein breiter und stürmischer Strom kalter Polarluft, von Schauern und schweren Böen durchsetzt, geht vom Nordmeer über die Nordsee südostwärts.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Die Zone stärksten Luftdruckgefälles scheint um diese Zeit zwischen den Isobaren von 995 und 980 mb zu liegen, ist also in die Deutsche Bucht hinein gerichtet, in das Gebiet zwischen Außenweser und Südwestjütland. In dieser Gefällszone weht der Westnordwest bis

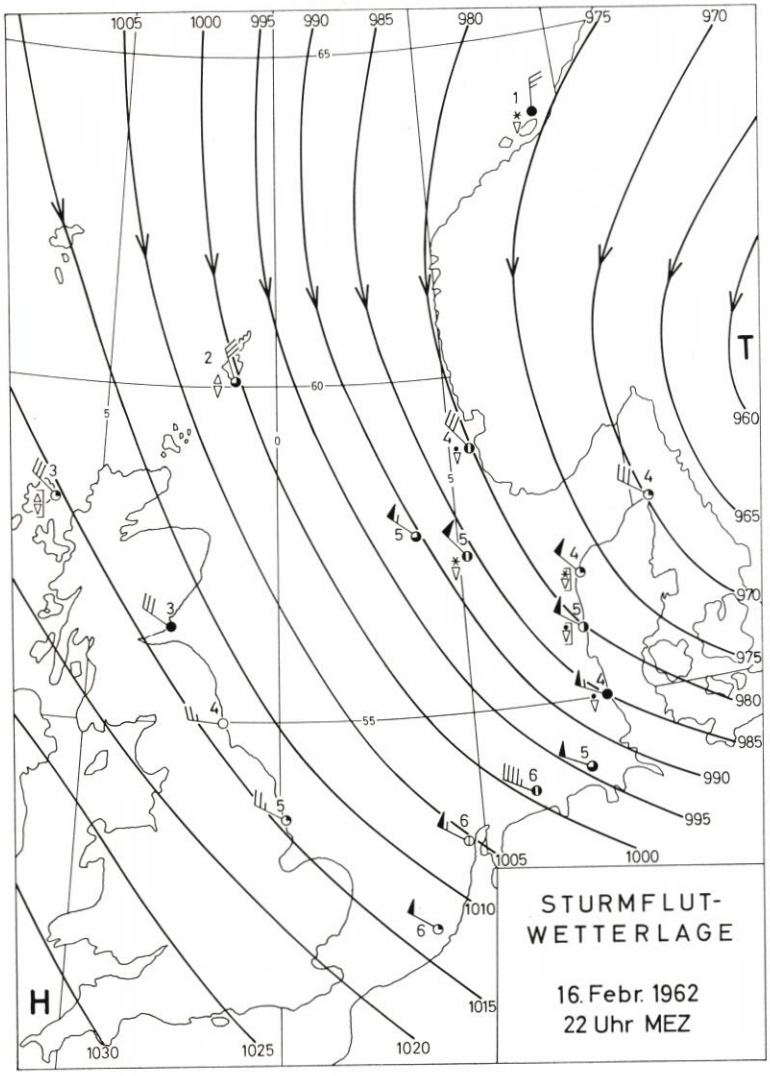


Abb. B. 2. Die Nordsee-Wetterlage am 16. Februar 1962 abends

Nordwest auf freier See mit 10—11 Beaufort. Er preßt die Wassermassen in das Nasse Dreieck, und mit der steigenden Flut nimmt das Verhängnis seinen Lauf.

Die Urheberschaft für die Naturkatastrophe liegt also bei der Atmosphäre. Ohne Sturmzyklonen besonderer Stärke, Art, Zugbahn gäbe es keine Sturmfluten. Nach dem säkularen Ereignis der Hamburger Schadensflut vom 17. Februar 1962 — es kam hier seit 1825 keine im Ausmaß ihr ähnliche vor — ist daher zuvörderst auch der Meteorologe aufgerufen, sich mit seinem Teil des Problems, den Vorgängen in der Atmosphäre, zu beschäftigen. Hiervon

entbindet nicht, daß in diesem Falle die von zuständiger meteorologischer Seite — insbesondere vom Seewetteramt Hamburg des Deutschen Wetterdienstes — ausgegebenen Sturmwarnungen das Prädikat „zeitgerecht und zutreffend" verdienen.

Die folgende Darstellung behandelt nicht die Sturmflutwetterlage oder -wetterlagen in der Nordsee selbst und ihren Ablauf. Ihr begrenztes Ziel ist vielmehr, ein Bild der maßgeblichen Luftzirkulation in der 2. Februar-Dekade 1962 zu entwerfen und einiges von den Wurzeln der beiden Nordsee-Stürme dieser Dekade bloßzulegen. Eine eingehende und vergleichende Behandlung der Nordseestürme selbst hätte den Rahmen dieses Berichtes gesprengt; er müßte gesondert erfolgen.

Es ist auch noch kein Versuch gemacht worden, die Untersuchung auf weitere Fälle von Sturmflut-Zyklonen auszudehnen und durch Vergleiche zu prüfen, ob und wie weit sich die Befunde dieser Februar-Dekade 1962 verallgemeinern lassen. Auch dies bedürfte einer Sonderarbeit.

Bei dem weiten Spielraum, den die Atmosphäre in der Anlage ihrer „Zirkulationsräder" hat — bekanntlich gibt es keine zwei genau gleichen Wetterlagen —, stände dabei allerdings von vornherein nichts 100prozentiges zu erwarten, vielleicht jedoch eine Reihe von stärkeren Anklängen, vielleicht die Möglichkeit zur Typisierung. So ist dieser Vorbericht nur eine Art deutender Monographie zur Witterungsgeschichte, hat aber auch als solche wohl seine Berechtigung in Anbetracht des säkularen Ereignisses, dem er gilt und dessen Rahmen von Vorbedingungen er abzustecken versucht. Es wurde dabei eine Fassung angestrebt, die den fachlichen Bericht für einen weiteren Kreis von Interessierten als nur für den Wetterkundler lesbar macht.

C. Hauptteil: Die nordatlantische Luftzirkulation in der 2. Februar-Dekade 1962 und ihre Bedeutung für das Zustandekommen der Sturmflut-Wetterlagen in der Nordsee

1. Die neufundländische Frontalzone vom 12. Februar 1962

Normale Voraussetzung für eine Sturmtief-Entstehung (außerhalb der Tropen) ist ein genügender Luftmassen-Gegensatz, ein starkes horizontales Temperaturgefälle zwischen einer Warmluftmasse und einer Kaltluftmasse. Die besondere Gefällszone der Temperatur können wir als Frontalzone bezeichnen. Die Front ist dabei der Sonderfall einer akzentuierten Frontalzone, nämlich des am Boden auf engstem Raum konzentrierten thermischen „Steilabfalls". Passiert die Front einen Ort, so kann die Temperatur im Extremfall ruckartig steigen oder fallen, je nachdem ob es eine Warmfront oder Kaltfront ist. Zeichnet man Isothermen (Linien gleicher Lufttemperatur), so zeigt sich die Frontalzone als Drängungszone der Isothermen; ganz stark wird die Drängung an einer scharfen Front.

Entwerfen wir ein thermisches Profil durch die *neufundländische Frontalzone*, die für die Entwicklung des Sturmtiefs vom 12. Februar 1962 verantwortlich ist, so sieht das Bild etwa so aus, wie in Abbildung 1 dargestellt. Das Profil geht über Neufundland nach der Nordküste des St. Lorenz-Stromes von OSO nach WNW. Der Temperaturverlauf ist für den Boden und die Höhe der 500-mb-Fläche (etwa 5½ km) dargestellt; oben ist der Entfernungsmaßstab angegeben. Am Boden liegt die „Frontalzone" als Front gerade bei Argentia, SO-Neufundland. Das Gefälle der Temperatur ist vielleicht noch größer als gezeichnet: Gander hat schon — 8° gegen + 4° bei Kap Race. In der Höhe der 500-mb-Fläche zeigt sich der Westen Neufundlands (Stephenville) fast noch so warm wie der Osten (— 18° gegen — 15°), ist also nur 3° kälter, während es am Boden 13° kälter ist (— 9° gegen + 4°). Die Frontalzone verschiebt sich, wie es

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

die Rasterfläche in der Abbildung anzeigt, mit der Höhe nach Westen; in 500 mb liegt der Steilabfall der Temperatur westlich Neufundland. Das entspricht, wenn man Warmluft und Kaltluft scharf durch eine Fläche begrenzt, dem bekannten Schema (Abb. 2). Die kleinen Abbildungen 3 und 4 illustrieren die Höhen-Isothermen bzw. die Bodenfront im Bereich Neufundland.

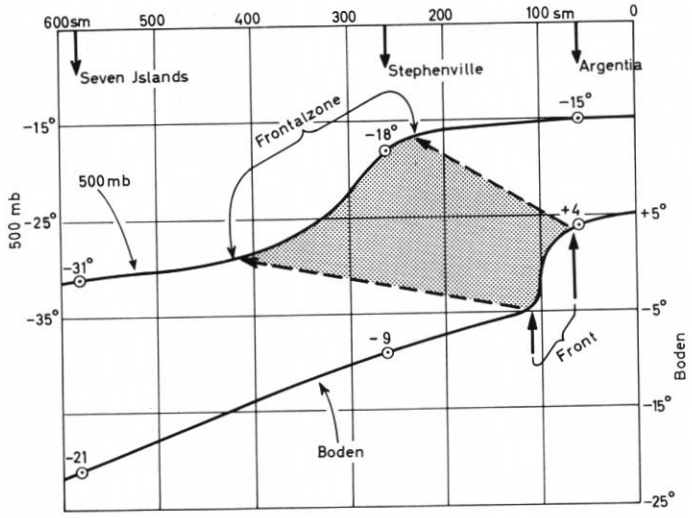


Abb. 1. Temperatur-Profil Neufundland-St. Lorenz am Boden und in der Höhe der 500-mb-Fläche am 12. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

2. Die Entstehung der Frontalzone

Wie aber kommt es zur Ausbildung einer so ausgeprägten Frontalzone bzw. Front mit einem Temperaturabfall von 10° auf kurze Distanz? Offenbar müssen Luftmassen aus der warmen und der kalten Klimazone einander genähert werden, gegeneinander geführt werden, damit die frontale Isothermendrängung entsteht.

Betrachtet man nur die Horizontalbewegung der Luft, so gibt es ein ganz bestimmtes Luftdruckfeld, bei dem zwei entgegengesetzte Luftströme aufeinander zulaufen und um den „Treffpunkt" herum seitlich ausweichen, ein Luftdruckfeld, das zugleich geeignet ist, Iso-

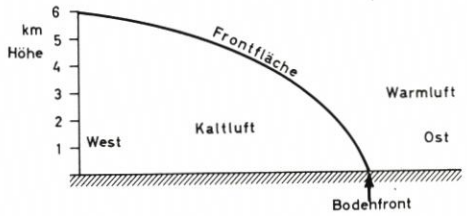


Abb. 2. Front-Schema im Vertikalschnitt

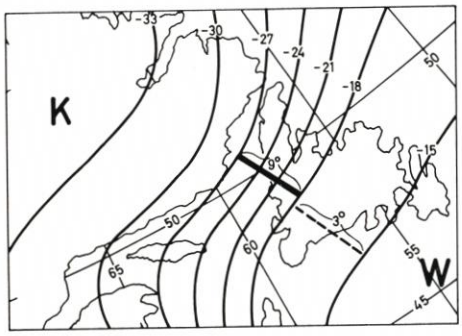


Abb. 3. Isothermen in Höhe der 500-mb-Fläche im Bereich Neufundland am 12. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

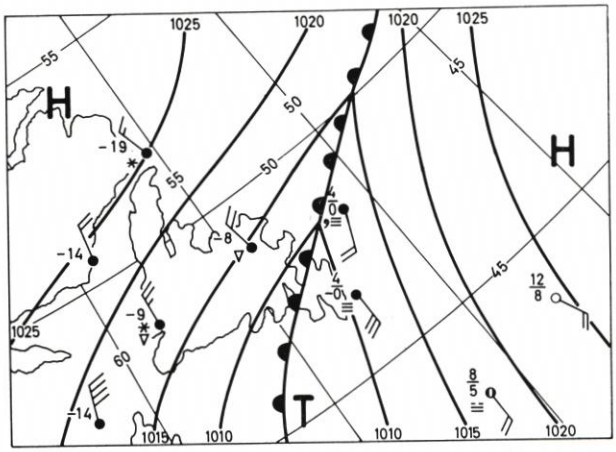


Abb. 4. Die Front über SO-Neufundland am 12. Februar 1962, 00 Uhr MGZ.

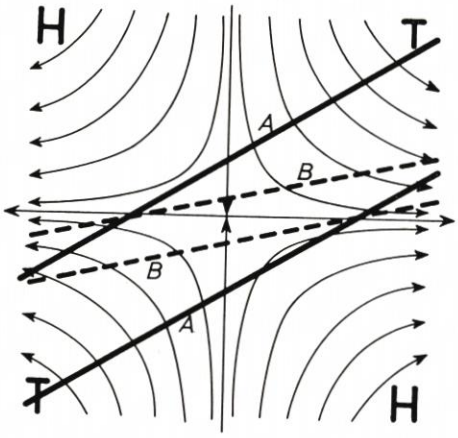


Abb. 5. Schema des Luftdruck- und Strömungsfeldes mit neutralem Punkt (Mitte). Isothermen-Transport von A nach B: „Frontogenese"

thermen einander näherzubringen. Dies ist das Vierer-Druckfeld, bei dem zwei Hochs und zwei Tiefs kreuzweise angeordnet liegen und zwischen sich einen neutralen Punkt (hyperbolischen Punkt) lassen.

Schematisch ist solch ein Druckfeld als Strömungsfeld in Abbildung 5 dargestellt; in der Mitte liegt der neutrale Punkt.

Denkt man sich in diesem Strömungsfelde zwei Isothermen, etwa von + 20 ° und + 10°, in der Anfangslage A, so werden diese von der Strömung so mitgeführt, daß sie nach einer gewissen Zeit die Lage B einnehmen. Man sieht: der Abstand hat sich verringert, die Wärme von 20° und die Kälte von 10° sind einander nähergerückt, es bildet sich eine Frontalzone.

Die Wirkung eines solchen Vierer-Druckfeldes mit einem neutralen Punkt ist also die, daß die thermischen Gegensätze der von Norden und Süden heranströmenden Luftmassen auf immer engeren Raum konzentriert werden. Man spricht deshalb von einem „frontogenetischen Deformationsfeld" (Deformation, weil man es in Nordsüdrichtung mit einer Schrumpfung, in Westostrichtung mit einer Dehnung zu tun hat). Wobei

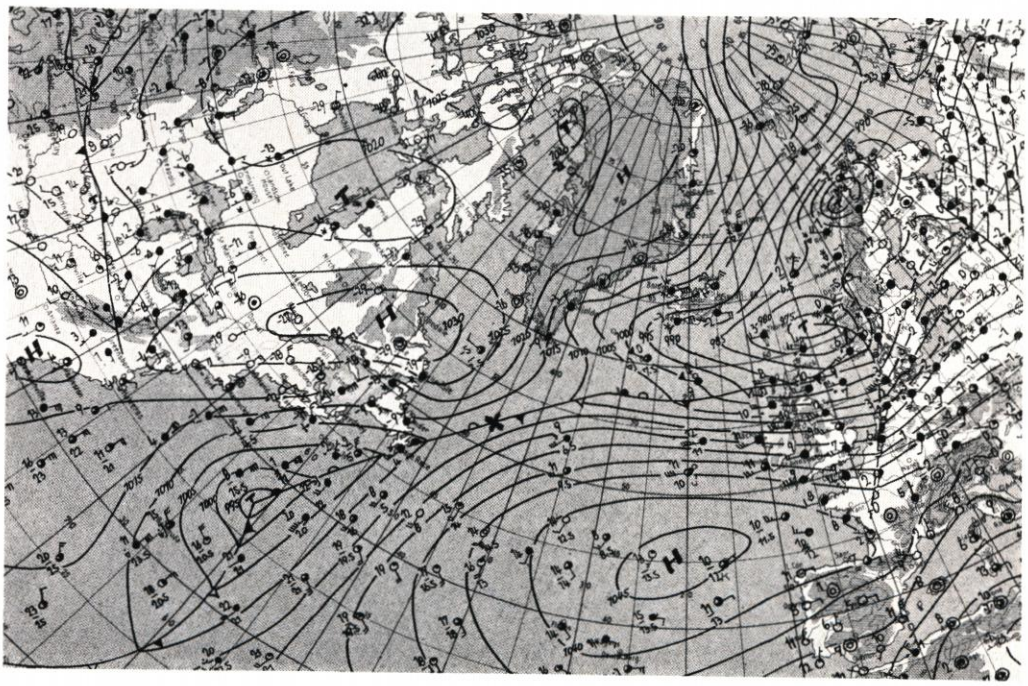


Abb. 6. Nordatlantik-Wetterlage am 12. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

anzumerken wäre, daß der besagte Effekt nur dann eintritt, wenn die Isothermen die „richtige" Lage in bezug auf das Stromfeld haben, nämlich quer zur Schrumpfungsachse. Denkt man sich in Abbildung 5 die Ausgangs-Isothermen nord-südlich verlaufend, so tritt der entgegengesetzte Effekt ein (Entfernung voneinander = „Fontolyse").

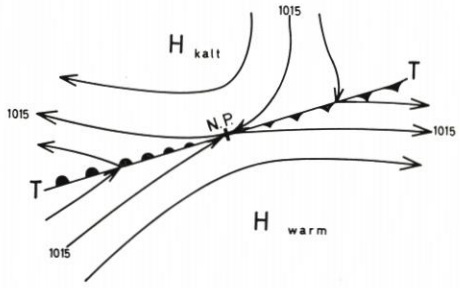


Abb. 7. Verdeutlichung des neutralen Punktes um 52° N, 45° W

3. Der neutrale Punkt vom 12. und 15. Februar 1962

Die Sturmtief-Entwicklungen Mitte Februar 1962 waren in typischer Weise an ein Vierer-Druckfeld mit neutralem Punkt geknüpft. Als Beleg dafür mögen die Abbildungen 6 und 9 dienen, die die nordatlantische Wetterlage nach dem Täglichen Wetterbericht des Deutschen Wetterdienstes (Offenbach a. M.) zeigen. Am 12. Februar, 00 Uhr MGZ (Abb. 6) liegt der neutrale Punkt (+) um 52° N, 45° W. Zwischen dem Warmluft-Hoch von 1045 mb nördlich der Azoren und dem Kaltluft-Hoch von 1030 mb über Labrador einerseits, dem Tief von 975 mb östlich der Färöer und dem Tief von 995 mb zwischen Bermuda und Neufundland andererseits befindet sich hier ein Kreuz- und Scheideweg der Isobaren.

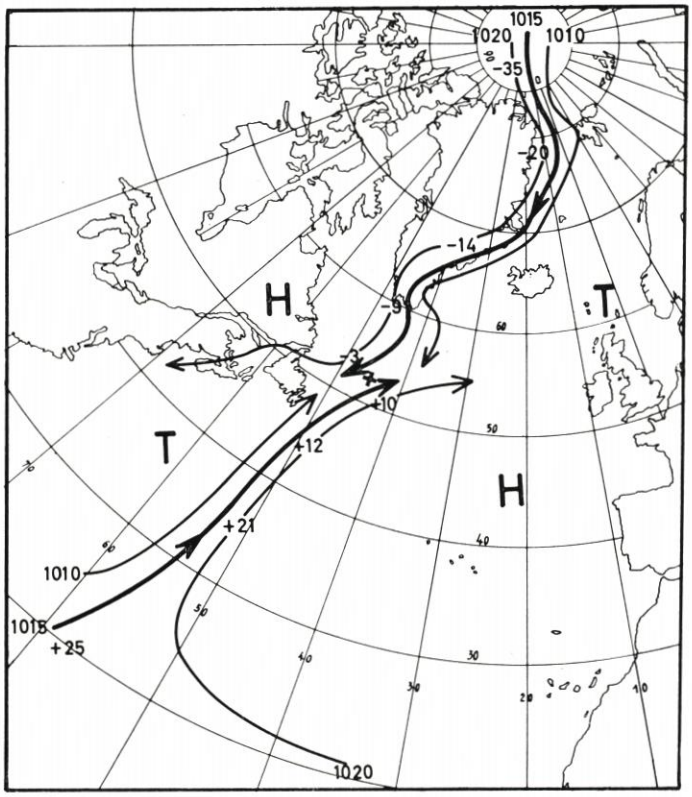


Abb. 8. Verlauf und Herkunft der Begegnungs-Isobaren am 12. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

Die 1015-mb-Isobaren kann man hier ebenso gut in der Form der Abbildung 7 zusammenführen, so daß sie sich im Punkt N.P. von Norden und Süden — gegeneinander laufend — treffen, um sich im gleichen Punkte — nach Westen und Osten laufend — voneinander zu verabschieden. Es ist der Berührungspunkt der Tiefausläufer von NO und SW, und/oder auch der Hochdruckkeile von SO und NW, und die Front wechselt an diesem Punkte von Kaltfront zu Warmfront.

Deutlicher wird die Funktion dieses „Punktes", wenn man ins Auge faßt, woher die Isobaren kommen, die sich hier begegnen. Zur Demonstration ist in Abbildung 8 der Verlauf

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

der kritischen Isobaren von 1015 mb (dick) und der Nachbar-Isobaren von 1020 und 1010 mb (dünner) am 12. Februar, 00 Uhr MGZ dargestellt. Einige Temperaturen (am Boden) sind darangeschrieben. Die warme 1015er kommt aus den tiefen Tropen — südlich 20° N — herauf, während die kalte 1015er aus der inneren Arktis nach Süden geht. Im Startgebiet der einen herrschen + 25°, in dem der anderen — 35°.

Natürlich kann man diesen momentanen Stromverlauf nicht ohne weiteres mit der Luftbahn gleichsetzen. Es zeigt sich aber immer wieder, daß schon die Herkunft der „Begegnungs-Isobaren" ein wichtiges Indiz für die Funktionsstärke des neutralen Punktes ist: Je weiter von Norden die eine Isobare und je tiefer aus dem Süden die andere Isobare kommt, desto größer ist gemeinhin das frontogenetische und damit auch das zyklogenetische Potential dieser Strömungsanordnung.

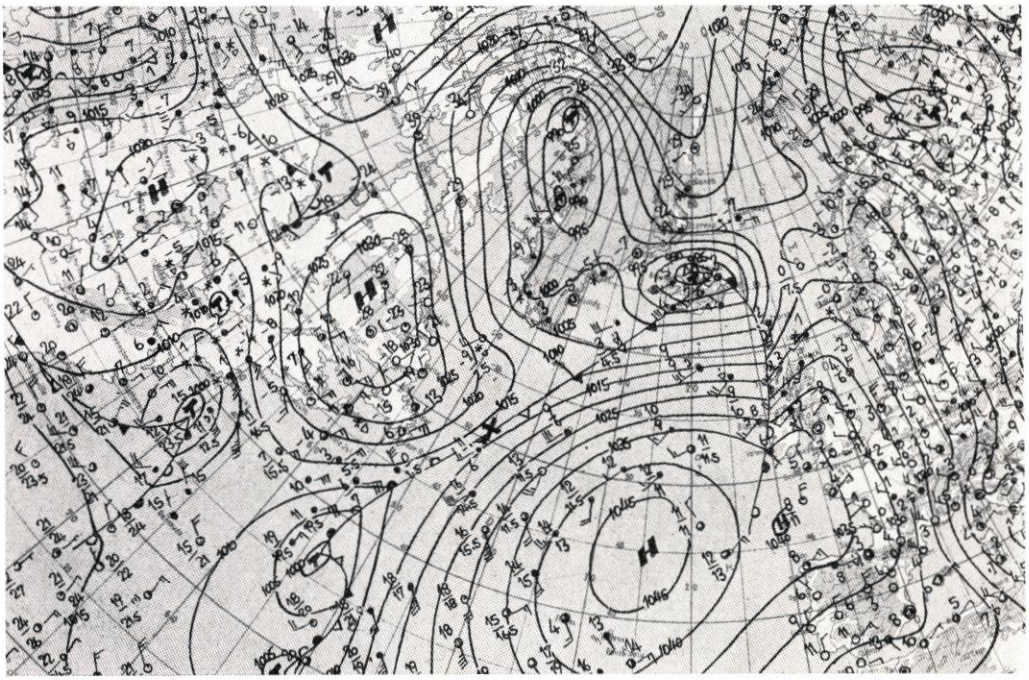


Abb. 9. Nordatlantik-Wetterlage am 15. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

Wenden wir uns nun der Wetterlage vom 15. Februar 1962, 00 Uhr MGZ zu (Abb. 9), so zeigt diese im wesentlichen das gleiche Bild, wie es sich drei Tage vorher bot. Wieder liegt dem Warmluft-Hoch von 1045 mb nördlich der Azoren ein Kaltluft-Hoch von 1030 mb über Labrador gegenüber; wieder haben wir ein Tief im Nordosten (985 mb) bei Island und eins (1000 mb) südlich Neufundland. Der neutrale Punkt in diesem Vierer-Druckfeld liegt praktisch an der gleichen Stelle wie drei Tage vorher, bei 51° N, 45° W.

Wieder ist auch die 1015-mb-Isobare die „Begegnungs-Isobare", und zeichnen wir ihren Verlauf besonders (Abb. 10), so ergibt sich ein ganz ähnliches Bild wie am 12. Februar. Die warme 1015er kommt tief aus den Tropen herauf, die kalte 1015er kommt hoch von Ellesmere-Land her. + 24° herrschen im Startgebiet der einen, — 37° im Startgebiet der anderen. Und östlich Neufundland „treffen" sich die beiden, um eine denkbar scharfe Frontalzone zu bilden.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Es sei hinzugefügt, daß die Wirkung des neutralen Punktes in beiden Fällen nicht „frontogenetisch" im strengen Sinne ist. Vielmehr wird eine schon vorhandene Front bzw. Frontalzone hier verschärft. Es gibt aber auch Fälle der Front-Entstehung, und die Richtung der Wirkung ist bei Entstehung und Verschärfung die gleiche.

(Ähnlich wird auch der Ausdruck „Zyklogenese" manchmal sowohl im strengen Sinne der Neubildung wie im weiteren Sinne der Vertiefung einer Zyklone gebraucht. Der Richtungssinn ist dabei der gleiche: Verstärkung des Druckfalls.)

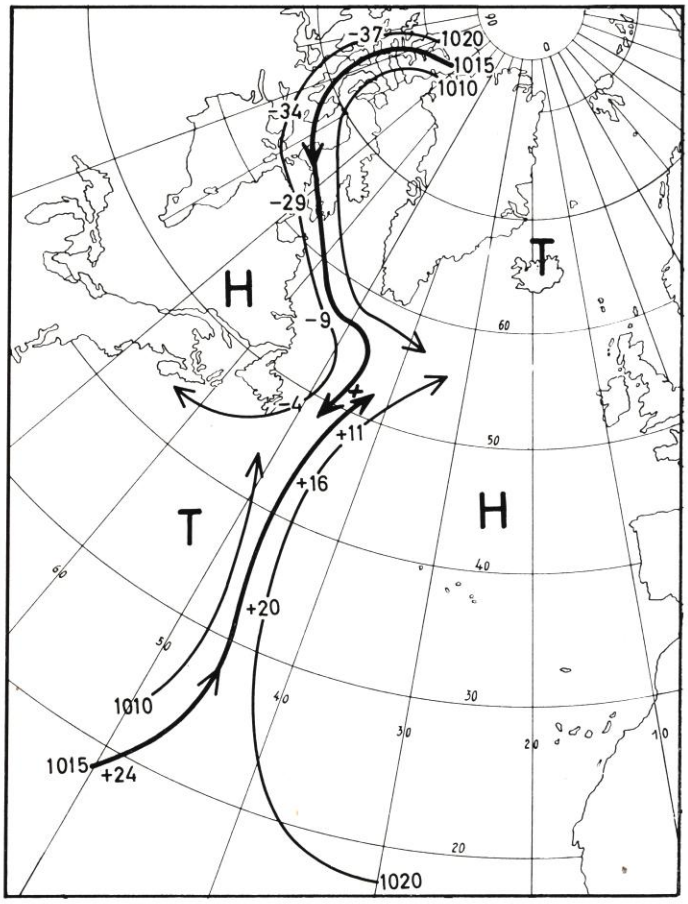


Abb. 10. Verlauf und Herkunft der Begegnungs-Isobaren
am 15. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

4. Bahn und Entwicklung der nordatlantischen Druckfallgebiete in der 2. Februar-Dekade 1962

Betrachten wir nun zunächst die Bahn und Entwicklung der entscheidenden Druckfallgebiete während der mittleren Februar-Dekade 1962. In den Abbildungen 11 bis 13 sind die 24stündigen Druckfall-Zentren für 00 Uhr MGZ (nach dem Tägl. Wetterbericht d. DWD)

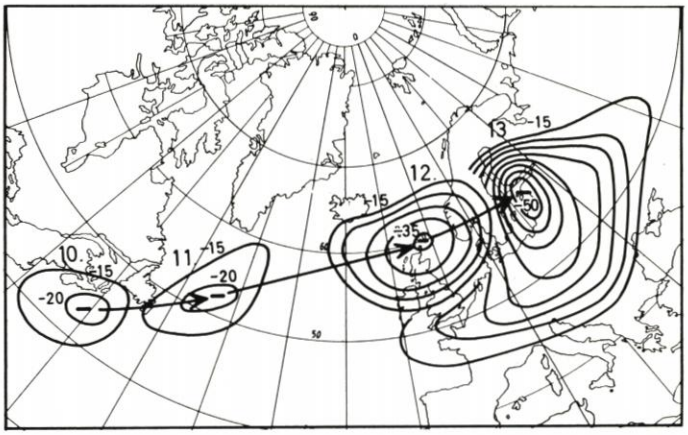


Abb. 11.
Entwicklung und Bahn des Druckfall-Zentrums vom 10. bis 13. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

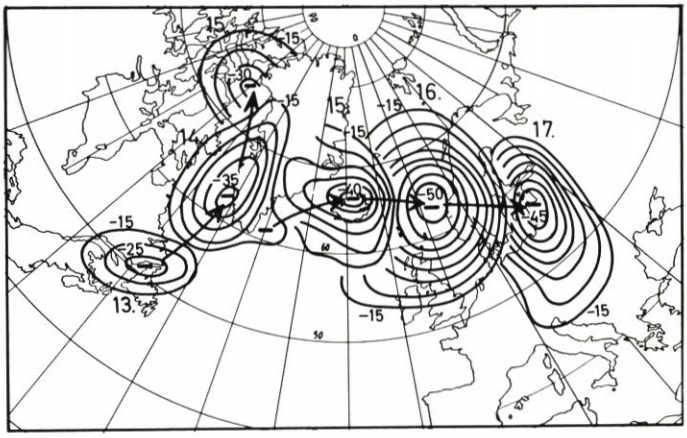


Abb. 12.
Entwicklung und Bahn der Druckfall-Zentren vom 13. bis 17. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

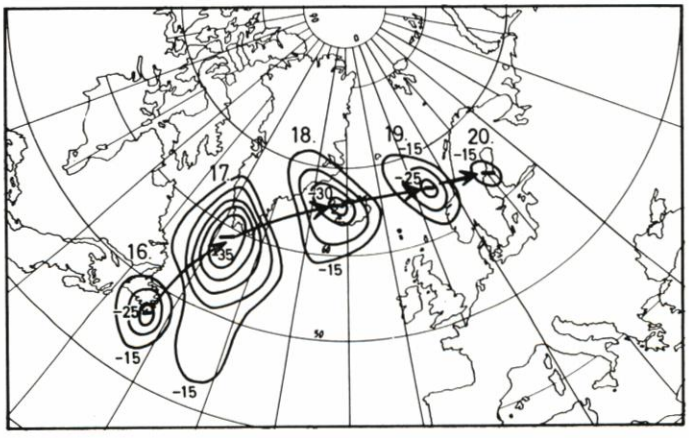


Abb. 13.
Entwicklung und Bahn des Druckfall-Zentrums vom 16. bis 20. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

dargestellt; die Datierung steht für den Endtermin (z. B. 14. = Druckänderung 13.—14., 00 Uhr MGZ). Die Isallobaren sind zur Klarhaltung des Bildes nur bis 15 mb Druckfall gezeichnet.

Drei-System-Folgen treten vom 10. bis 20. Februar 1962 auf und sind in den drei Abbildungen veranschaulicht:

vom 10. bis 13. Februar
vom 13. bis 17. Februar
vom 16. bis 20. Februar.

Das mittlere Druckfallsystem brachte die norddeutsche Sturmflutkatastrophe. Läßt man die weitere Vorgeschichte der Druckwellen außer Betracht, so sieht man, daß alle „begannen" mit 20 bis 25 mb Druckfall im westlichen Nordatlantik. Recht verschieden sind aber Bahn

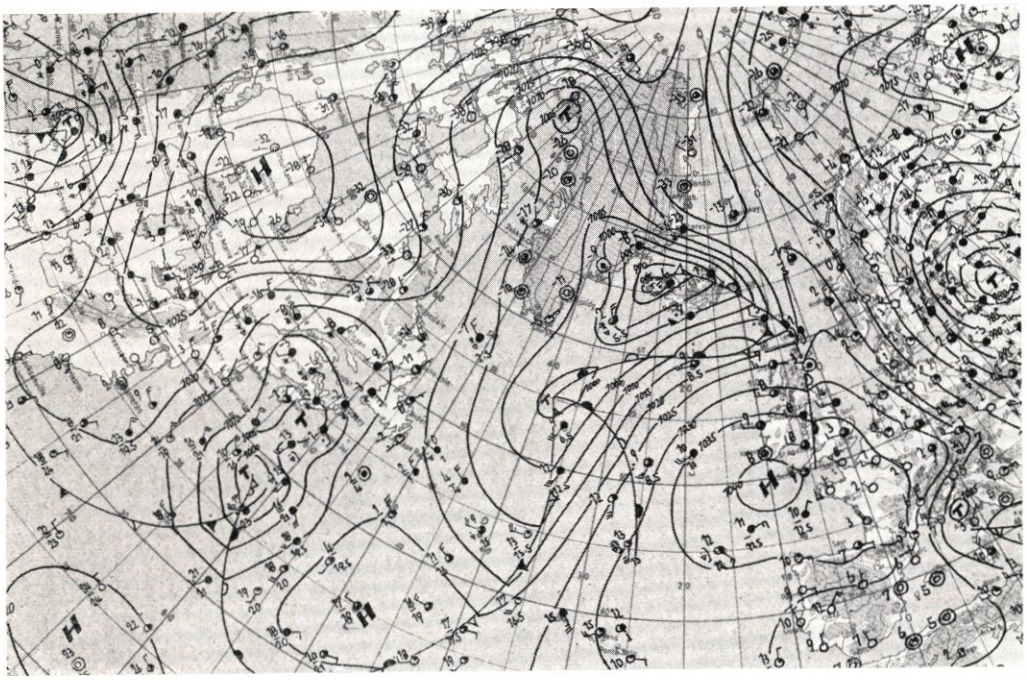


Abb. 14. Nordatlantik-Wetterlage am 18. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

und Entwicklung. Ein grundsätzlicher Unterschied zeigt sich zunächst zwischen „Fall 3" und den Fällen „1" und „2". Während diese beiden im europäischen Bereich bis zu einem 24stündigen Drucksturz von mehr als 50 mb anschwellen, tritt bei dem letzten Druckfallsystem eine Abschwächung auf dem Ostkurse ein. Nach anfänglicher Verstärkung auf —35 mb weist es am 20. Februar über dem Bottenbusen nur noch —15 mb auf. Glücklicherweise kam es so nicht zu einem dritten Nordseesturm in dieser Februar-Dekade; eine auch nur annähernde Wiederholung wäre in Anbetracht der gebrochenen oder schwerbeschädigten Deiche Norddeutschlands verhängnisvoll geworden.

Wegen des völlig anderen Verhaltens des dritten Druckfallgebietes sei hier gleich der „Test auf den neutralen Punkt" angefügt. Mit Abbildung 14 bringen wir die Wetterlage vom 18. Februar 1962, 00 Uhr MGZ. Von dem ausgeprägten Vierer-Druckfeld mit neutralem Punkt, wie es am 15. und 12. Februar bestanden hatte, ist hier nichts zu entdecken. Es sind

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

keine „Begegnungs-Isobaren" aus dem tiefen Süden und dem hohen Norden mehr auszumachen. Das warme Hoch (südlich Irland) und das kalte Hoch (südlich der Hudson-Bay) sind weit auseinandergerückt, und das Bild dazwischen hat sich entscheidend gewandelt. So zeigt diese Gegenprobe der Natur, daß die Besonderheit des neutralen Punktes doch ihr besonderes zyklogenetisches Potential zu haben scheint.

Auf der anderen Seite kommen in der Entwicklung der beiden ersten Druckfallgebiete (Abb. 11 und 12) doch Unterschiede zum Vorschein, trotz der Ähnlichkeit der Vierer-Druckfelder: „Si duo faciunt idem, non est idem", möchte man sagen.

Im ersten Falle, 10. bis 13. Februar, zeigt sich ein einfacheres Bild: Das Druckfallgebiet wandert sehr zügig nach ONO, später Ost, wobei die starke Ausweitung und Vertiefung erst im europäischen Bereich stattfindet. Der stärkste 24stündige Druckfall erfolgt erst im Ostseegebiet (Abb. 11).

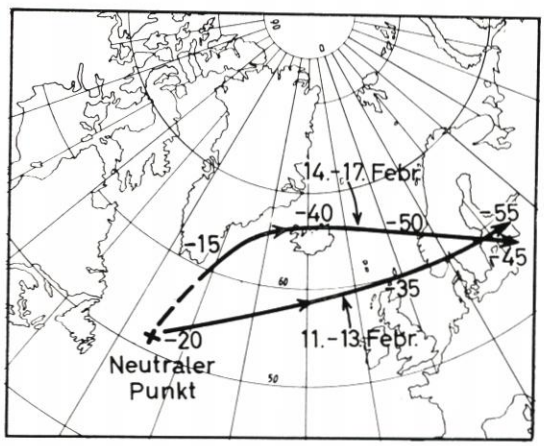


Abb. 15. Die Bahnen der Druckfallzentren (Zahlenwerte = 24stündiger Betrag) mit Bezug auf den neutralen Punkt

Im zweiten Falle, 13. bis 17. Februar, tritt ein Druckfall von 35 mb — wie er im „Falle 1" erst nördlich Schottland erscheint — bereits an der Südwestküste Grönlands (14. Februar) auf. Aber dies Druckfallgebiet zieht unter zunächst langsamer, später rascher Abschwächung nordwärts nach Nordwestgrönland / Ellesmere-Land ab (Abb. 12).

Es bekommt dabei am 14. Februar östlich Südgrönland einen deutlichen „Auswuchs"; hier erfolgt eine Keimung, ein neues Druckfallgebiet entsteht. Dies wandert, nur etwa mit der halben Fahrt seines Vorgängers vom 11. bis 12. Februar, nach Island, wobei es sich dort schon am 15. Februar auf — 40 mb vertieft. Das Doppelsystem dieses Tages (— 40 mb Island, — 30 mb Nordgrönland) ist in Abbildung 12 zu erkennen.

Das neue Druckfallgebiet zieht relativ langsam (im Vergleich zum Vorgänger Nr. 1) nach dem südlichen Nordmeer, dabei an Umfang und Intensität gewinnend. Der Fall von 50 mb in 24 Stunden wird am 16. Februar bereits im Nordmeer erreicht, zum Unterschied von dem Vorgänger (13. Februar) mit 50 mb Fall erst im Ostseegebiet. Aber auch am 17. Februar im Baltikum beträgt der Druckfall noch 45 mb; die Intensität läßt nur langsam nach.

Es soll an dieser Stelle noch nicht weiter auf die Unterschiede der beiden Fälle im einzelnen eingegangen werden. Das Gemeinsame von „Fall 1" und „Fall 2" ist, daß die entscheidende Verstärkung des Druckfalls stromabwärts („downstream") vom neutralen Punkte erfolgt, und zwar nicht in unmittelbarer Nachbarschaft, sondern Hunderte von Seemeilen von ihm entfernt. „Stromabwärts" bedeutet hierbei: in Richtung der Strömung um das warme Hoch gesehen, das rechter Hand vom neutralen Punkt gelegen ist.

Abbildung 15 veranschaulicht dies. Die Verstärkung auf 40 mb 24stündigen Druckfalls z. B. ist in beiden Fällen in etwa 1600 sm Abstand vom neutralen Punkte erfolgt. Der Verstärkungsprozeß selbst setzt natürlich schon vorher ein, scheint aber im Abstande von größenordnungsmäßig 300 bis 600 sm erst deutlicher zu werden. Was hiermit zu zeigen war, das war zunächst, daß die beiden großen Nordseestürme der zweiten Februar-Dekade 1962 nicht etwa speziellen Vorbedingungen im Nordseebereich selbst entsprangen, sondern daß ihr „An-

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

lasser" 2000 sm entfernt im Seegebiet vor Neufundland lag. Und das Eigentümliche dabei ist, daß ein Punkt im Bodendruckfelde als charakteristisches Vorzeichen eines riesenhaft ausgedehnten und ungeheuer energiereichen Phänomens in Erscheinung tritt.

5. Die Wetterschiffe C und B als Indikatoren der Frontalzone

Natürlich hat dieser „Punkt" nicht als solcher, sondern nur als Kennzeichen des Stromfeldes seine Bedeutung. Da wir den neutralen Punkt bei 52°, 45° W feststellten, können wir die beiden Wetterschiffe

C 52,8° N, 35,5° W
B 56,5° N, 51° W

benutzen, um die Ausprägung der Frontalzone zu betrachten, die sich gemäß dem Schema der Abbildung 5 hier entwickeln bzw. verschärfen sollte.

C läge östlich des Punktes, also auf der warmen Seite, B läge westlich von ihm, also auf der kalten Seite der Frontalzone.

Weil es dynamisch wesentlich ist, daß der Temperaturgegensatz nicht nur in Bodennähe auftritt, sondern eine vertikal mächtige Luftmasse erfaßt, sei der Gegensatz gleich mittels der sogenannten relativen Topographie der 500-mb-Fläche bestimmt. Die Schichtdicke „500 über

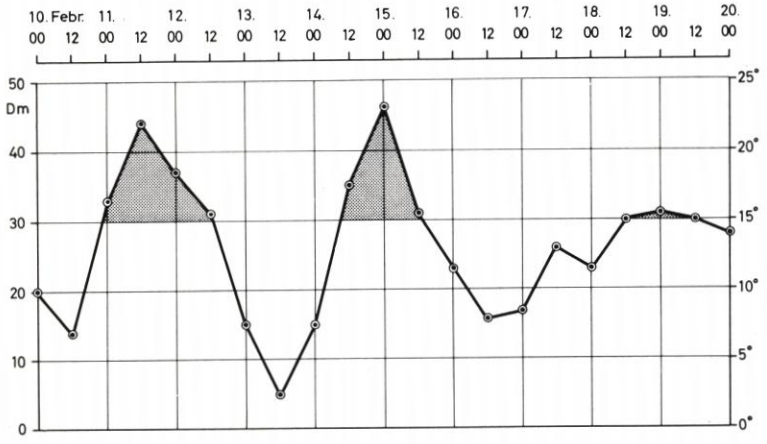


Abb. 16. Differenz (C—B) der über den Wetterschiffen C und B gemessenen Schichtdicken „500 bis 1000 mb" (in Dekametern) = Temperatur-Gefälle C–B in der unteren Troposphärenhälfte. Zeitraum 10. bis 20. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

1000 mb" in Dekametern ist abhängig von der virtuellen Mitteltemperatur der Schicht, ist also ein Maß für die Mitteltemperatur der unteren Troposphärenhälfte, vom Boden bis etwa 5½ km Höhe. Zwei Dekameter Differenz der Schichtdicke sind dabei hinreichend genau gleich 1° Differenz der Mitteltemperatur zu setzen.

Es zeigt sich, daß in der Dekade vom 10. bis 20. Februar 1962 die Differenz (C-B) ständig positiv ist, d. h. die 5½-km-Luftschicht über Wetterschiff C ist immer wärmer als über Wetterschiff B. Der Gang dieser Differenz, die ein Maß für die Stärke der Frontalzone zwischen C und B ist, wird in Abildung 16 gezeigt. Die Zeiten, in denen die Differenz 30 Dekameter = 15° überschreitet, sind durch Schraffur hervorgehoben.

Drei Akzentuierungen der Frontalzone zwischen C und B treten deutlich hervor:

am 11. bis 12. Februar; maximaler Gegensatz 22°
am 14. bis 15. Februar; maximaler Gegensatz 23°
am 18. bis 19. Februar, maximaler Gegensatz 15°.

Sie lassen sich in Parallele setzen zu den drei Druckfallsystemen, die nach Europa abwandern (Abb. 11 bis 13). Kennzeichnenderweise erreicht der frontale Temperatur-Unterschied zwischen C und B in den beiden ersten Fällen, die einen Druckfall von ~ 50 mb im europäischen Bereich auslösen, praktisch den gleichen, hohen Betrag von 22 bis 23°. Im dritten Falle dagegen, wo der neutrale Punkt fehlt, werden nur eben 15° überschritten: d. h. die Frontalzone bringt es hier, thermisch gesehen, maximal auf $^2/_3$ (69 %) der Stärke vom 11. und 15. Februar.

Mit Abbildung 17 sei ein Blick auf das Zustandekommen der Differenz-Kurve Abbildung 16 getan. Hier sind die Werte der Schichtdicke „500 bis 1000 mb" für die Wetterschiffe C

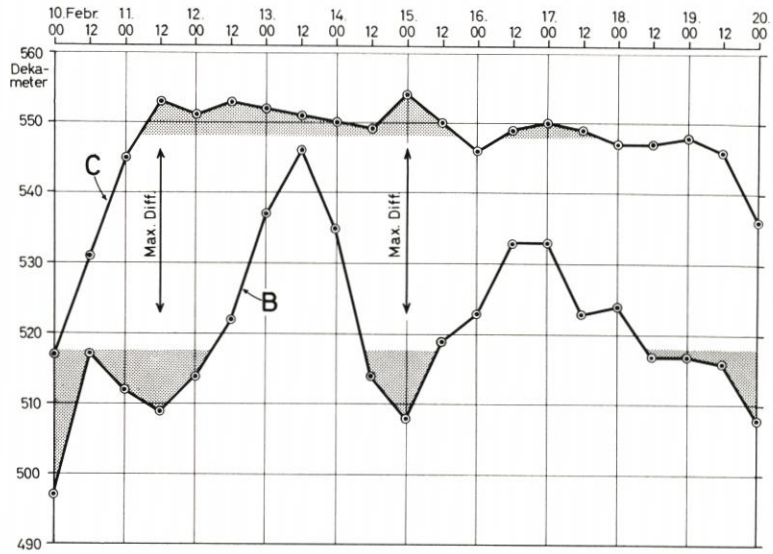


Abb. 17. Schichtdicken „500 bis 1000 mb" (in Dekametern) über den Wetterschiffen C und B, 10. bis 20. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

und B gesondert dargestellt. Für C sind die Bereiche über 548 Dm, für B die Bereiche unter 518 Dm durch Rasterung hervorgehoben.

Bei Wetterschiff C tritt gleich im Anfang der Dekade — mit dem Druckfallgebiet Nr. 1 — ein gewaltiger Temperaturanstieg ein: Die Schichtdicke wächst in 24 Stunden (am 10. Februar) von 517 auf 545 Dm = 14° Erwärmung der unteren Troposphärenhälfte. Das heißt: C gerät zu Beginn des 11. Februar in den Strom der von Süden kommenden Tropikluft. Die Schichtdicke „500 bis 1000 mb" schwankt dann bis zum 19. Februar in nur geringem Maße um den Wert von 548 bis 550 Dm; C verbleibt fast die gesamte Februar-Dekade im Bereich der warmen Tropikluft. Erst am 19. tritt ein stärkerer Temperaturfall ein; zum ersten Male seit dem 10. Februar wird der Wert von 540 Dm unterschritten.

Weit ausgeprägter sind die Schwankungen bei Wetterschiff B. Besonders auffällig ist die starke Erwärmung vom 11. bis 13. Februar (37 Dm = 18,5°). Vorübergehend dringt am 13. die Tropikluft, mit dem Warmsektor eines Tiefs, bis Wetterschiff B vor. Diesem Tief ent-

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

spricht das Druckfallgebiet, das vom 13. bis 15. Februar nach der Davis-Straße und dann an der Westküste Grönlands nordwärts zieht (vgl. Abb. 12). Hier ist also bei den Stärkeschwankungen der Frontalzone (C-B) eine räumliche Verlagerung mit im Spiel, die aber außer Betracht bleiben kann, da die westwärts verlagerte Frontalzone nur den „Nordläufer" nährt.

Dieses Tief hat die wichtige Funktion eines „Zubringers": Auf seiner Rückseite stößt die Labrador-Kaltluft wieder in den Nordwestatlantik vor (scharfe Abkühlung bei Wetterschiff B) und erneuert die Frontalzone zwischen B und C. Das Drucksteiggebiet, das dem Tief folgt, sorgt für den Wiederaufbau des Labrador-Hochs und so für die erneute Herstellung des Vierer-Druckfeldes mit neutralem Punkt.

Die maximale Ausprägung der Frontalzone C-B erfolgt an den durch Pfeile markierten Stellen — 11. Februar, 12 Uhr, und 15. Februar, 00 Uhr —, nach gegenläufiger Bewegung der Schichtdicken-Kurven von B und C. Diese Zeiten sind — wie noch zu zeigen — mit der optimalen Ausprägung des Vierer-Druckfeldes einschließlich neutralem Punkt verknüpft.

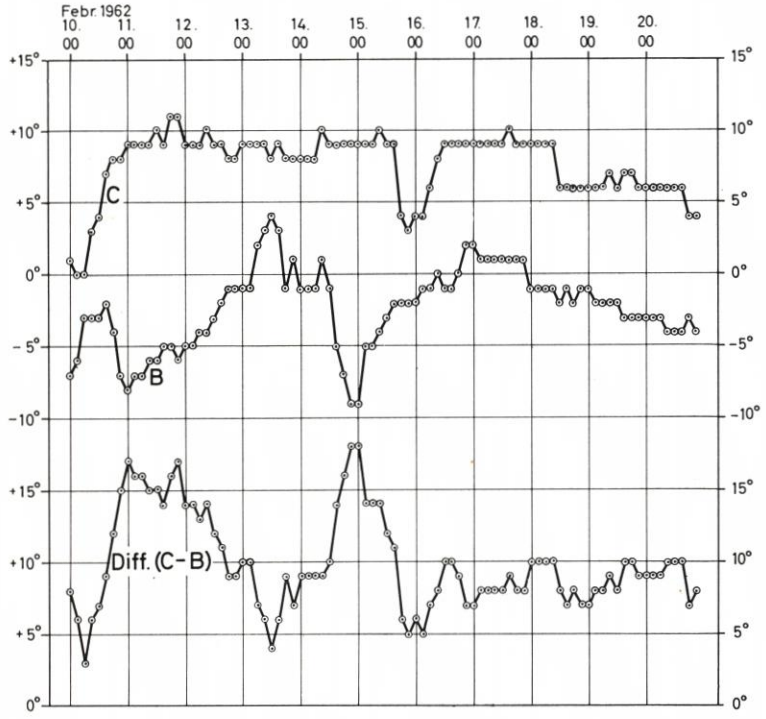


Abb. 18. Verlauf der Lufttemperatur vom 10. bis 20. Februar 1962 bei den Wetterschiffen B und C. Dazu Differenz-Kurve (C—B)

6. Der Verlauf der Bord-Temperaturen bei den Wetterschiffen C und B (2. Februar-Dekade)

Man braucht allerdings nicht die aerologischen Messungen zu Hilfe zu nehmen, um den Sachverhalt zu erfassen. Schon das Boden-Feld liefert ein ganz ähnliches Resultat. Als Beleg sind in Abbildung 18 die Lufttemperaturen vom 10. bis 20. Februar dargestellt, wie sie von

den Wetterschiffen C und B dreistündlich gemeldet wurden. Darunter ist die Differenz-Kurve (C-B) gezeichnet.

Man sieht: C ist vom 10. Februar abends an bis zum 18. vormittags in der warmen Tropikluft, in der die Temperatur immer um + 9° (+ 8 bis + 11°) liegt. Lediglich vom 15. zum 16. Februar findet eine kurze Unterbrechung der Herrschaft der Warmluft statt. Hier keilt die polare Kaltluft in flacher Schicht über das Wetterschiff C hinweg nach Südosten aus.

Beim Wetterschiff B zeigen sich am Boden recht ähnliche Schwankungen wie im Schichtmittel 1000 bis 500 mb (Abb. 17). So gibt denn auch die Differenz-Kurve der bodennahen Lufttemperaturen von C und B (Abb. 18 unten) ein ähnliches Bild wie die Differenz-Kurve der Mitteltemperaturen für die untere Troposphärenhälfte (Abb. 16). Zweimal, vom 10. bis 12. Februar und vom 14. bis 15. Februar, überschreitet der Temperaturunterschied C-B 10° und erreicht in Gipfelwerten 17 bis 18°. Diese Steigerung des Temperaturgefälles, die ihre Entsprechung in den Sturm-Druckfallgebieten Nr. 1 und Nr. 2 findet (Abb. 11 und 12), bleibt später, beim Druckfallgebiet Nr. 3, aus.

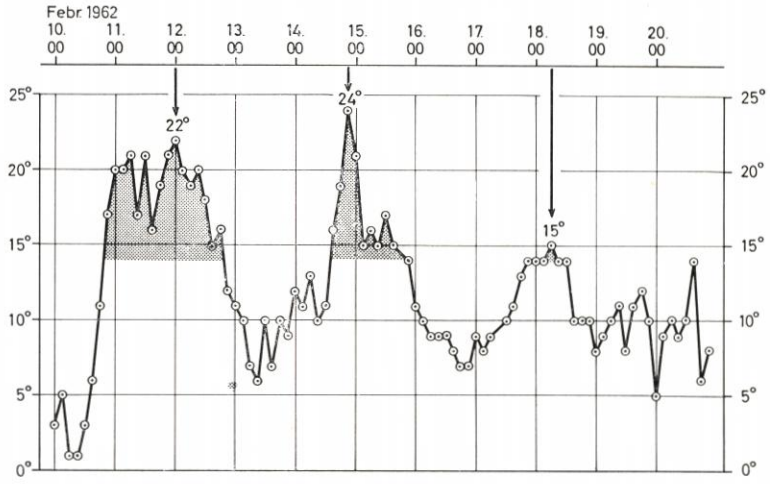


Abb. 19. Verlauf der Taupunkt-Differenz (C—B) vom 10. bis 20. Februar 1962

Noch stärker als in der Lufttemperatur prägen sich die Schwankungen beim Taupunkt aus. Als Beleg mag die Differenz-Kurve (C-B) der auf den beiden Wetterschiffen bestimmten Taupunkte dienen (Abb. 19). Es zeigt sich der gleiche Verlauf wie bei der Lufttemperatur und der Schichtdicke 500/1000 mb; die gekennzeichneten Maxima liegen recht ähnlich, ziemlich genau drei Tage auseinander.

Ganz interessant ist der folgende Vergleich der drei Maximalwerte der Differenz (C-B):

	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 1—3 Mittel
Lufttemperatur	17°	*18°*	10°	15°
Taupunkt	22°	*24°*	15°	20,3°
Temp.-Mittel 500/1000 mb	22°	*23°*	15,5°	20,2°

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Man sieht, daß die Frontalzone, gemessen an den Taupunkten „unten", praktisch mit genau den gleichen Werten in Erscheinung tritt wie in der „relativen Topographie 500/1000 mb", d. h. der Mitteltemperatur der unteren Troposphärenhälfte.

Wenn man bedenkt, daß das Bodennetz räumlich viel dichter ist als das aerologische Netz und auch zeitlich eine dichtere Folge von Beobachtungen liefert (alle 3 Stunden) als das aerologische Netz (alle 12 Stunden), so fällt die oben gezeigte Gleichheit der Aussagekraft von „Boden" und „Höhe" um so mehr ins Gewicht. Allerdings sind die bodennahen Werte nicht immer und nicht überall so repräsentativ.

7. Der Luftdruck- und Windverlauf bei den Wetterschiffen C und B (2. Februar-Dekade)

Zum Verständnis des Temperatur-Verlaufs bei den Wetterschiffen C und B sei ein Vergleich der Luftdruck-Kurven und der Winde angeschlossen, zunächst vom 10. Februar, 00 Uhr MGZ, bis 14. Februar, 03 Uhr MGZ (Abb. 20). Bei C erfolgt in der zweiten Tageshälfte des 10. Februar ziemlich starker Druckfall; gleichzeitig dreht der Wind von West auf Süd zurück und nimmt auf Sturmstärke von 40 Knoten zu. Bei Tagesende geht die Warmfront durch: Der Druckfall hört auf, der Wind dreht auf SSW und nimmt auf 25 bis 30 kn ab.

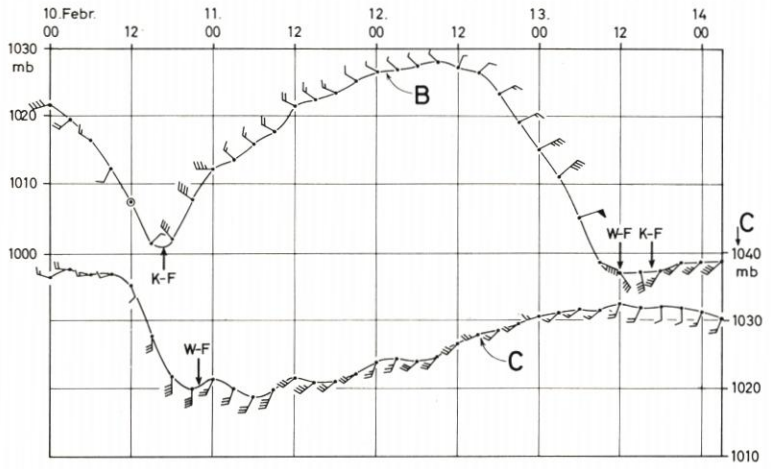


Abb. 20. Luftdruckverlauf und Winde bei den Wetterschiffen C und B, 10. Februar, 00 Uhr MGZ, bis 14. Februar, 03 Uhr MGZ

Von nun an, vom 11. bis 14. Februar, befindet sich C ständig im Bereich der warmen Tropikluft. Der Wind weht dauernd aus Südwest bis Süd, zunächst ziemlich heftig, mit Geschwindigkeiten um 30 kn, später weniger lebhaft, mit 20 kn, zeitweise weniger. Der Luftdruck steigt dabei langsam von etwa 1020 mb auf mehr als 1030 mb an, ein Zeichen dafür, daß sich das Warmluft-Hoch nach Nordwesten ausdehnt, an dessen Rande sich Wetterschiff C befindet.

Ganz anders die Luftdruck- und Windentwicklung bei Wetterschiff B. Der Luftdruckfall am 10. Februar ist zwar ähnlich, nur früher einsetzend und aufhörend wegen der westlicheren Lage von B. Aber der Wind frischt bei dem Druckfall nicht stürmisch auf wie

bei Wetterschiff C, sondern tut das Umgekehrte, nimmt von 40 kn auf Windstille bzw. schwachen umlaufenden Wind ab. Ein Zeichen, daß das Tiefzentrum in der Nähe von B vorbeizieht. Und während bei C am Ende des Druckfalls eine Warmfront mit Abflauen des Windes passiert, setzt bei B mit dem Ende des Druckfalls ein stürmischer Nordwest von 40 kn ein: Eine Kaltfront passiert das Wetterschiff B.

Mit dem Kaltluftvorstoß steigt der Druck bei B kräftig an; das kalte ostkanadische Hoch breitet sich über Labrador gegen die Davis-Straße aus. So wird vom 10. Februar abends an gleichzeitig Wetterschiff B von frischer Polarluft aus NW und Wetterschiff C von Tropikluft

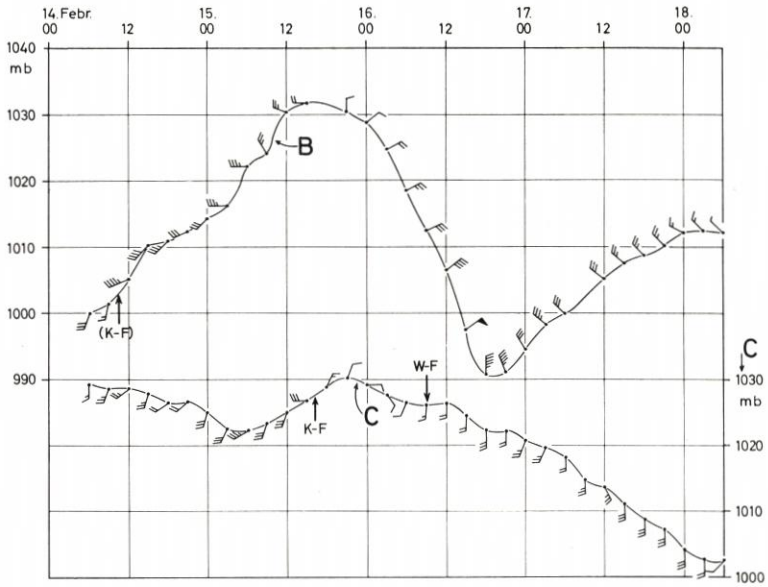


Abb. 21. Luftdruckverlauf und Winde bei den Wetterschiffen C und B, 14. Februar, 06 Uhr MGZ, bis 18. Februar, 06 Uhr MGZ

aus SSW überweht. Es ist klar, daß sich das Temperaturgefälle C-B dadurch rasch verschärfen muß. Es nimmt, wie Abbildung 16 zeigt, in 24 Stunden — vom 10. bis 11. Februar mittags — von 7° auf 22° zu. Zugleich prägt sich das Vierer-Druckfeld mit neutralem Punkt immer deutlicher aus.

Bis gegen Mittag des 12. Februar — bei Wetterschiff C bis zum Mittag des 13. Februar — dauert der Druckanstieg. Die Frontalzone C-B wird also durch keine Zyklonenbildung daselbst gestört; sie nährt nur die Sturmzyklone „Nr. 1" weit im Osten.

Ab 12. Februar mittags setzt bei B zunehmender Druckfall ein. Der Wind dreht nach NO bis ONO und nimmt am 13. bis auf 50 kn (Bft 10) zu. Die Frontalzyklone, die von Süden her über Neufundland westlich am Wetterschiff B vorbei nach Westgrönland zieht, läßt mit ihrem okkludierenden Warmsektor die Tropikluft am 13. Februar mittags vorübergehend bis B vordringen. Der Druckfall hört auf, der Wind dreht unter Nachlassen auf SSO. Bei Wetterschiff C macht sich dieser Druckfall vom 12. bis 13. Februar, der bei B 31 mb beträgt, überhaupt nicht bemerkbar; der Druck im Warmluft-Bereich steigt sogar weiter.

Am 13. nachmittags stößt über Wetterschiff B wieder Kaltluft aus SW vor. Der Druck steigt dabei aber nur ganz wenig. Die Fortsetzung des Druck- und Windverlaufs (14. bis 18. Februar, 06 Uhr MGZ) findet sich in Abbildung 21. Sie zeigt, daß sich bei B ein ähnlicher

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Druckanstieg wie vom 10./12. Februar am 14./15. Februar wiederholt. Dabei verstärkt sich der Kaltlufttransport aus SW zeitweise stürmisch (40 bis 45 kn), die Frontalzone C-B stellt sich wieder her und erreicht am 15. Februar, 00 Uhr MGZ ihren zweiten Maximalwert von 23° Temperaturgefälle in der unteren Troposphäre (vgl. Abb. 16).

Bereits am 14. Februar hat sich das Vierer-Druckfeld mit neutralem Punkt aufs neue ergeben, das sich am 15. Februar noch schärfer ausprägt (vgl. Abb. 9). Es kommt östlich Südgrönland zur Ausbildung und Verstärkung jenes Druckfallgebietes „stromabwärts" in der Frontalzone, das in der Folge den zweiten, fluterzeugenden Nordseesturm auslöst.

Ein Ausläufer dieses Druckfalls macht sich in der Druckkurve von Wetterschiff C am 14./15. Februar bemerkbar; der Südwestwind nimmt dabei auf 30 bis 35 kn zu. Am 15. nachmittags erreicht — wie schon früher erwähnt — die Kaltluft das Wetterschiff C: Der Wind dreht auf NNO, flaut zugleich auf 10 bis 15 kn ab. Windwende und Druckwende fallen dabei nicht zusammen, der Frontdurchgang erfolgt erst etwa zehn Stunden nach Beginn des Druckanstiegs. Der Wind dreht dann aber bald über Ost nach Süd: Die warme Tropikluft nimmt schon am 16. morgens vom Seegebiet um C wieder Besitz.

Anders als nach dem ersten Warmfront-Durchgang am 10. Februar abends, dem ein langer Druckanstieg folgte, schließt sich an den zweiten Warmfront-Durchgang am 16. Februar bei C ein langanhaltender Druckfall, ein Zeichen dafür, daß das warme Hoch nach Osten zurückweicht. Die Druck-Kurve von Wetterschiff B aber läßt erkennen, daß dem neuen starken Druckfall am 16. Februar — wieder dringt ein Tief von Neufundland gegen Südgrönland vor — nur ein mäßiger Druckanstieg folgt. Kein Labrador-Hoch (wie am 11./12. und am 14./15. Februar) tritt nach dem dritten Druckfallgebiet in Funktion, um den Partner im Vierer-Druckfeld zu bilden. Infolge dichterer Zyklonenfolge vom östlichen Nordamerika her wandelt sich das Bild der Nordatlantik-Wetterlage.

8. Die relative Topographie 500/1000 mb über dem Nordatlantik in der 2. Februar-Dekade 1962

Verlassen wir damit die Punktbetrachtung (C und B) und wenden wir uns dem größeren Felde zu. Wir wählen als Termine den 12., 15. und 18. Februar, 00 Uhr, für die mit den Abbildungen 6, 9 und 14 die nordatlantische Bodenwetterlage bereits früher vorgeführt wurde. In den Abbildungen 22 bis 24 ist (wieder nach den Karten im Tägl. Wetterbericht des DWD) die relative Topographie 500/1000 mb wiedergegeben. Wo die Linien gleicher Schichtdicken (rel. Top.) 500/1000 mb dichtgedrängt verlaufen, besteht ein starkes horizontales Temperaturgefälle, liegt eine „Frontalzone". Der Abstand zweier benachbarter Isolinien beträgt 4 Dm und bezeichnet ein Temperaturgefälle von 2° in der unteren Troposphärenhälfte. Die eingezeichneten Winde stellen den sogenannten Relativwind (oder „Thermalwind") dar, das heißt: den Anteil des Höhenwindes in 500 mb, der durch die Temperaturverteilung der Schicht 1000 bis 500 mb erzeugt wird.

Die Frontalzone, die von der Labrador-See nach ONO bzw. NO gerichtet ist, tritt in allen drei Karten der relativen Topographie deutlich hervor. Zur Veranschaulichung der Grundzüge sind in den Abbildungen 25 bis 27 (für die gleichen Termine 12., 15., 18. Februar, 00 Uhr MGZ) nur das warme Gebiet und das kalte Gebiet jeweils durch die Schichtdicken-Linien von 52 Dm Differenz = 26° Temperaturgefälle abgegrenzt. Die Längsachse der Frontalzone zwischen „Warm" und „Kalt" ist durch zwei Zwischenlinien markiert; von dieser Achse aus sind 13° Temperaturdifferenz sowohl nach der warmen wie nach der kalten Seite.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Ein „Querbalken" bezeichnet die Gegend, wo die 26°-Differenz zwischen Warmluft und Kaltluft auf geringste Entfernung angetroffen wird. Diese Stelle größten Temperaturgefälles in der Frontalzone zeigt sich in allen drei Fällen in der Nachbarschaft der (eingezeichneten) Wetterschiffe C und B. Hier kommen sich eine Wärmezunge und eine Kältezunge entgegen, etwa im selben Maße am 12. und 15. Februar, weniger ausgeprägt am 18. Februar.

Die gestrichelten Linien im Westen und Osten bezeichnen „Anfang" und „Ende" der Frontalzone; die Gefälls-Strecke von 52 Dm = 26° verläuft in etwa so, wie es die Linien angeben. Die große Länge dieser Querlinien, verglichen mit der Kürze des „Querbalkens", zeigt die Abschwächung der Frontalzone nach Osten und Westen hin an.

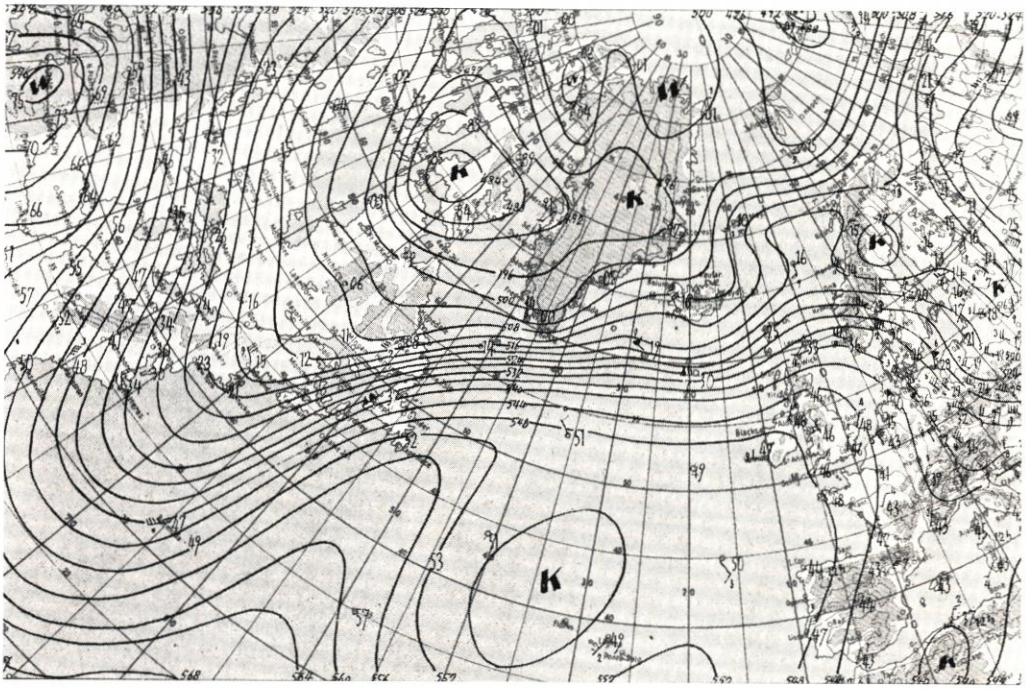


Abb. 22. Relative Topographie 500/1000 mb am 12. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

9. Absolute Topographie der 500-mb-Fläche und Höhenströmung über dem Nordatlantik in der 2. Februar-Dekade 1962

Das Boden-Druckfeld (Höhe der 1000-mb-Fläche) und die relative Topographie 500/1000 mb ergeben addiert die absolute Topographie der 500-mb-Fläche. Eine starke Frontalzone in der relativen Topographie wird sich daher meist auch als starke Gefällszone der 500-mb-Druckfläche ausprägen — wenngleich modifiziert durch die Mitbeteiligung des Boden-Druckfeldes beim Aufbau des Höhen-Feldes.

Die Abbildungen 28 bis 30 (nach dem Tägl. Wetterbericht des DWD) lassen die starke Gefällszone der 500-mb-Fläche über dem nördlichen Nordatlantik am 12., 15. und 18. Februar 1962 erkennen. Diese ist gleichbedeutend mit einem schweren Höhenorkan. Am 12. Februar um 00 Uhr (Abb. 28) werden von den Wetterschiffen südlich Grönland und südlich Island

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

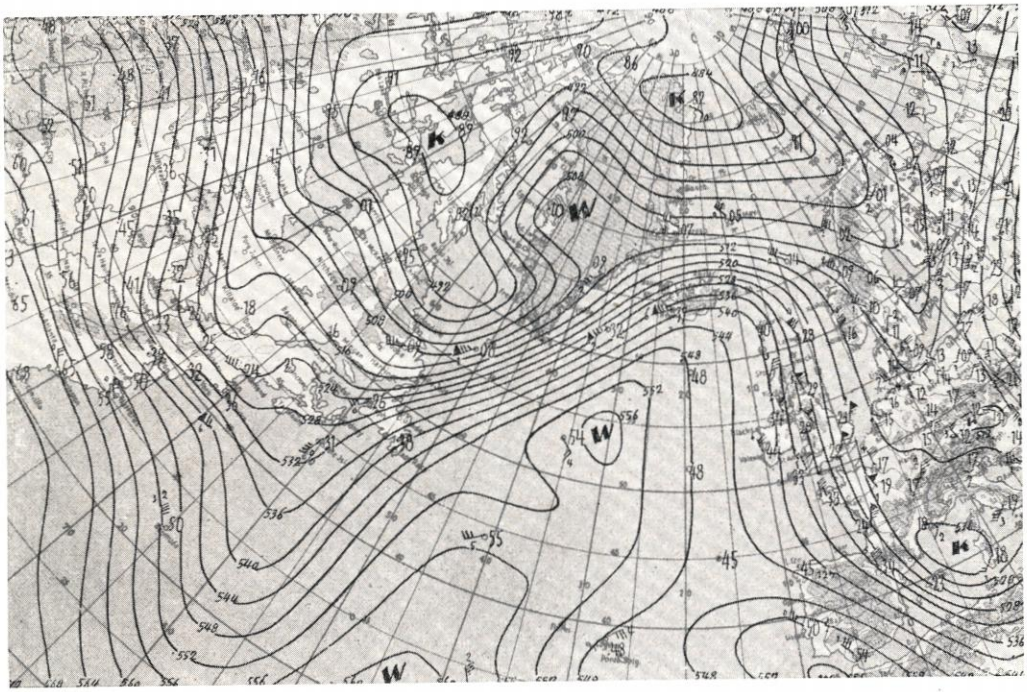


Abb. 23. Relative Topographie 500/1000 mb am 15. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

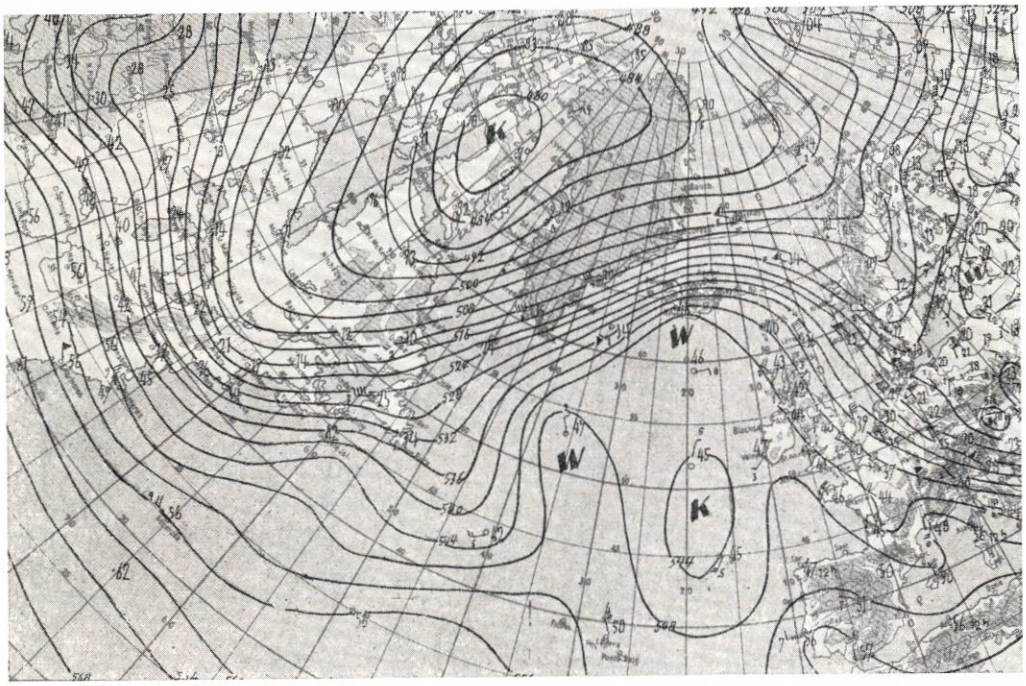


Abb. 24. Relative Topographie 500/1000 mb am 18. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

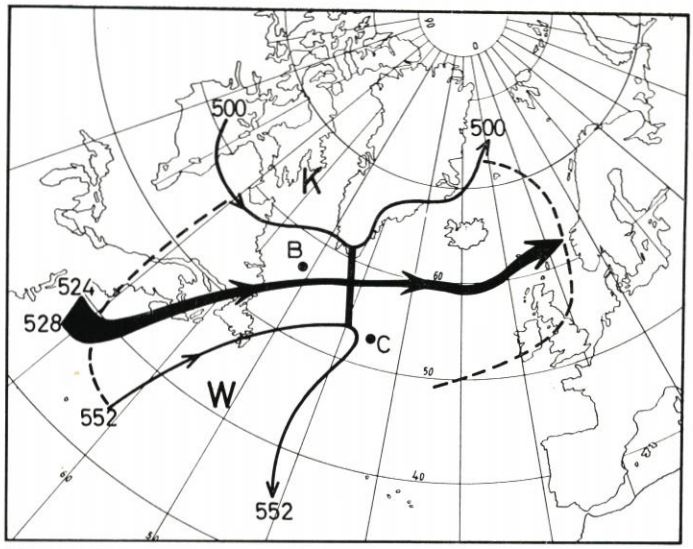


Abb. 25.
Muster der Frontalzone zwischen 552 und 500 Dm rel. Top. (Diff. 52 Dm = 26°) am 12. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

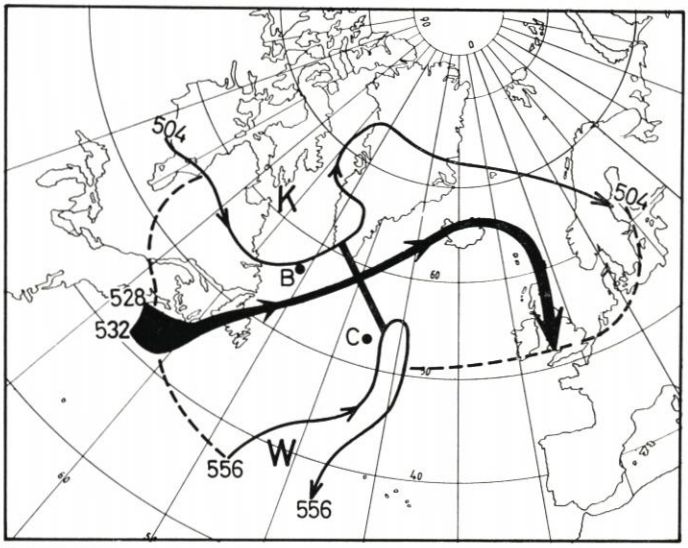


Abb. 26.
Muster der Frontalzone zwischen 556 und 504 Dm rel. Top. (Diff. 52 Dm = 26°) am 15. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

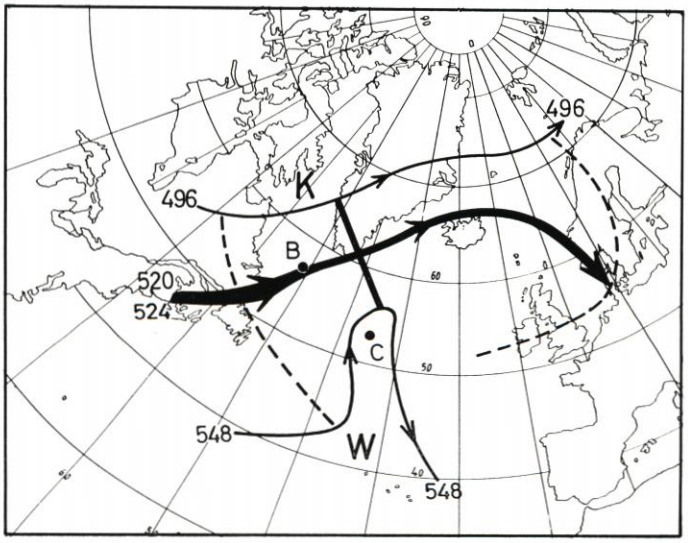


Abb. 27.
Muster der Frontalzone zwischen 548 und 496 Dm rel. Top. (Diff. 52 Dm = 26°) am 18. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

135 kn (etwa 250 km/Std.) gemessen, in Höhe der 300-mb-Fläche südlich Island sogar 190 kn (über 350 km/Std.)!

Am 15. Februar (Abb. 29) liegt die Zone des Höhenorkans etwas nördlicher; jetzt weht es über Island mit *135 kn* (in 500 mb). Für 300 mb Höhe werden — vom Wetterschiff A — 160 kn (fast 300 km/Std) gemeldet. Eine schwächere Ausbildung des Höhenorkans — und eine noch etwas nördlichere Lage — zeigten sich am 18. Februar (Abb. 30). In Höhe der 500-mb-Fläche werden 100 kn Windgeschwindigkeit nicht mehr überschritten.

Die „Muster" der frontalen Höhenströmung am 12., 15. und 18. Februar 1962 sind durch die Abbildungen 31 bis 33 veranschaulicht. Es ist jeweils die Gefällszone von 60 Dm dargestellt (576—516 Dm bzw. 568—508 Dm), dazu — verstärkt — die Längsachse mit den

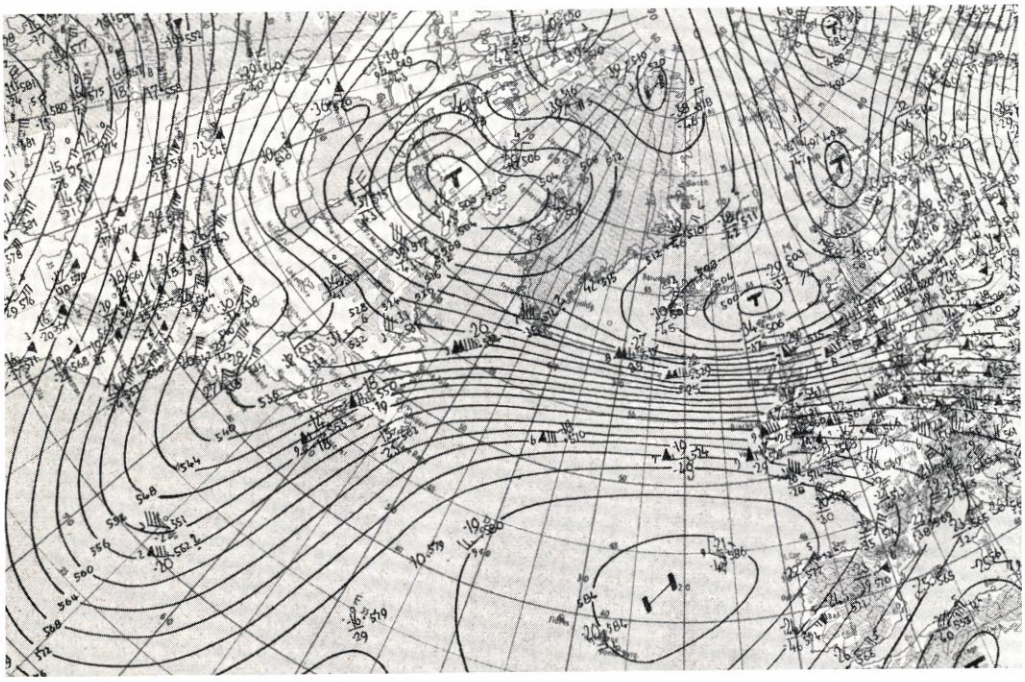


Abb. 28. Absolute Topographie der 500-mb-Fläche am 12. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

mittleren Isolinien zwischen 576 und 516 Dm (548, 544 Dm) bzw. zwischen 568 und 508 (540, 536 Dm). Der Bereich stärksten Gefälles ist durch einen „Querbalken" markiert.

Jede Frontalzone — thermisch, etwa nach der relativen Topographie 500/1000 mb definiert — hat eine Stelle schärfster Ausprägung, ein Gebiet zunehmenden Gefälles, das „Einzugsgebiet" und ein Gebiet abnehmenden Gefälles, das sogenannte Delta. Die Abbildung 34 gibt dafür das Schema.

Die Tiefdruckbildung bzw. -verstärkung (am Boden) tritt gewöhnlich im Delta der Frontalzone ein, „stromabwärts" von der Stelle stärksten Temperaturgefälles. Da nun das Höhen-Druckfeld — dargestellt als absolute Topographie etwa der 500-mb-Fläche — im gleichen Maße vom Boden-Druckfeld her wie von der Temperatur der Gesamtschicht („rel. Topographie") bestimmt wird, so kann sich, je nach Boden-Druckfeld, eine räumliche Verschiebung der Stelle stärksten Gefälles zwischen der relativen und der absoluten Topographie der 500-mb-Fläche ergeben.

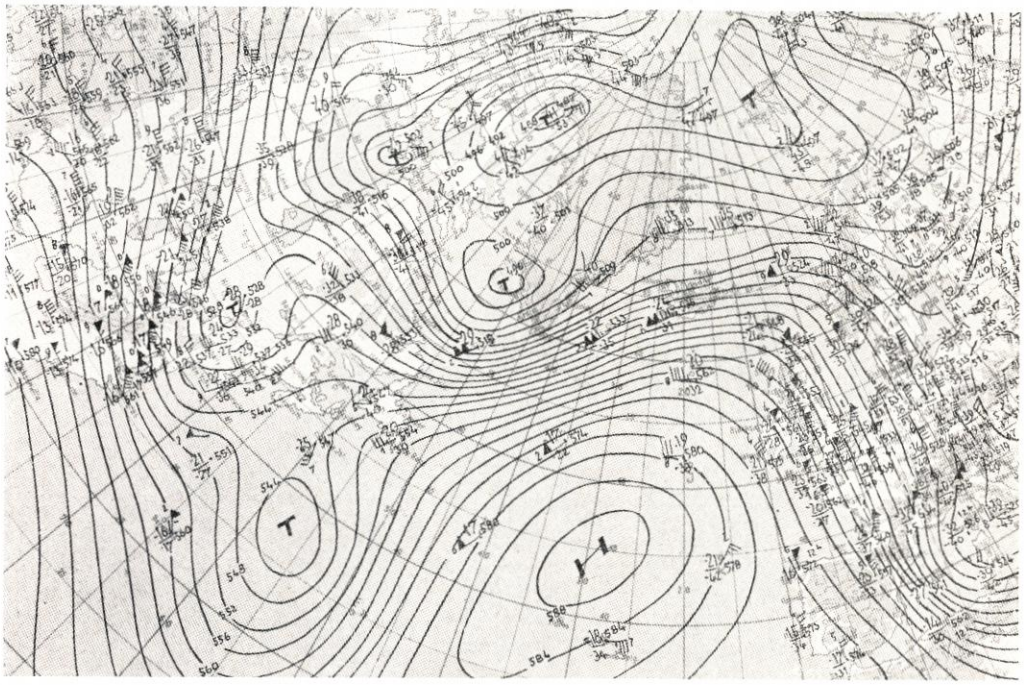


Abb. 29. Absolute Topographie der 500-mb-Fläche am 15. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

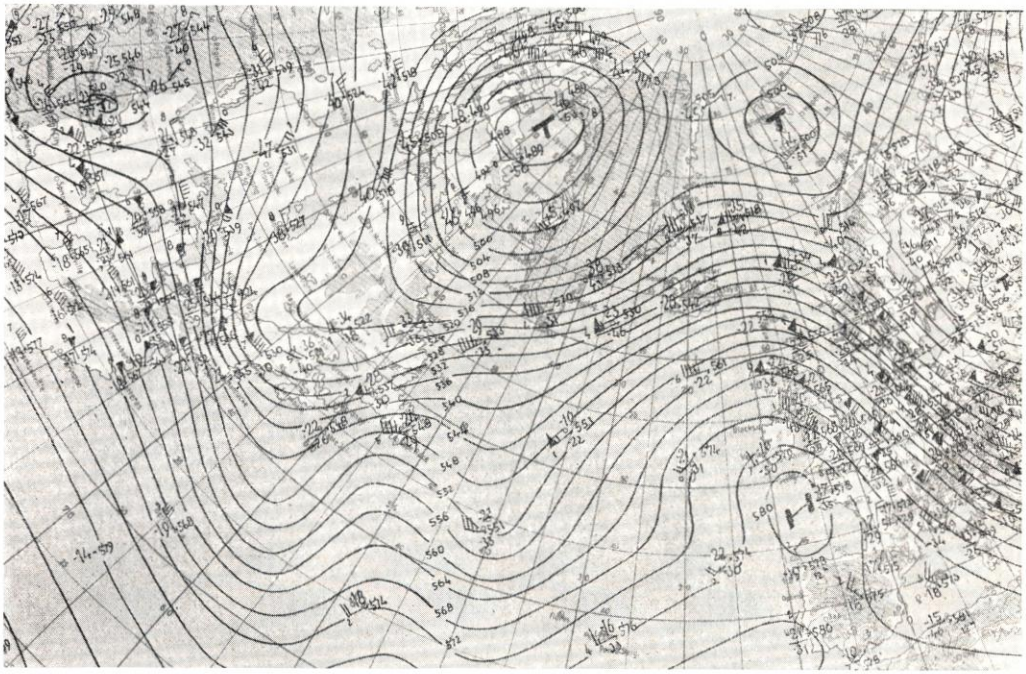


Abb. 30. Absolute Topographie der 500-mb-Fläche am 18. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

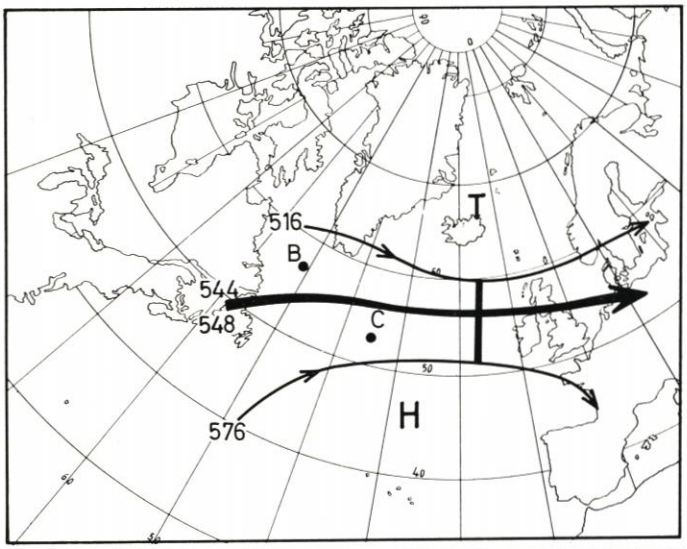


Abb. 31.
Muster der frontalen Höhenströmung bei 60 Dm Gefälle der 500-mb-Fläche am 12. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

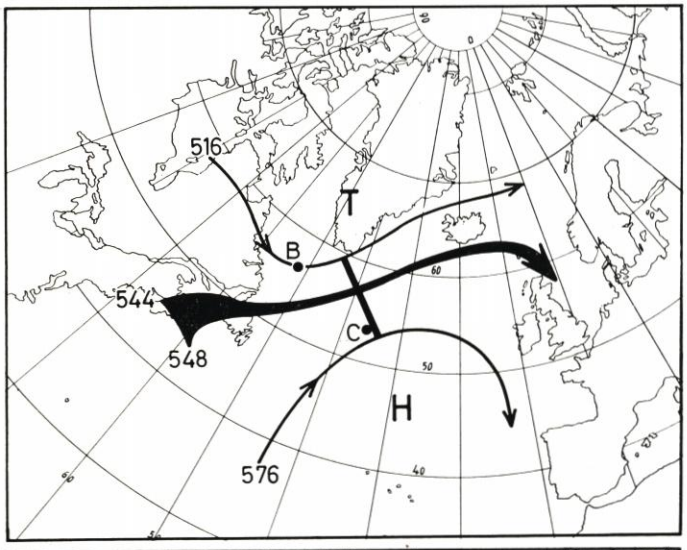


Abb. 32.
Muster der frontalen Höhenströmung bei 60 Dm Gefälle der 500-mb-Fläche am 15. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

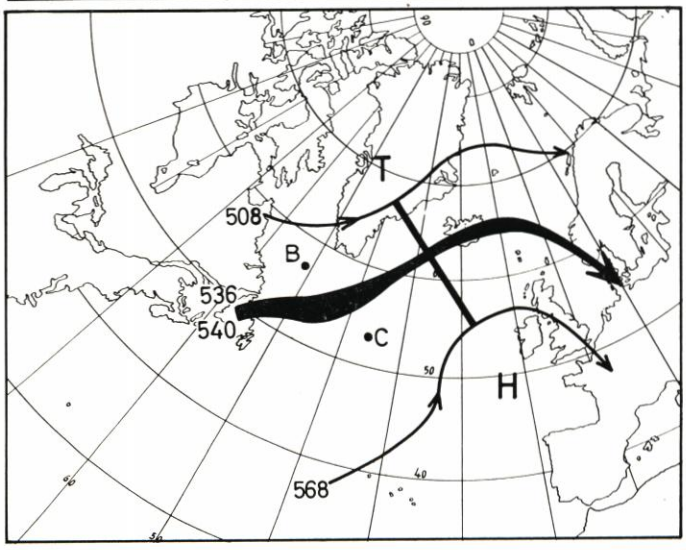


Abb. 33.
Muster der frontalen Höhenströmung bei 60 Dm Gefälle der 500-mb-Fläche am 18. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Schematisch ist dies in Abbildung 35 dargestellt. Dadurch, daß sich ein immer stärkeres Boden-Tief im nördlichen Teil des Deltas der Frontalzone bildet, verschiebt sich die Stelle stärksten Gefälles in der absoluten Topographie nach Osten gegenüber der Stelle stärksten Gefälles in der relativen Topographie (angedeutet durch die „Querbalken"). Zugleich kann dabei eine gewisse Drehung der Gefällsrichtung eintreten.

Vor allem tritt mit zunehmender Vertiefung des Boden-Tiefs zunächst eine Verstärkung des Druckgefälles und damit der Luftströmung auch in der Höhe ein. Es läuft eine Zeitlang ein ineinandergreifender, sich selbst verstärkender Prozeß, wobei die maximale Gefällsstelle „relativ" die maximale Gefällsstelle „absolut" nach Osten treibt, diese „absolute" aber

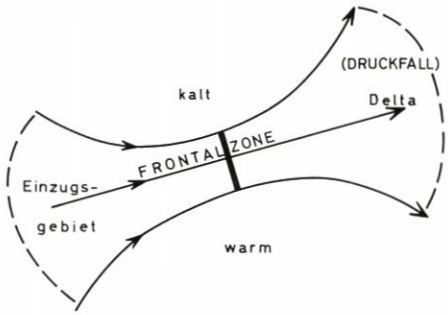


Abb. 34. Schema der Frontalzone

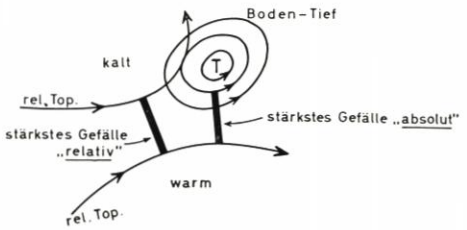


Abb. 35. Schema der Verschiebung des Gefällsmaximums der absoluten gegenüber der relativen Topographie

infolge Änderung des Massentransports wieder die „relative" nach sich zieht und so fort, bis der ausgebildete riesige Sturmwirbel das Gesamtbild entscheidend verändert.

Vergleicht man die „Querbalken" in den absoluten Topographien (Abb. 31—33) mit jenen der relativen (Abb. 25—27), so ist besonders im Falle Nr. 1 die Verschiebung deutlich zu erkennen: Die stärkste Höhenströmung liegt ostwärts des stärksten Temperaturgefälles der Frontalzone. Im übrigen zeigen die Abbildungen 31, 32, 33 gewisse Unterschiede im Muster der frontalen Höhenströmung, auf die an anderer Stelle — im Zusammenhang mit der Entwicklung der Sturmzyklonen — zurückzukommen sein wird. Zunächst kehren wir nach diesem Überblick auf den Ausgangspunkt zurück.

10. Die Entstehung, Bewegung und Auflösung der Stromfeld-Singularität des neutralen Punktes vom 12. und 15. Februar 1962

Wegen der frontogenetischen bzw. zyklogenetischen Bedeutung des neutralen Punktes im Vierer-Druckfeld sei kurz die Entstehung, Bewegung und Auflösung dieser Singularität des Druck- und Stromfeldes betrachtet. Die genaue Lage des neutralen Punktes über dem Ozean ist, wegen unzureichender Dichte des Netzes von Schiffsmeldungen, manchmal schwer zu fixieren. Die Zeichnung der Isobaren ist gerade um ein solches „indifferentes" Gebiet herum nicht frei von Willkür. Trotzdem ist die Lebensgeschichte der beiden neutralen Punkte vom 12. und 15. Februar 1962 (vgl. Abb. 6—8, 9—10) einigermaßen eindeutig zu klären.

Beide haben eine Lebensdauer von etwa drei Tagen und beschreiben dabei die in den Abbildungen 36 und 37 dargestellten Bahnen. Diese ähneln einander insofern, als in beiden Fällen die Entstehung im Seegebiet südlich Neufundland vor sich geht, dann eine Verlagerung nach der Gegend um 51—52° N, 45° W eintritt, wo es zu einer Verlangsamung bis fast zum

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

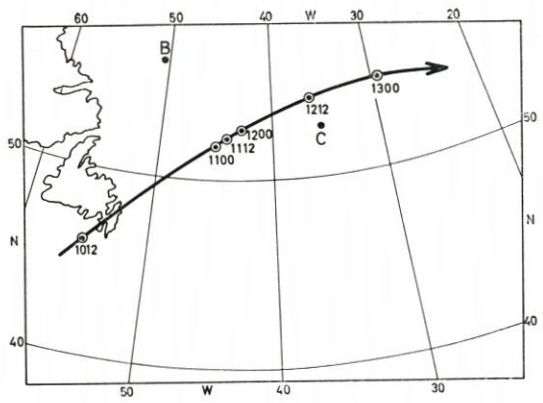


Abb. 36. Bahn des neutralen Punktes vom 10. bis 13. Februar 1962

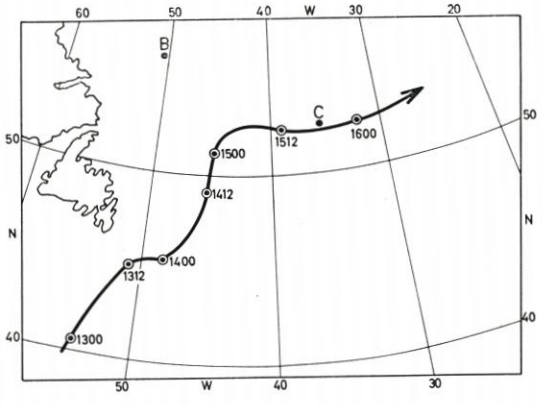


Abb. 37. Bahn des neutralen Punktes vom 13. bis 16. Februar 1962

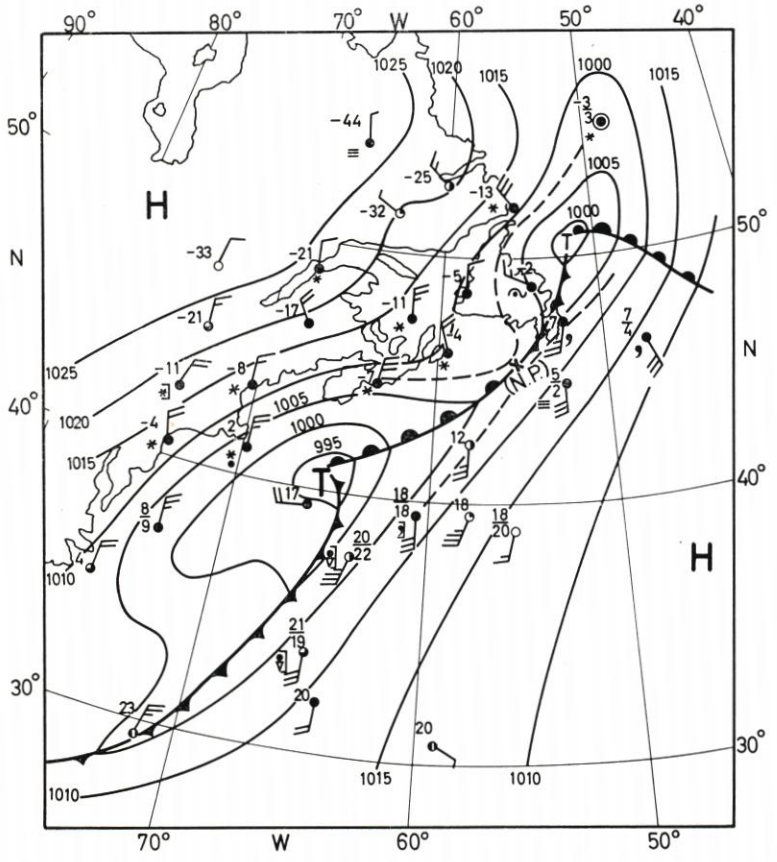


Abb. 38. Wetterlage vor der Ostküste Nordamerikas am 10. Februar 1962, 12 Uhr MGZ: Bildung des neutralen Punktes (N. P.)

Stationärwerden kommt, und schließlich eine zügige Wanderung nach Osten erfolgt — mit Auflösung etwa in der gleichen Gegend (um 54° N, 25° W).

Entstehung und Auflösung spielen sich in beiden Fällen grundsätzlich auf die gleiche Weise ab, so daß es genügt, den ersten Fall etwas ausführlicher zu schildern. Abbildung 38 zeigt die Wetterlage vor der nordamerikanischen Ostküste am 10. Februar 1962, 12 Uhr MGZ, als der neutrale Punkt Nr. 1 entsteht (N.P.). Wenn eine Front durch einen neutralen Punkt geht — was im Anfang nicht der Fall zu sein braucht —, so findet in ihm ein Übergang von Kaltfront in Warmfront statt (vgl. Abb. 7). Ein solcher prägt sich südlich Neufundland bei (N.P.) deutlich aus.

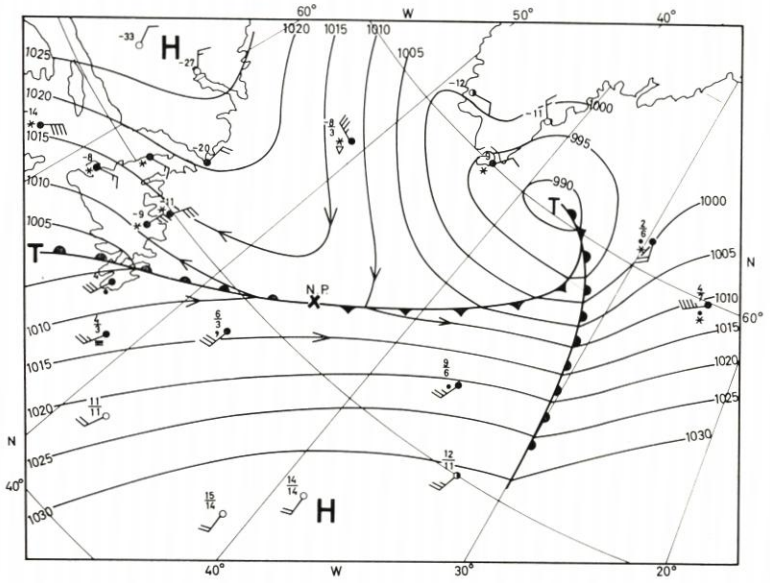


Abb. 39. Wetterlage im Nordwest-Atlantik am 11. Februar 1962, 00 Uhr MGZ: Neutraler Punkt N.P. „in Aktion"

Dies Anfangsstadium wird dadurch geschaffen, daß sich das westatlantische Tiefdrucksystem aufspaltet in ein rasch nordwärts ziehendes Neufundland-Tief und ein weiter im Süden verbleibendes „Rest-Tief". Dies Stadium ist aber noch nicht charakteristisch; noch liegt um (N.P.) nur eine eingeengte Tiefdruckrinne. Die „Begegnungs-Isobaren" — es wären hier die (gestrichelten) von 1007,5 mb — sind noch „interne" Isobaren des Tiefdrucksystems, und die „kalte Isobare" von 1007,5 mb z. B. kommt nicht von weither aus der Arktis, sondern nur aus dem Gebiet nördlich Neufundland.

Dies aber ändert sich sehr rasch dadurch, daß das Tief von Neufundland mit hoher Fahrt nach dem Seegebiet östlich Südgrönland abläuft, während sich das südliche Rest-Tief sogar in entgegengesetzter Richtung, nach SSW, verlagert. So vergrößert sich der Abstand der beiden Zyklonen vom 10. Februar, 12 Uhr, bis zum 11. Februar, 00 Uhr — in 12 Stunden — von 800 sm auf etwa 1900 sm!

Auf diese Weise vermag das kalte ostkanadische Hoch seinen Keil gegen die Labrador-See vorzuschieben. Schon am 11. Februar, 00 Uhr, hat sich das „echte" Vierer-Druckfeld hergestellt, bei dem die Begegnungs-Isobaren um den neutralen Punkt ebenso (oder mehr) antizyklonisch

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

wie zyklonisch sind und aus dem hohen Norden und tiefen Süden kommen. Die Abbildung 39 veranschaulicht diese Lage.

In dieser Gleichgewichtslage verharrt der neutrale Punkt praktisch 24 Stunden lang; die Frontalzone erfährt damit vom 11. bis 12. Februar, 00 Uhr, ihre maximale Ausprägung, bleibt zugleich quasistationär und nährt das ostwärts abwandernde und ständig anschwellende „Druckfallgebiet Nr. 1".

Dann, mit dem Ostwärtswandern des kalten Labrador-Hochs, auf der Rückseite des mittlerweile gebildeten europäischen Sturmtiefs, gerät auch der neutrale Punkt in stärkere Be-

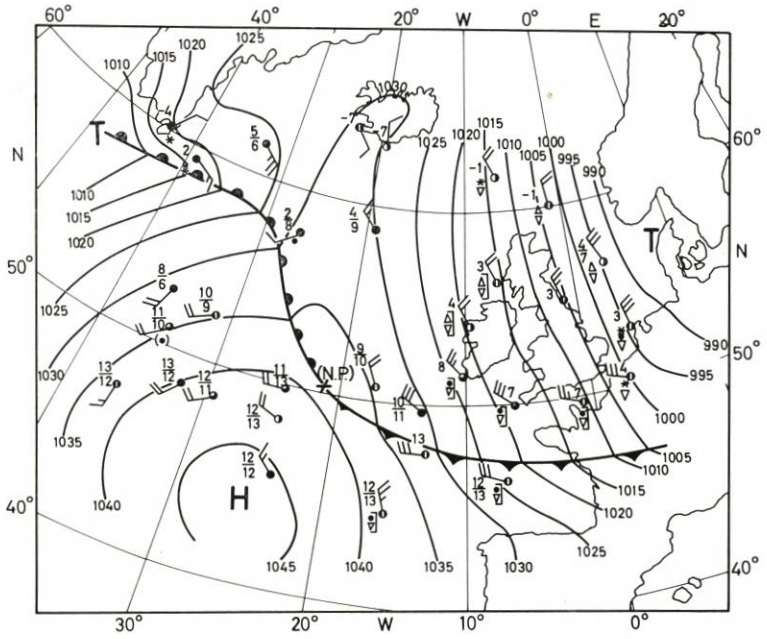


Abb. 40. Wetterlage im Nordatlantik am 13. Februar 1962, 12 Uhr MGZ: Erlöschen des neutralen Punktes (N.P.)

wegung nach Osten. Sein Verschwinden wird dadurch bewirkt, daß das Kaltluft-Hoch seine zirkulatorische Selbständigkeit verliert und zum „aufgesetzten kalten Keil" des quasistationären Warmluft-Hochs wird.

Dies Endstadium ist in Abbildung 40 mit der Wetterlage vom 13. Februar, 12 Uhr MGZ, dargestellt. Noch ist der ehemalige neutrale Punkt (N.P.) als Übergangsstelle von Kaltfront in Warmfront zu erkennen, aber nun sind die Begegnungs-Isobaren um ihn herum nur mehr „interne" antizyklonische Isobaren. Es trifft sich hier nichts Gegensätzliches mehr von weit her.

So beginnt die Lebensgeschichte des neutralen Punktes gewissermaßen mit der Trennung von zwei Tiefdruckgebieten und endet mit der Vereinigung von zwei Hochdruckgebieten. Aus zyklonischen Begegnungs-Isobaren im Anfang werden antizyklonische am Ende. Dazwischen liegt das „Reife-Stadium" mit mehr oder minder geradlinigen Begegnungs-Isobaren, in dem die eindeutige Neutralität zwischen zwei Hochs und zwei Tiefs die thermischen Gegensätze auf die Spitze treibt und zugleich deren „kriegerischen Ausgleich" durch einen Sturmwirbel weit stromabwärts bewirkt.

Es sei hier ein Wort eingeschaltet über die Bedeutung der Bodenisobaren, die in un-

serem modernen Zeitalter der Aerologie und des Hinaufstrebens in immer höhere Schichten der Atmosphäre etwas deklassiert erscheinen. Zwar „machen" diese Isobaren noch immer den Wind, der über die Erdoberfläche weht, der den Seegang auf dem Meere aufwirft und Wasserstau an den Luvküsten zu erzeugen vermag und der als Sturm und Orkan seine unmittelbaren Schadenswirkungen hat. Deshalb sind die normalen Boden-Wetterkarten für Analyse und Prognose unentbehrlich. Aber in der synoptischen Praxis ist doch eine gewisse Abwertung der

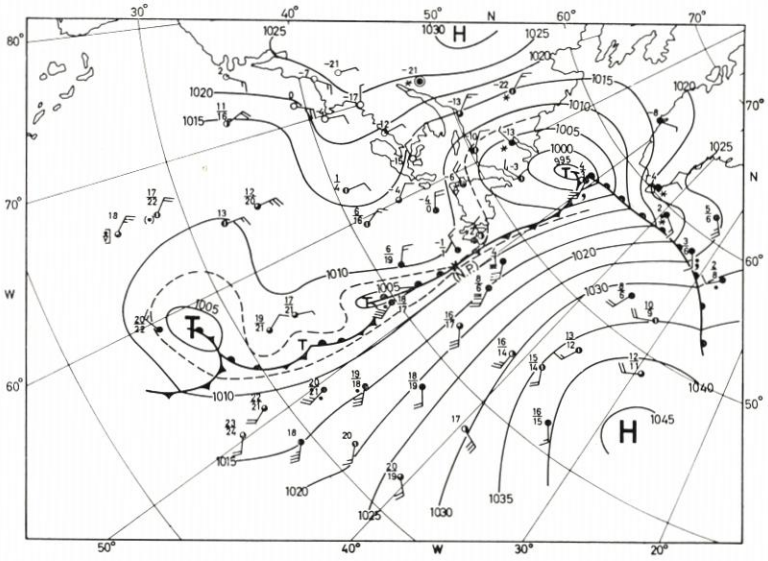


Abb. 41. Westatlantische Wetterlage am 13. Februar 1962, 12 Uhr MGZ: Bildung des 2. neutralen Punktes (N. P.)

„Isobaren-Meteorologie" eingetreten. In der Menge der Höhenkarten für verschiedene Niveaus und Schichten sind die Bodenkarten gewissermaßen in die Rolle des „notwendigen (Anfangs- oder End-) Übels" gedrängt worden. Man kann nicht ohne sie auskommen, aber ihre Verwendung im synoptischen Verfahren erscheint begrenzt.

Natürlich ist die Atmosphäre dreidimensional, und in der Höhe tut sich vieles, wovon am Boden nur ein schwacher Abglanz erscheint. Die Winde „oben" sind im Regelfalle ungleich vehementer als „unten"; auch thermische Änderungen in der Höhe können stärker sein als am Boden, der sie sogar verkappen kann. Indem die Erdoberfläche das Hauptausgleichsniveau der Luftdruckgegensätze und damit der Luftströmungen bildet, muß die Aussage-Kraft der Verhältnisse am Boden dem ersten Blick gering vorkommen.

Dennoch gibt es Dinge, die nur aus der Betrachtung der Bodenverhältnisse deutlich werden. Dazu gehören — im Regelfalle — die Fronten, die normalerweise nur „unten" eine scharfe Ausprägung erfahren, wegen der Massentransport-Komponente quer zu den Isobaren in der Reibungsschicht. Dazu gehört weitgehend auch die Singularität des neutralen Punktes im Druck- und Stromfelde. Die zellulare Struktur des Druckfeldes ist (außerhalb der Tropen) gewöhnlich am Boden am stärksten ausgeprägt. Höher hinauf wird das Bild immer einheitlicher, und in der Stratosphäre erscheint oft nur der „Polarwirbel" mit leichten Deformationen und dem tropischen Hochdruckgürtel am Außenrande.

Die markanten neutralen Punkte der 2. Februar-Dekade 1962 wird man in den Höhenkarten der 500-mb-Fläche vergeblich suchen. Trotzdem beschränkt sich die frontogenetische

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

und damit zyklogenetische Wirksamkeit dieser Konstellation nicht auf das bodennahe Feld, sondern reicht hoch in die Atmosphäre hinauf. Dies kann man sich am einfachsten damit klarmachen, daß man den Aufbau des Druckfeldes in der Höhe bedenkt: In das Höhendruckfeld geht das Bodendruckfeld mit seinem vollen Gewicht ein, so daß die Strömungen, die den „Begegnungs-Isobaren" unten entsprechen, als Strom-Komponenten die gesamte Atmosphäre durchsetzen. Sie werden nur als solche nicht deutlich, weil das troposphärische Tem-

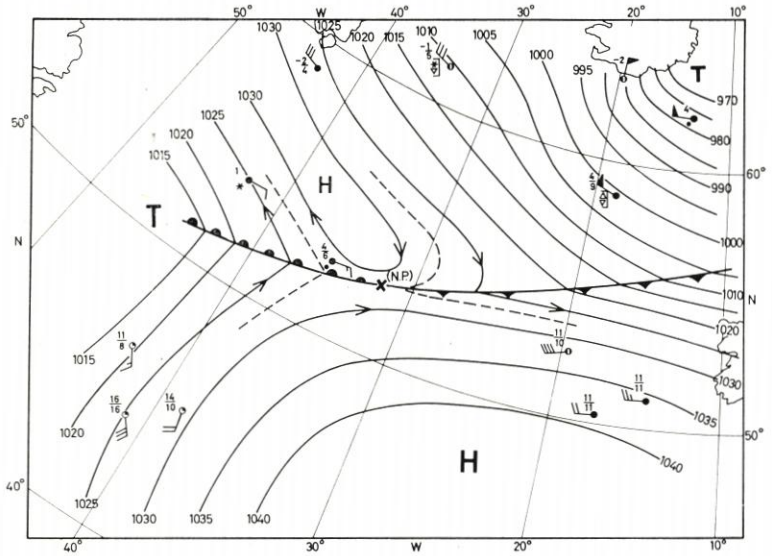


Abb. 42. Ostatlantische Wetterlage am 16. Februar 1962, 00 Uhr MGZ: Endstadium des 2. neutralen Punktes (N. P.)

peraturfeld mit seinem größeren Beitrag zur Gestaltung des Höhendruckfeldes diesen Sachverhalt bis zur Unkenntlichkeit verwischt. Deutlich wird der Sachverhalt deshalb nur am Boden.

Die früher dargestellte Gleichartigkeit der Schwankungen der Frontalzone C-B am Boden und in der Schicht bis 500 mb in Abhängigkeit von der Singularität des neutralen Punktes ist ein Fingerzeig darauf, daß die thermische Transportwirkung der Begegnungs-Isobaren sich nicht auf die unteren Luftschichten beschränkt, obwohl diese Isobaren in ihrem kennzeichnenden Verlauf nur hier sichtbar werden.

Es könnte noch mehr gesagt werden über die Erdoberfläche als besonders ausgezeichnetes Niveau, durch das keine vertikalen Lufttransporte gehen und in dem das „net result" aller Luftmassenverlagerungen — als Bodendruckänderung — sichtbar wird, aber unsere Abschweifung sollte nur eine gewisse Rechtfertigung der „altertümlichen" Methode sein.

Für den „2. Fall" der Druckfeld-Singularität zeigt Abbildung 41 mit der westatlantischen Wetterlage vom 13. Februar, 12 Uhr MGZ, das Anfangsstadium: Zyklonische Begegnungs-Isobaren (1007,5 mb) um den entstehenden neutralen Punkt (N. P.). Die Wetterlage vom 16. Februar, 00 Uhr, zeigt das Endstadium des neutralen Punktes (N. P.) (Abb. 42): Antizyklonische Begegnungs-Isobaren (von 1027,5 mb); wenig später erscheint nur mehr der kalte „aufgesetzte Hochdruckkeil".

Das Zwischenstadium der Reife des neutralen Punktes mag mit der Abbildung 43 gekennzeichnet werden, die die Wetterlage vom 14. Februar, 12 Uhr, wiedergibt. Bereits früher

wurde erwähnt, daß in diesem Falle „Nr. 2" zunächst ein Druckfallgebiet an der Westküste Grönlands nach Norden zieht. Das entsprechende Tief, das am 13. Februar, 12 Uhr, beim Wetterschiff B lag (siehe Abb. 41), hat nun als okkludiertes Sturmtief das Gebiet zwischen Baffinland und Westgrönland erreicht.

Ähnlich wie am 11. Februar 1962, 00 Uhr (Abb. 39), kommt die Frontalzone um den neutralen Punkt N.P. nunmehr dem Tief östlich Südgrönland zugute, nur handelt es sich bei diesem um eine Neubildung, im Gegensatz zum Fall Nr. 1. Das starke Tief westlich Grönland dient als Kaltluft-Zubringer. Hinter seiner (in der Abbildung markierten) sekundären Kaltfront stößt wesentlich tiefer temperierte Luft aus dem arktischen Kanada vor und trägt zur Verschärfung der Frontalzone in den nächsten 12 Stunden bei (vgl. Abb. 16 u. 18—19).

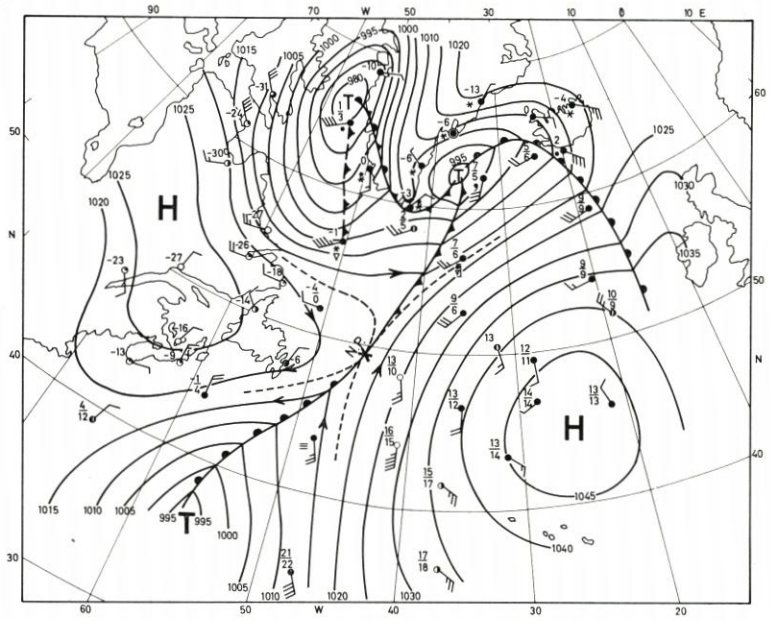


Abb. 43. Wetterlage im Nordwest-Atlantik am 14. Februar 1962, 12 Uhr MGZ: Der 2. neutrale Punkt „in Aktion"

11. Der Druckfall-Effekt der Frontalzonen-Verschärfung (C-B) vom 14. Februar 1962 abends

Aus den Abbildungen 16 und 18 bis 19 war abzulesen, daß die Verschärfung der Frontalzone im „Fall Nr. 2" am 14. Februar abends — im Gegensatz zum „Fall Nr. 1" vom 11./12. Februar — besonders straff war, mit einem hohen Gipfelpunkt gegen 21 Uhr. Diese zeitliche Eindeutigkeit lädt dazu ein, den möglichen Luftdruck-Effekt zu untersuchen, der, wenn überhaupt, in diesem Falle genauer zu fixieren sein sollte.

Betrachten wir dazu die Luftdruckkurven der Wetterschiffe A (Position etwa 62° N, 33° W) und I (59° N, 19° W), die in den Abbildungen 44 und 45 (nach dreistündl. Meldungen) wiedergegeben sind. Bei A und I ist zum Vergleich die Taupunkt-Kurve hinzugefügt. Der ungefähre Warmfront- und Kaltfront-Durchgang (W.-F., K.-F.) ist an beiden Druckkurven markiert. Zur Wetterlage vergleiche man Abbildung 43 (14. Februar 1962, 12 Uhr). Die Druck-

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

kurven zeigen im ersten Teil nichts Ungewöhnliches. Der Luftdruck fällt, auch im Warmsektor (zwischen W.-F. und K.-F.) des östlich Südgrönlands neugebildeten Tiefs, ein Zeichen des

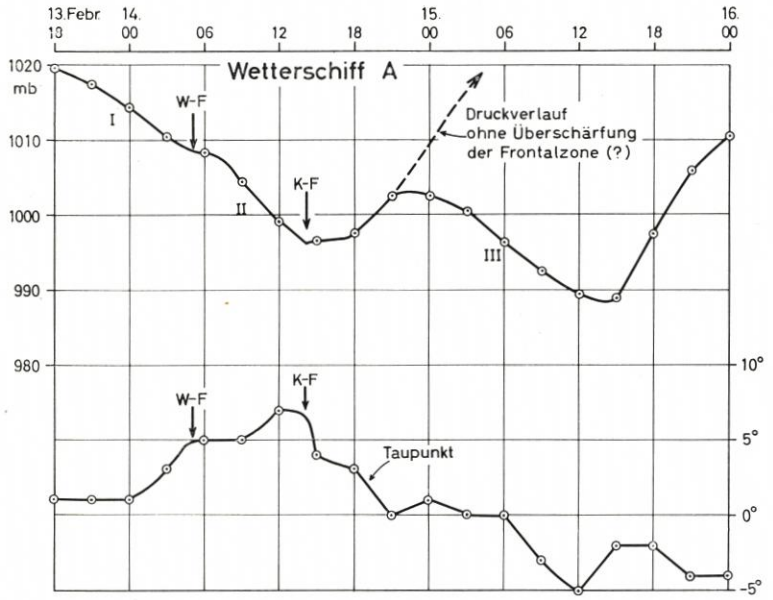


Abb. 44. Verlauf von Luftdruck und Taupunkt bei Wetterschiff A, 13. bis 16. Februar 1962

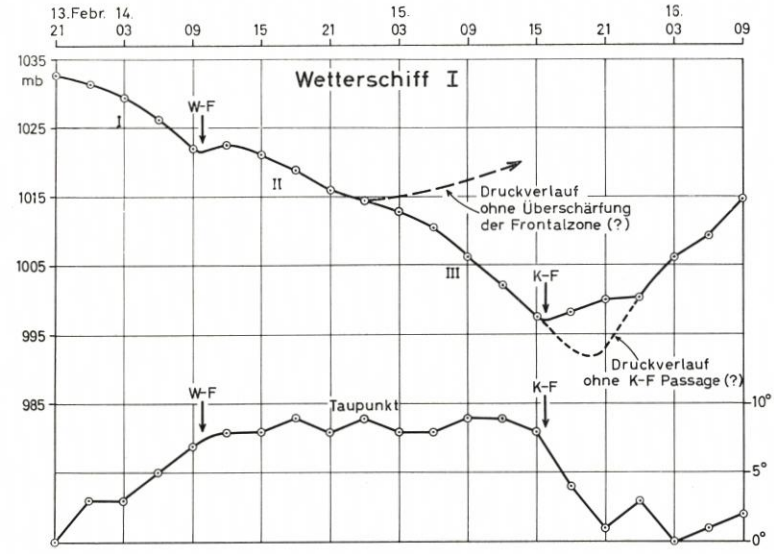


Abb. 45. Verlauf von Luftdruck und Taupunkt bei Wetterschiff I, 13. bis 16. Februar 1962

„normalen" Vertiefungsvorganges der Zyklone. Die Taupunktkurve von Wetterschiff A zeigt an, daß sich dies etwa von 05 bis 14 Uhr im Warmsektor befindet.

Einige Zeit nach der Kaltfront-Passage setzt bei A recht kräftiger Druckanstieg ein: Es

scheint, als habe die — sich vertiefende — Zyklone das Gebiet nach ONO hin definitiv passiert. Dann aber, mit Beginn des 15. Februar, kommt es zu erneutem starkem Druckfall, der bis zum 15. nachmittags andauert. Der Taupunkt der bodennahen Luft erniedrigt sich dabei weiter; die Kurven von Luftdruck und Taupunkt, die vorher im ganzen invers verliefen, laufen nunmehr etwa parallel, d. h. der Druckfall III ist mit Kaltluft-Advektion gekoppelt.

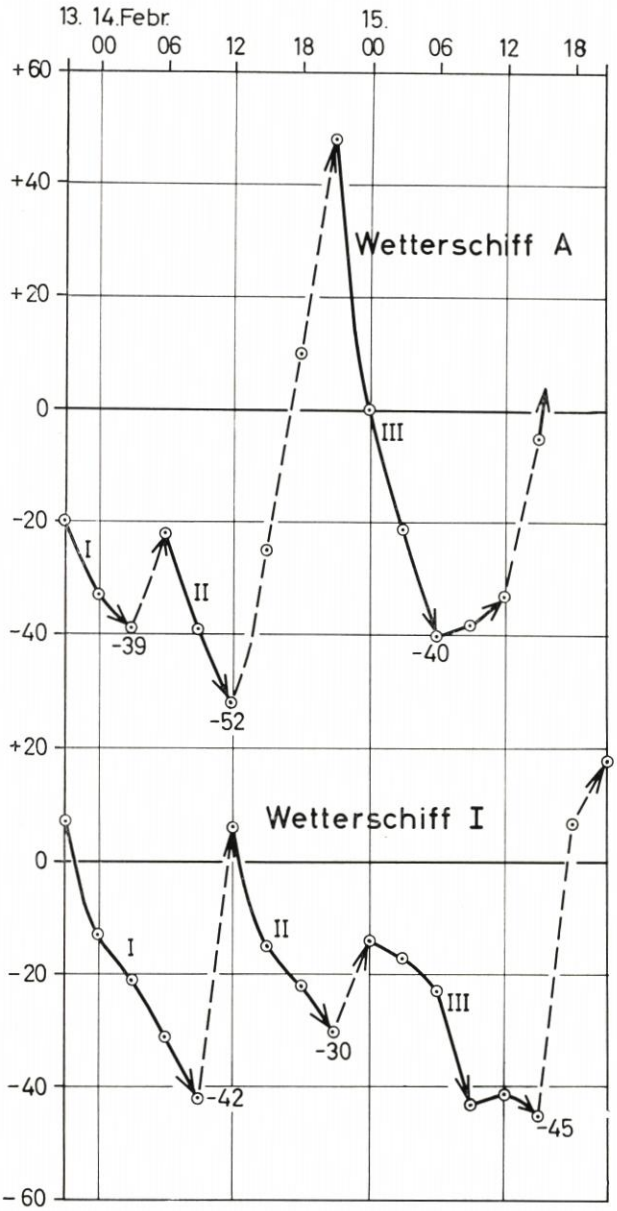


Abb. 46. Die Etappen des Druckfalls bei den Wetterschiffen A und I nach Tendenzkurven der 3stündigen Drucktendenz

Die Druckkurve von Wetterschiff I, im OSO von A gelegen, zeigt einen ganz ähnlichen Verlauf (Abb. 45). Wir können ähnlich wie bei Wetterschiff A drei Etappen des Druckfalls unterscheiden (I, II, III in den Abb.). Diese lassen sich übrigens verdeutlichen durch Zeichnung einer „Tendenzkurve der barometrischen Tendenzen", wie in Abbildung 46. Hier sind die dreistündigen Druckänderungen (in zehntel mb) zu jedem synoptischen Termin von der Null-Linie aus aufgetragen, und die so bestimmten Punkte sind einfach durch eine Linie verbunden (aufsteigend gestrichelt). Fallende Linie bedeutet also „zunehmende Druckfalltendenz" (bzw. auch Übergang von Druckanstieg zu Druckfall).

Es zeigen sich auf diese Weise sehr scharf die drei Etappen des Druckfalls:

I = Druckfall vor der Warmfront
II = Druckfall im Warmsektor als Ausdruck der „normalen" Vertiefung der Zyklone
III = Druckfall infolge „Überschärfung" der Frontalzone.

Die Druck-Kurven von A und I (Abb. 44 u. 45) lassen sich hypothetisch verlängern (gestrichelt in den Abb.), wie sie o h n e diese „Überschärfung" in etwa weiter verlaufen wären. Die „Übertiefung" der Zyklone, die sich aus dem Druckfall III ergibt, ist von entscheidender Bedeutung für die spätere Entwicklung des Sturmfeldes. Daher sei die Natur dieses Zusatz-Druckfalls etwas näher betrachtet.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Die Taupunkt-Kurven in den Abbildungen 44 und 45 lassen erkennen, daß der Druckfall III bei Wetterschiff I mit fortgesetzter Warmluft-Advektion — im Warmsektor — einhergeht (Taupunkt + 8 bis 9°), während er bei Wetterschiff A in Kaltluft stattfindet und sogar Advektion kälterer Luft dabei erfolgt (Taupunkt von + 1° auf — 5° absinkend). Bei I deutet der Anschein zunächst darauf hin, daß es sich um einen „präfrontalen Druckfall vor der Kalt-

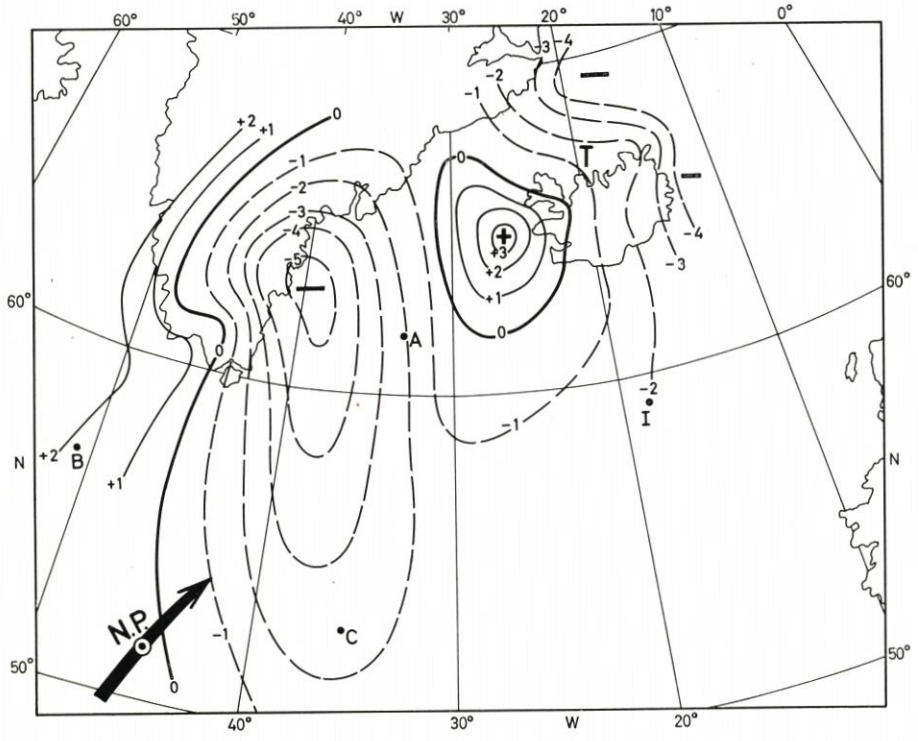


Abb. 47. 3stündige Luftdruckänderung im Seegebiet südöstlich Grönland am 15. Februar 1962, 00 bis 03 Uhr MGZ

front" handelt, denn mit dem Kaltfront-Durchgang hört der Druckfall auf. Dann aber könnte er mit dem Druckfall bei A nicht identisch sein. Offenbar ist also der Kaltfront-Durchgang bei I nur von sekundärer Bedeutung. Ohne den thermischen Effekt des Luftmassen-Wechsels hätte die Druck-Kurve von I vielleicht etwa so ausgesehen, wie in Abbildung 45 gestrichelt hinzugefügt. Sie wäre damit im warmen Gebiet ähnlich der von Wetterschiff A im kalten Gebiet gewesen.

Daß es sich bei dem „Druckfall III" bei A und I tatsächlich um ein identisches Druckfallgebiet handelt, ergibt die zeitliche und räumliche Betrachtung. Räumlich stellt sich der Druckfall III in seinem Anfangsstadium so dar, wie es Abbildung 47 mit der dreistündigen Druckänderung vom 15. Februar, 00 bis 03 Uhr MGZ, zeigt. Das Zentrum der Zyklone liegt um diese Zeit schon bei Nordost-Island; der Rand des abziehenden Druckfalls (I und II) ist hier noch zu sehen. Das neue Druckfallgebiet III aber erscheint weit im Westen, den Raum zwischen Südost-Grönland und den Wetterschiffen A und C einnehmend. Es erstreckt sich in nordsüdlicher Richtung über etwa 1000 sm. Der Druck fällt sowohl im südlichen Warmluftbereich (Wetterschiff C — 2,5 mb) wie im nördlichen Kaltluftbereich (stärkster gemeldeter Druckfall — 4,5 mb an der Ostküste Südgrönlands bei Tingmiarmiut, 62,5° N, 42,1° W).

Dies Druckfallgebiet, das hier schon so ausgeprägt in Erscheinung tritt, ist frisch entstanden. Soweit aus Stations- und Schiffsbeobachtungen dieses meldungsarmen Gebietes zu ersehen, bildet es sich am 14. Februar abends zwischen der Südspitze Grönlands und dem Wetterschiff C. Zeitlich fällt also die Entwicklung mit der rapiden Verschärfung der Frontalzone um den neutralen Punkt (am 14. Februar, 12—21 Uhr) zusammen, die ihrerseits hauptsächlich durch die zunehmende Kaltluft-Einschleusung über Davis-Straße und Labrador-See bewirkt wurde. Nach der „spontanen" Bildung nimmt der Druckfall an Ausdehnung und Intensität rasch zu, und er breitet sich sehr rasch ostwärts aus. Der Einsatz bei Wetterschiff I (19° W) erfolgt nur etwa drei Stunden später als bei A (33° W).

Der raschen Ausbreitung entspricht aber keine rasche Wanderung in dem Sinne, daß sich etwa auch die westliche Grenzlinie des Druckfalls entsprechend verschöbe. Aus den Abbildungen 44 bis 46 ist ersichtlich, daß der Druckfall III bei A und I etwa 15 Stunden dauert (davon 9 Stunden mit einer Tendenz nahe „fallend 4 mb" in 3 Std.). Man gewinnt den Eindruck, daß dem Fallgebiet eine Ausbreitung nach dem Schema der Abbildung 48 innewohnt. Sein westlicher „Herd" verschiebt sich nur langsam, aber es wächst sich rapide nach Osten aus (vgl. die in Abschnitt 9 gegebene Modell-Vorstellung).

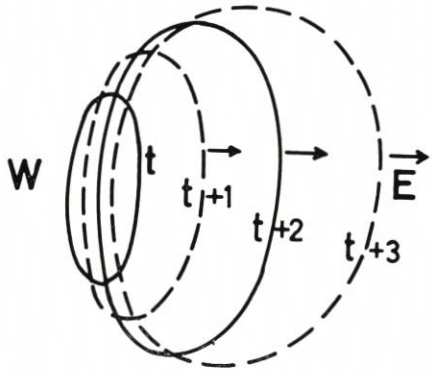


Abb. 48. Schema der Ausbreitung des Druckfalls III von der Zeit t bis t + 3

Gewöhnlich wird ein ausgeprägter „postumer Druckfall" vom Synoptiker entweder auf die Erscheinung des sogenannten Tiefdruck-Troges oder auf die Ausbildung einer Wellenstörung an der Kaltfront zurückgeführt. Das Schema dieser Typen zeigt Abbildung 49.

Was zunächst den „Trog" mit seinem Druckfall betrifft, so findet sich dieser nur bei Zyklonen, deren Warmsektor schon weitgehend okkludiert ist. Ob bei dem Trog die „umgebogene Okklusion" beteiligt ist, wie früher angenommen, oder ob sich hier der „Höhentrog" bis zum Boden durchsetzt, bleibe hier dahingestellt. Kennzeichnend ist jedenfalls, daß eine zyklonale U-Form der Boden-Isobaren in Erscheinung tritt und daß der Druckfall der Trog-Vorderseite auf die Nachbarschaft des Tief-Zentrums beschränkt ist. Er reicht nur etwa so weit, wie die U-Form reicht, wobei die Verlagerung relativ langsam erfolgt.

Bei der „Welle" an der Kaltfront hat man es dagegen mit einem Druckfall in weiterem Abstande vom Tiefzentrum zu tun, meist mit einem relativ kleinräumigen, aber schnell wandernden. Die instabile Welle mit starkem Druckfall wird zum „Wirbel", zur Zyklone (Sturmzyklone), wobei sich ein neuer Okklusionsvorgang des Warmsektors der Wellenstörung ergibt.

Bei unserem Druckfall III handelt es sich offenbar um keine dieser beiden Typen. Schon die Tatsache, daß er sehr weiträumig ist, und in bezug auf die Kaltfront postfrontal und präfrontal zugleich sowohl in der Kaltluft wie in der Warmluft auftritt, steht nicht im Einklang mit den Modellen des Troges und der Welle. Die Umstände deuten vielmehr darauf hin, daß er stromabwärts vom neutralen Punkt aus der „Überschärfung" der Frontalzone am 14. Februar abends entsteht (nachdem diese Frontalzone vorher schon zur Neubildung der Zyklone, mit Druckfall I + II, Anlaß gegeben hatte). Erst sekundär führt der Druckfall III zur Bildung einer recht eigentümlichen Art Frontwelle, worauf in einer speziellen Behandlung der Sturmzyklone und ihrer Struktur einzugehen sein wird. Dabei wird zu zeigen sein, wie das spätere Zusammenwachsen der Druckfall-Etappen die Übertiefung der Zyklone ergibt.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

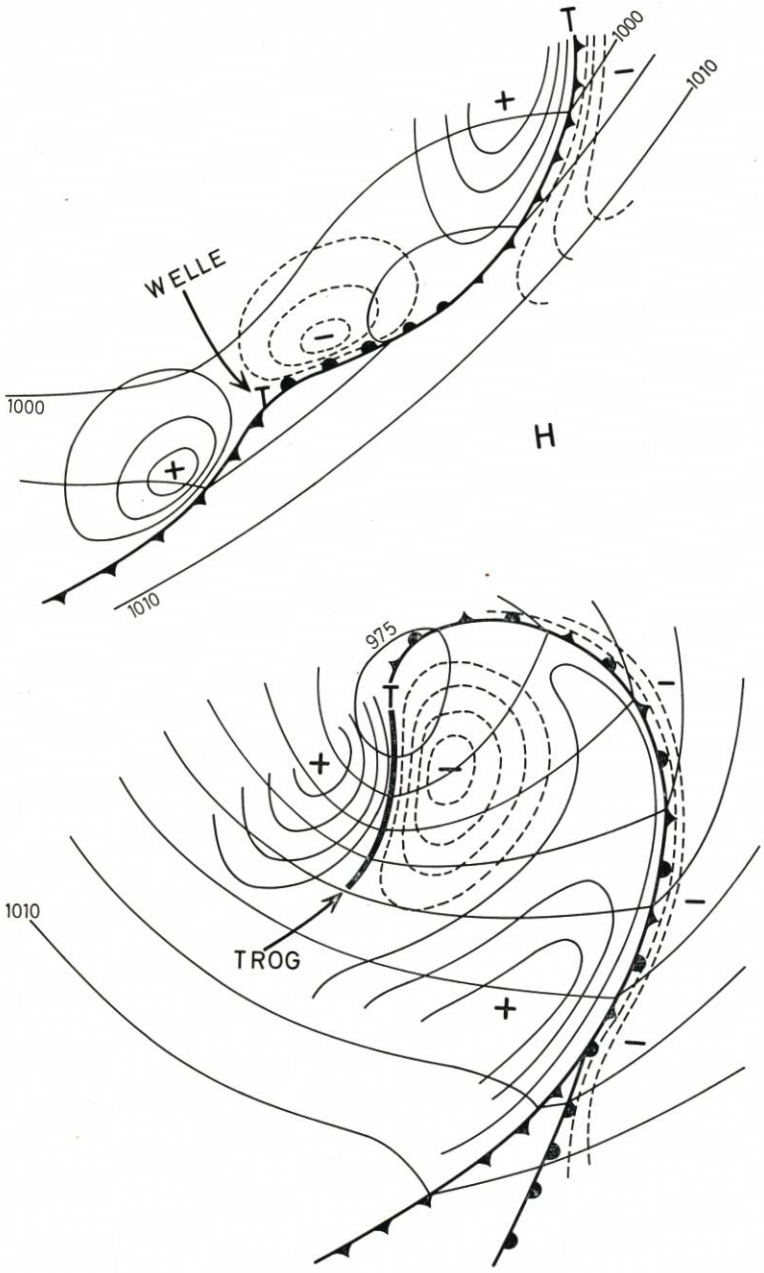


Abb. 49. Schema der „postfrontalen" Druckfall-Typen von Welle und Trog

In diesem Abriß der nordatlantischen Zirkulations-Verhältnisse von Mitte Februar 1962 bleibt zunächst eine Behandlung der Hochdruckgebiete nachzuholen.

12. Die Hochdruck-Vorgeschichte der Sturmzyklonen der 2. Februar-Dekade 1962

Als Partner in dem zyklogenetischen Vierer-Druckfeld der 2. Februar-Dekade 1962 waren zwei Hochdruckgebiete wesentlich: das warme Azorenhoch und das kalte Labrador-Hoch. Das Besondere war neben der Lage die Stärke dieser beiden Gebilde, und ein Blick in ihre Entwicklungsgeschichte erscheint daher am Platze.

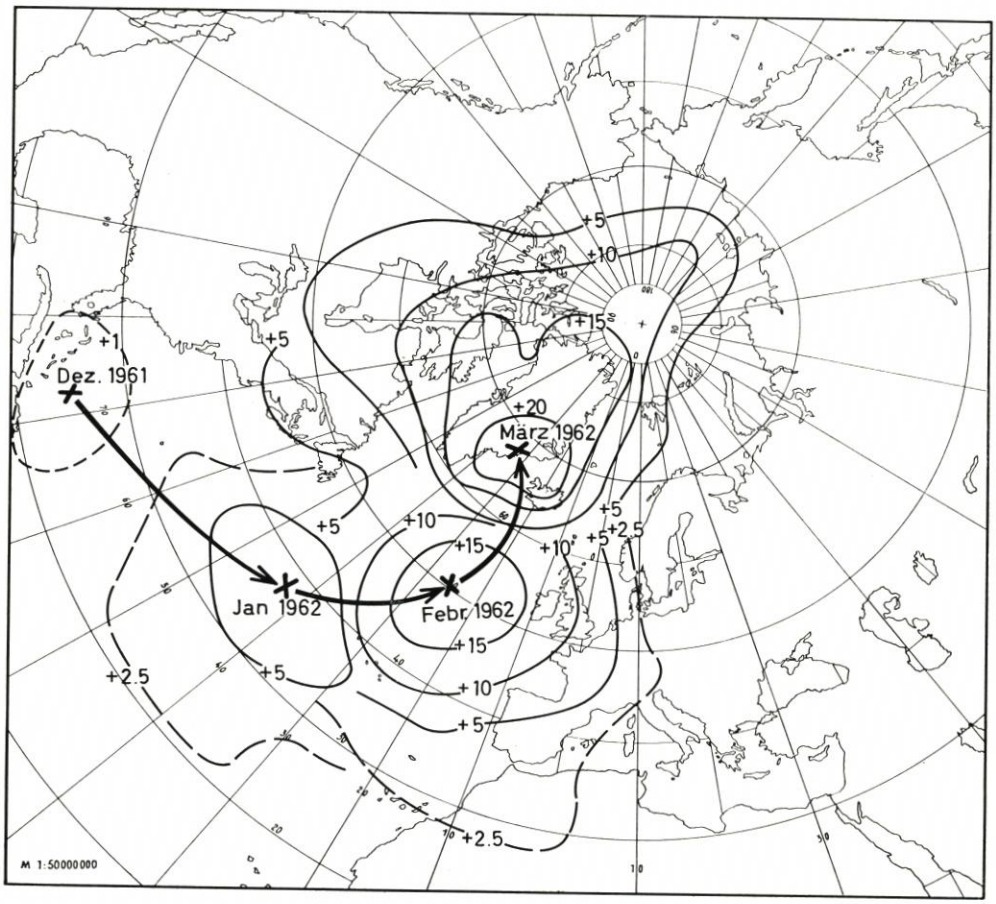


Abb. 50. Verlagerung und Entwicklung der positiven Druckanomalie über dem Nordatlantik vom Dezember 1961 bis zum März 1962

Daß es sich bei dem nordwärts verschobenen Azorenhoch um ein ungewöhnliches Gebilde handelt, geht schon daraus hervor, daß das Wetterschiff K, westlich der Biskaya auf 45° N, 16° W gelegen, am 11. Februar 1962, um 12 Uhr MGZ mit *1045,6 mb* den höchsten Luftdruck der letzten zwölf Jahre meldete. Das mittlere absolute Extrem für den Februar — bestimmt nach dreistündlichen Meldungen — im Jahrzehnt 1951/60 war hier 1031,6 mb; im November 1952 war mit 1043,3 mb der zweithöchste Wert gemeldet worden.

Schiffsmeldungen westlich bzw. nordwestlich vom Wetterschiff K lieferten noch höhere Drucke, so am 12. Februar 1962, 00 Uhr *1048,3 mb* in etwa 45° N, 23° W, am 14. Februar

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

1962, 18 Uhr *1047,1 mb* bei 48° N, 25° W. Es hat sich hier zweifellos um ein warmes Hoch von seltener Intensität und riesiger Ausdehnung gehandelt. Für die Gegend, in der es auftrat, muß es als Rekord-Hoch bezeichnet werden.

Solche extremen Gebilde treten nicht von ungefähr auf. Und Abbildung 50 möge zunächst zeigen, daß dieses Hoch im Zuge einer längeren Entwicklungstendenz lag. Betrachtet man die monatlichen Druckanomalien des Winters 1961/62 (nach „Die Großwetterlagen Mitteleuropas", herausgeg. v. Deutschen Wetterdienst, Offenbach a. M.), so läßt sich unschwer eine positive Druckanomalie feststellen, die sich aus dem Seeraume vor den Bahamas (Dezember 1961) nordostwärts über den Atlantik verlagerte, um im März 1962 mit dem Kern über Südostgrönland anzulangen. Dabei wuchs die Anomalie unter Arealvergrößerung ständig weiter an (vgl. Abb. 50). Der Kern hatte etwa folgende Werte:

Dez. 1961	Jan. 1962	Febr. 1962	März 1962
+ 1,5	+ 7,0	+ 18,5	+ 23,0 mb.

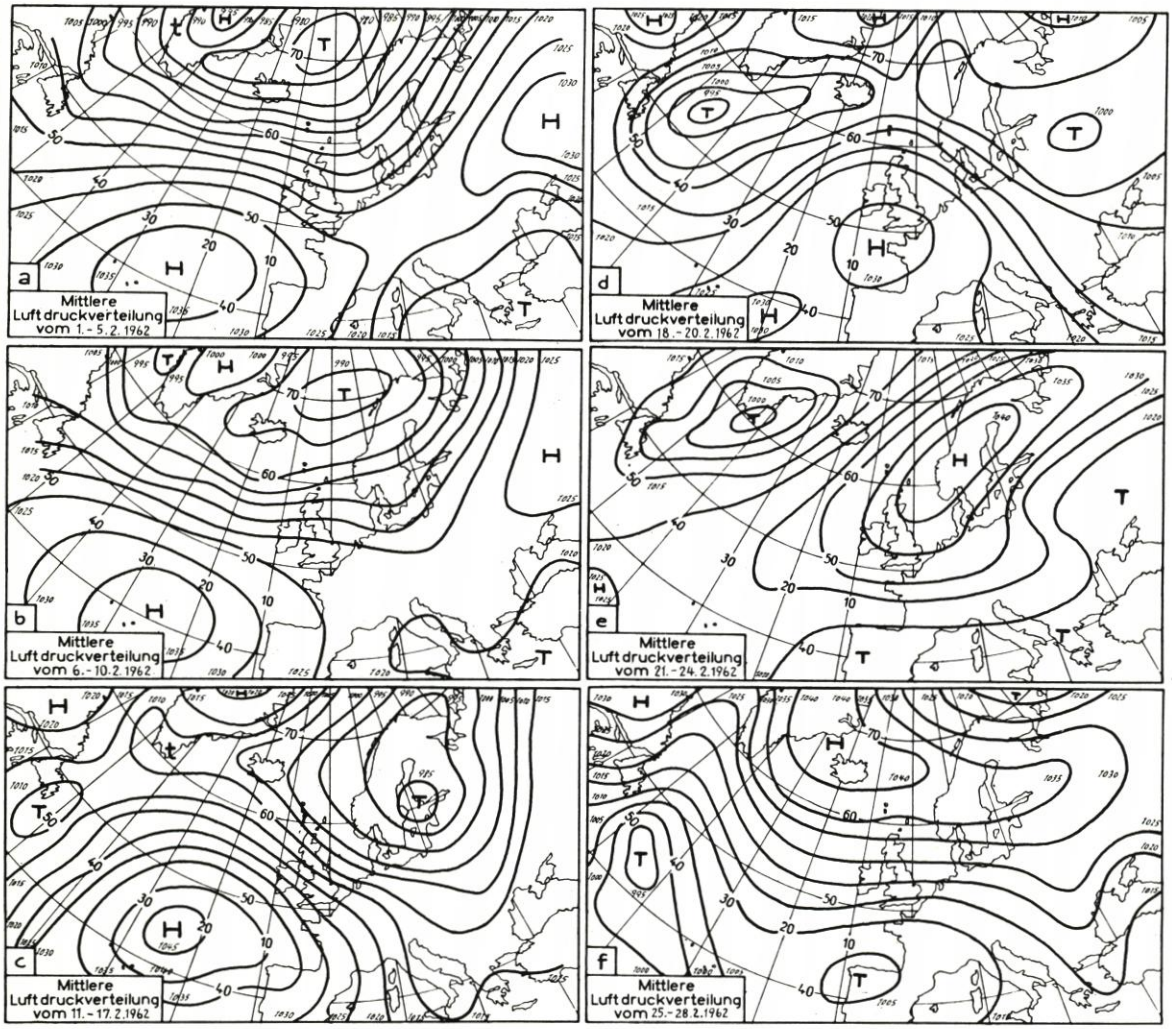


Abb. 51. Die Großwetterlagen im nordatlantisch-europäischen Raume im Februar 1962

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Das Hoch der 2. Februar-Dekade erscheint also „eingebaut" in die Verlagerungs- und Verstärkungstendenz einer subtropischen Positiv-Anomalie des Luftdrucks. Bereits Ende Januar 1962, noch deutlicher aber in der 1. Februar-Dekade prägte sich diese Tendenz im Azorenhoch aus.

Als Beleg möge die Abbildung 51 (nach: Wetterkarte des Seewetteramts, Jahrg. 10, Nr. 80) dienen, welche die atlantisch-europäischen Großwetterlagen im Februar 1962 dar-

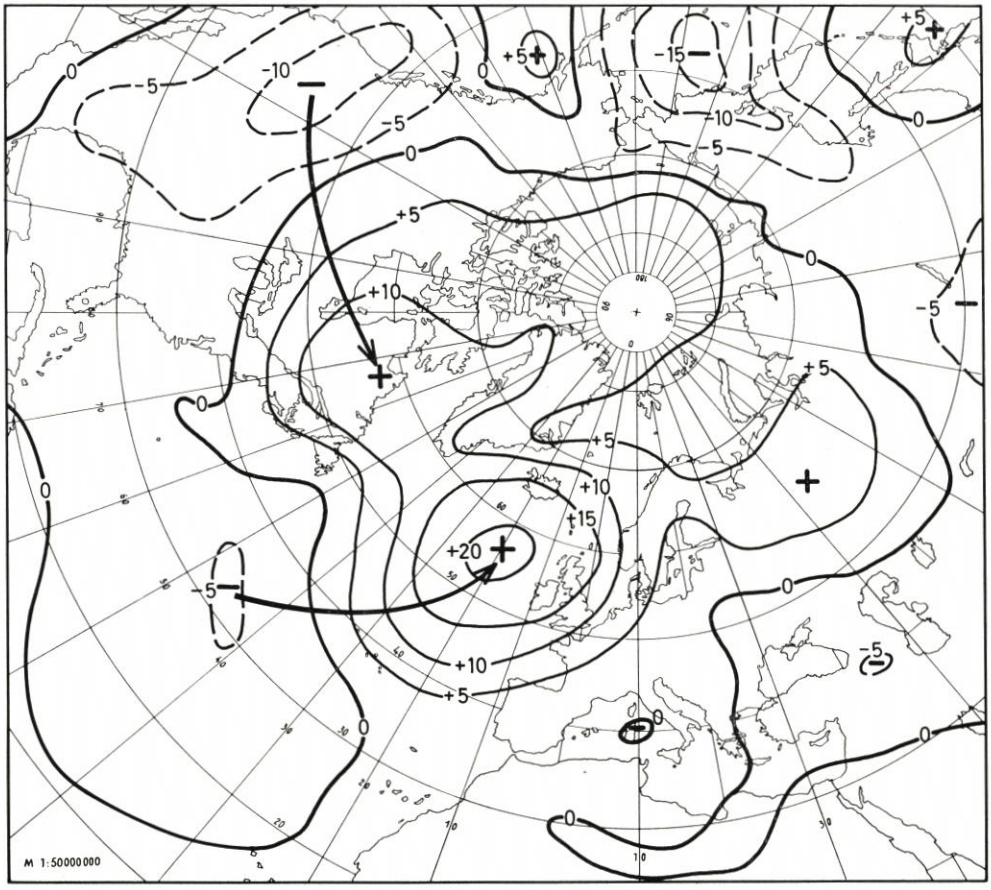


Abb. 52. Zirkumpolare Änderung der monatlichen Druckanomalien von Januar auf Februar 1962

stellt. Man sieht, daß schon in der 1. Februar-Dekade das Azorenhoch erheblich verstärkt und nordwärts verschoben ist (über 1035 mb nördlich der Azoren, gegenüber normal 1023 mb südlich der Azoren).

In der Zeit vom 11. bis 17. Februar liegt dann das Hoch mit einer mittleren Stärke von 1045 mb um 45° N, 24° W! Die 3. Februar-Dekade läßt eine Verlagerungstendenz des Hochs nach Westeuropa, und zwar Nordsee/Skandinavien/Nordmeer/Grönland erkennen. Der „Umweg" ist etwas größer als die Bahn der Monatsanomalien, aber der Richtungssinn ist der gleiche, und bereits in den letzten Februar-Tagen liegt das Hoch vor Ostgrönland, dem Sitz der positiven März-Anomalie 1962.

Betrachten wir nun den kalten Partner des Vierer-Druckfeldes, das Labrador-Hoch.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Über Nordamerika sind wegen der rascheren Wanderung der Druckgebilde die monatlichen Druckanomalien gewöhnlich etwas weniger ausgeprägt als im nordatlantisch-europäischen Sektor. Bildet man jedoch die Änderungen dieser Anomalien von einem Monat zum nächsten, so schälen sich zumeist auch hier die Entwicklungstendenzen heraus.

Die Abbildung 52 zeigt das für unseren Fall. Sie gibt die zirkumpolare Änderung der Druckanomalien vom Januar auf den Februar 1962 wieder, wobei die offenbar „kohärenten Systeme" durch einen Pfeil verbunden sind. Im Nordatlantik bestätigt dieser die (mit Abb. 50 angezeigte) Verlagerung der positiven Druckanomalie selbst. Ein zweites kohärentes System tritt deutlich über Nordamerika in Erscheinung, mit + 13 mb Änderung über Labrador und — 11 mb Änderung über den westlichen USA.

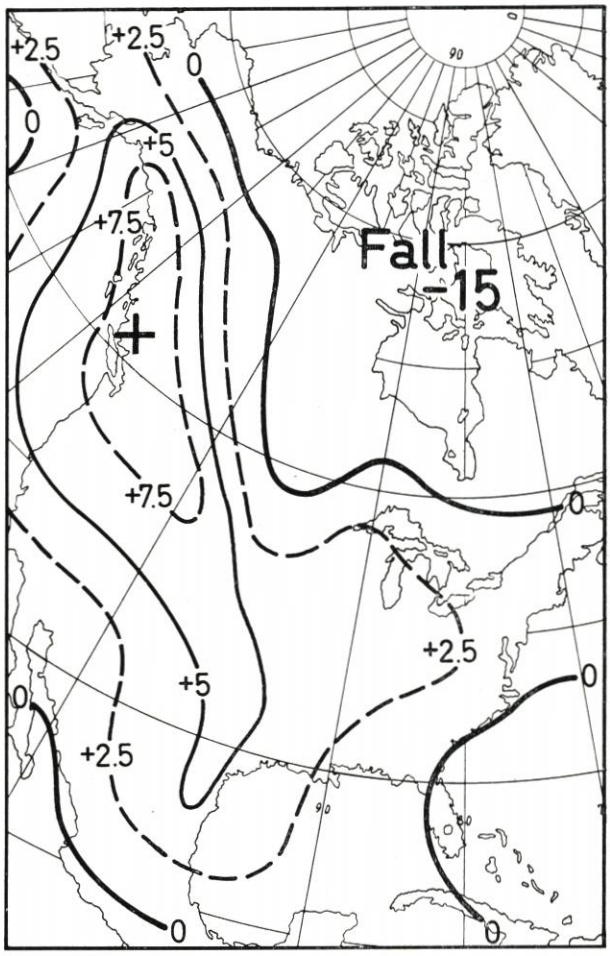


Abb. 53. Das Drucksteiggebiet im Westen Nordamerikas im Januar 1962 (Anomalie-Änderung Dezember 1961 auf Januar 1962)

Daß man auch diesen Pfeil gleich „Verlagerung" setzen kann, ergibt sich, wenn man die Änderung der Vormonate (Dezember 1961 auf Januar 1962) betrachtet. Abbildung 53 zeigt im Westen Nordamerikas jenes Drucksteiggebiet des Januar — nur dessen Isolinien sind gezeichnet —, das sich dann im Februar über Labrador befindet.

Eigentümlicherweise war diese Tendenz zum „kalten Hoch" ebenfalls wie die des Azorenhochs von der Rekordsucht befallen. Aus einer Mitteilung von David M. Ludlum (Weatherwise, Vol. 15, No. 3, S. 106 — Juni 1962) geht hervor, daß ein am 10. Januar 1962 mit dem Kern über Montana und Wyoming gelegenes Hoch den überhaupt höchsten in den USA verzeichneten Luftdruck brachte, nämlich *1063,3 mb*, in Helena, Montana (bisher höchste Stände daselbst *1054,9 mb* im November 1959 und *1054,2 mb* im Januar 1957, mithin eine merkwürdige Tendenz zum Extrem in jüngster Zeit der seit 1880 laufenden Reihe.) Auch an vielen anderen Stationen von Alberta bis Texas wurden durch dieses Hoch alle bisherigen Rekorde alter Stationen gebrochen.

Ohne daß diese Kuriosität viel Gewicht verdiente, scheint sie uns doch als „kurzfristige Übersteigerung" einer längerdauernden Tendenz eine gewisse symptomatische Bedeutung zu haben. Es sei noch angemerkt, daß im Zuge der März-Tendenz (Hochdruck im Norden, Tiefdruck im Süden) eine besonders schwere Sturmflut — infolge anhaltenden, heftigen NO-

Sturmes vom 5. bis 8. März 1962 — an der Ostküste der USA auftrat (vgl. JOHN Q. STEWARTS Mitteilung in Weatherwise, Vol. 15, No. 3, S. 117 — Juni 1962).

Wichtiger ist sicherlich das Zusammenspiel der atlantischen und der nordamerikanischen Drucksteigtendenz. Aus den Verlagerungs-Pfeilen in Abbildung 52 erhellt, daß das atlantische Steiggebiet zum Februar 1962 hin weniger nach Osten als nach Norden tendiert, während sich das nordamerikanische mehr nach Osten als nach Norden verlagert. Dadurch

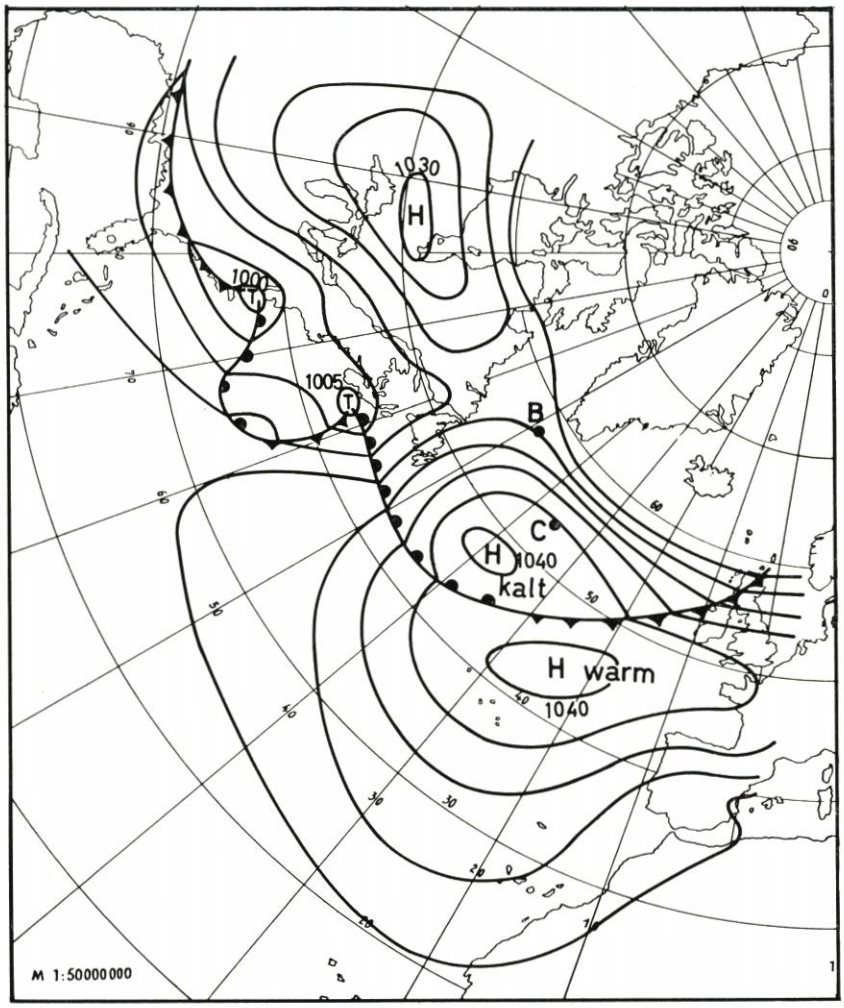


Abb. 54. Das Hochdruck-System Nordatlantik—Nordamerika am 10. Februar 1962, 00 Uhr MGZ

tritt eine Näherung der beiden ein, die im Monatsdurchschnitt zu einem Zusammenwachsen führt. Es bleibt nur zwischen dem Labrador-Anstieg und dem nordostatlantischen Anstieg die Schwächestelle angedeutet, die von der Ostküste Grönlands nach dem Seegebiet östlich Neufundland reicht. Sie bezeichnet in etwa die Frontalzone zwischen warmer und kalter Zelle, wie sie in der 2. Februar-Dekade 1962 mit dem neutralen Punkt in Erscheinung tritt.

Synoptisch, im tatsächlichen Zirkulationsbilde, erkennt man aber nicht nur die manchmal scharfe, frontale Trennung der warmen und kalten Hochdruckzelle, sondern sieht, daß ander-

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

seits auch „Übergaben" zwischen den beiden stattfinden, Vereinigungen von Zellen, von „warmer" und „kalter" Drucksteigtendenz.

Gleich der 10. Februar 1962 liefert hierfür ein Beispiel. Aus den Abbildungen 17 bis 20 war zu ersehen, daß die 2. Dekade mit ausgeprägter Kaltluft bei den Wetterschiffen C und B und mit sehr hohem Druck bei C begann. In Abbildung 54 ist die synoptische Lage von 00 Uhr MGZ dieses Tages wiedergegeben. Man erkennt, daß dem warmen Azorenhoch von 1040 mb eine gleich starke kalte Hochdruckzelle im Nordwesten aufgesetzt ist. Diese, hinter

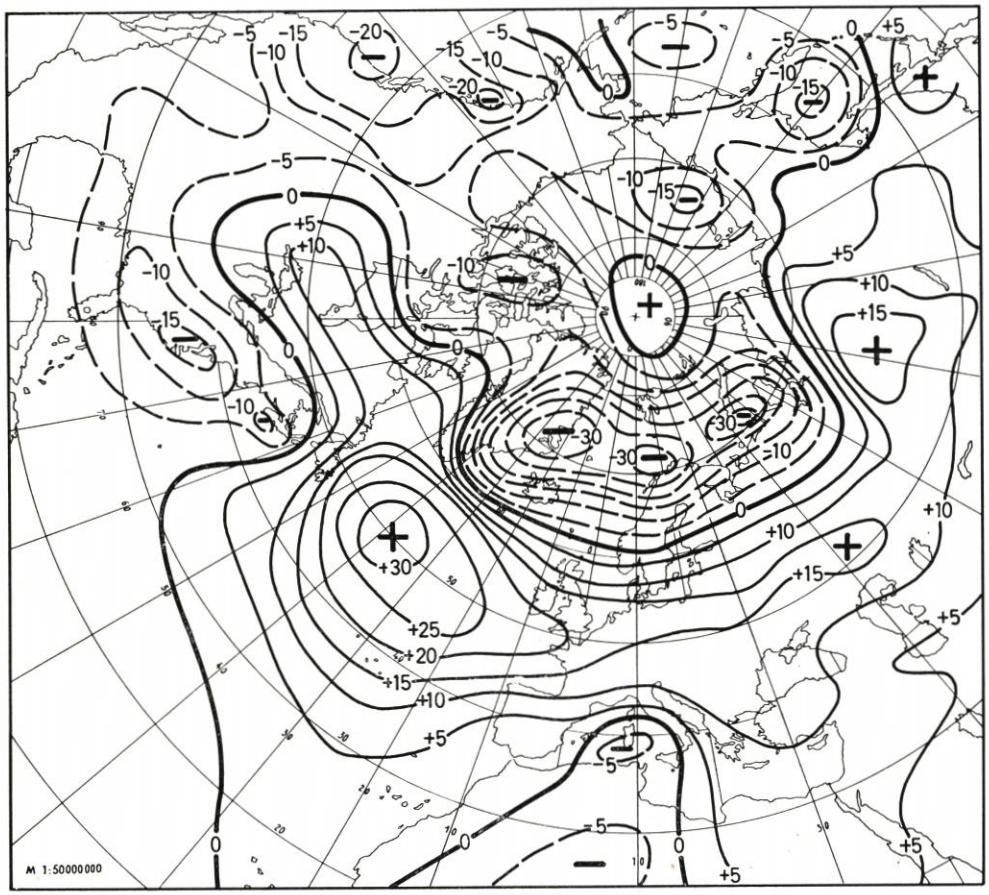


Abb. 55. Abweichung des Luftdrucks am 10. Februar 1962, 00 Uhr MGZ, vom Februar-Normalwert (1899—1939)

der Kaltfront eines Nordmeer-Tiefs von Neufundland ostwärts wandernd und sich verstärkend, wird am Folgetage zum Haupthoch, schmilzt den Rest des „Azorenhochs" in sich ein und wandelt sich mit dem Tropikluft-Vorstoß aus SW alsbald in ein warmes Hoch um, nun von 1045 mb.

Diese bekannte Art der Regeneration des subtropischen Hochdruckgebiets stellt also hier gewissermaßen den temporär wirksamen Verschmelzungsprozeß der längerdauernden „warmen" atlantischen und der „kalten" nordamerikanischen Drucksteigtendenz dar. Das am 10. Februar südlich der Hudson-Bay gelegene Hoch von 1030 mb (vgl. Abb. 54) repräsentiert

dabei die fortdauernde Bereitschaft der westlichen Steigtendenz, in das atlantische Getriebe einzugreifen, und zwar entweder als frontverschärfender kalter Partner in Gestalt des Labrador-Hochs oder als wanderndes Drucksteiggebiet, das später auch dem Azorenhoch zugute kommt.

Bildet man die Druckabweichungen des 10. Februar 1962, 00 Uhr, vom langjährigen Februar-Normalwert, so ergibt sich das in Abildung 55 dargestellte Bild. Schon diese Momentaufnahme vom Beginn der 2. Februar-Dekade läßt die Verstärkung der Hochdruckzone Nordamerika-Sibirien mit dem Schwerpunkt im Nordatlantik erkennen. Die negative Druck-Anomalie liegt hoch im Norden zwischen Grönland und der Barentssee. Aber der südliche Kranz negativer Anomalien von der pazifischen Küste der USA bis zur atlantischen kündet schon die Aktivierung der atlantischen Tropikluft an, und die „Soll-Durchbruchstelle" für das erste Druckfallgebiet bei Neuschottland wird deutlich.

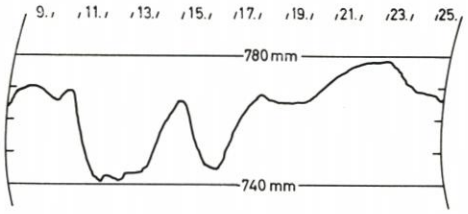


Abb. 56. Barogramm Hamburg-Rissen vom 9. bis 25. Februar 1962

Dominierendes Kennzeichen der Druckanomalie-Änderung von Januar auf Februar 1962 (Abb. 52) aber bleibt der große Druckanstieg, der von Kanada bis Westsibirien, vom Arktischen Becken bis Nordwestafrika eintritt. Die tiefen Sturmzyklonen der 2. Februar-Dekade hinterlassen im Bilde des Gesamtmonats keine sinnfällige Spur; tatsächlich erscheinen sie im Barogramm etwa von Hamburg (Abb. 56) mehr als Täler in einer Hochfläche. Diesem äußeren Bilde entspricht auch der synoptische Prozeß. Das Zusammenspiel der großen antizyklonischen Zirkulationsräder ist von primärer Bedeutung für die Entwicklung der Sturmzyklonen in der 2. Februar-Dekade 1962. Als „Aktionszentren" erscheinen in diesem Falle die Hochdruckgebiete, mehr als „Abfallprodukt" die Tiefdruckwirbel.

13. Die Besonderheit der nordatlantischen Luftmassen-Verteilung Mitte Februar 1962

Es wird manchmal mit Bezug auf atmosphärische Vorgänge das Wort „kleine Ursachen, große Wirkungen" zitiert und gesagt, daß ein zufälliges Zusammentreffen verschiedener kleiner Faktoren, die in gleicher Richtung wirken, ein außergewöhnliches Ereignis hervorrufen könne. Wenn auch die Bedeutung zusammenwirkender „Kleinigkeiten" für das Zustandekommen „großer Dinge" nicht bestritten werden soll, so sollte doch nicht alles dem Spielraum des Zufalls zugeschoben werden. Die besonderen Vorbedingungen besonderer Ereignisse sind oft nicht so geringfügig, daß sie nicht wenigstens zum Teil deutlich zu erkennen wären.

Im vorigen Abschnitt wurde gezeigt, wie die antizyklonischen Zirkulationsräder über dem Nordatlantik und über Nordamerika eine schon vor der 2. Februar-Dekade 1962 in Gang befindliche Tendenz zur Verstärkung und gegenseitigen Näherung aufwiesen. Daraus mußte eine besondere Luftmassen-Verteilung über dem Ozean resultieren, die für die Entwicklung und die Bahn der Sturmzyklonen mitbestimmend war.

In Abbildung 57 ist das normale Luftdruckbild des Monats Februar und die damit gekoppelte Normalverteilung der Luftmassen dargestellt. Die Grenze zwischen der Polarluft, die auf der Rückseite und der Südseite des Islandtiefs strömt, und der Tropikluft des Azorenhochs verläuft dabei etwa vom Westausgang des Englischen Kanals nach dem nördlichen Mexiko-Golf. Ostwärts von Florida, in etwa 30° Nord, befindet sich der neutrale Punkt des

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Stromfeldes (s. Abb. 57). Die Produktions- bzw. Vertiefungsstätte zyklonaler Störungen liegt nordostwärts dieser Stromfeld-Singularität: östlich Kap Hatteras, südöstlich Neufundland und noch nach Irland herüber, d. h. entlang der Massengrenze zwischen Tropikluft und Polarluft, aber mehr im kalten Bereich. Mit den „Störungen", die nordostwärts ziehen und am Ende das Islandtief nähren, pendelt die Front zwischen Tropikluft und Polarluft mehr oder minder um ihre Mittellage. Das Wetterschiff C (etwa 53° N, 35° W) befindet sich tief im

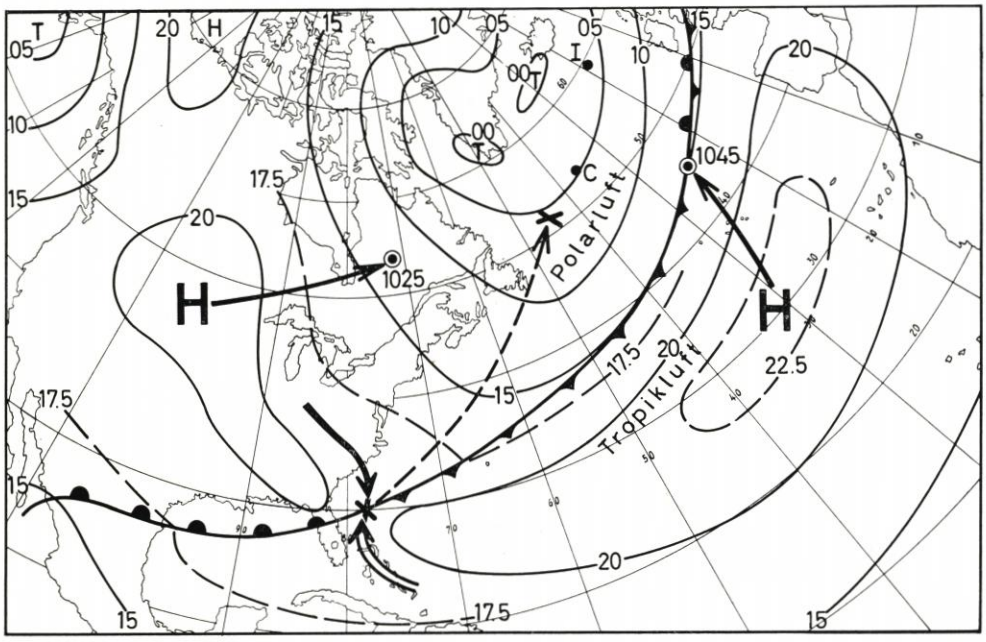


Abb. 57. Normale Luftdruck- und Luftmassenverteilung über dem Nordatlantik und Nordamerika im Februar. Dazu: Verschiebungstendenzen im Zeitraum 11.—17. Februar 1962

Normalbereich der Polarluft und gerät bei den durch Zyklonen bewirkten Pendelungen der Hauptluftmassengrenze relativ selten — und wenn, dann nur vorübergehend — in den Bereich der Tropikluft, die den Warmsektor zyklonaler Störungen bildet. Häufig wird C auch nur von der „Okklusion" passiert.

Ein völlig anderes Bild entsteht im Februar 1962. In Abbildung 57 ist durch Pfeile markiert, wie im Durchschnitt der Periode vom 11. bis 17. Februar 1962 das warme Azorenhoch und das kalte nordamerikanische Hoch aus ihrer Normallage in Richtung auf das Islandtief nach NNO bzw. ONO verschoben sind. Zugleich sind beide Hochdruckgebiete verstärkt, am meisten das Azorenhoch (1045 — wo normal 1015 mb —). Der Abstand zwischen den beiden Kernen ist fast auf die Hälfte des Normalabstandes verkürzt.

Denken wir uns vor der Ostküste Neufundlands den Normaldruck von 1007,5 mb weiter herrschend, was für den Zeitraum 11. bis 17. Februar 1962 nahezu realisiert ist, so ergibt sich nach hierhin (für diese Zeit) ein Gefälle

a) vom warmen Hoch-Kern aus
von (1045—1007,5) = *37,5* mb, gegen normal *7,5* mb,

b) vom kalten Hoch-Kern aus
von (1025,5—1007,5) = *18* mb, gegen normal *4,5* mb.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Aus diesem einfachen Vergleich sieht man, wie die Warmluft-Advektion östlich Neufundland und zugleich die Kaltluft-Advektion westlich Neufundland verstärkt sind. Der erste Wert ist der fünffache, der zweite der vierfache des „normalen". Hieraus erhellt, daß im Durchschnitt der siebentägigen Großwetterlage (nicht bloß mit einer kurzfristigen Pendelung durch eine Zyklone) die Tropikluft östlich Neufundland in riesigem Ausmaße nach Norden verfrachtet wird, während westlich davon die Polarluft in etwas minderem, aber weit übernormalem Maße nach Süden transportiert wird.

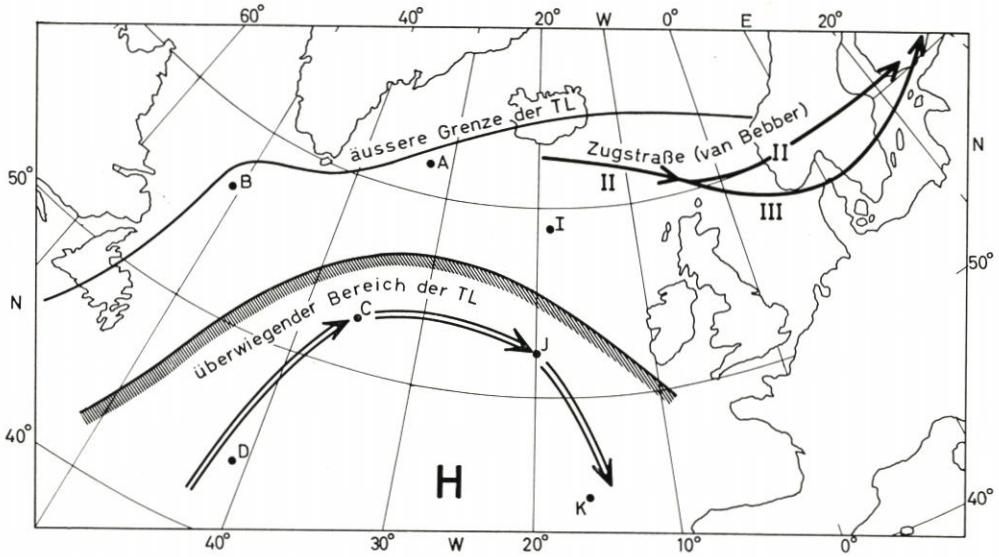


Abb. 58. Nördlicher Strombereich der atlantischen Tropikluft vom 11. bis 17. Februar 1962

Die Luftmassengrenze liegt in dieser Zeit vor der Südostküste Neufundlands. Der neutrale Punkt, im klimatischen Mittel bei *30° N* ostwärts Florida gelegen, verschiebt sich — wie in Abbildung 57 durch den gestrichelten Pfeil angedeutet — nordostwärts bis gegen *50° N*, östlich Neufundland.

(Ohne seine Mittel-Lage genauer fixieren zu wollen, können wir die Verschiebung etwa mit der additiven Verlagerung des warmen und kalten Hochs gleichsetzen; die vektorielle Addition der Hoch-Verlagerungspfeile in Abbildung 57 scheint in diesem Falle ungefähr die Verschiebung des neutralen Punktes zu ergeben.)

Die schon aus den Abbildungen 17 und 18 erkenntliche, länger als eine Woche dauernde Besetzung durch Tropikluft des Bereichs um Wetterschiff C (vom 11. bis 18. Februar 1962) ist wahrscheinlich ein einmaliges Ereignis für einen Wintermonat. Auch daß die originale Tropikluft bei ihren Pulsationen nach Norden am Boden bis über die nördlichsten Wetterschiffe B, A und I vordringt — bei I am 14./15. Februar für mehr als 30 Stunden —, ist ein seltener Fall. Außerordentlich ist der Widerstand des, durch das Rekord-Hoch von 1045 mb gestützten, Warmluft-Flusses gegen seine Verdrängung. Den intensiven Kaltluftvorstößen auf der Rückseite der Sturmzyklonen der 2. Februar-Dekade gelingt es nicht oder kaum, die Wetterschiffe C und J (52,5° N, 20° W) zu überschreiten. C bleibt hinter dem ersten Sturmtief vom 11./12. Februar in der Tropikluft und gerät hinter dem zweiten Sturmtief vom 15./16. Februar nur vorübergehend unter den Kaltluftrand. Bei J ist es umgekehrt, die Kaltfront der „Sturmflut-Zyklone" überschreitet J nicht.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Schematisch bildet der in Abbildung 58 dargestellte Kranz der Wetterschiffe D — C — J — K den dauernden Strombereich der Tropikluft in der Sturmflut-Woche. Ihr überwiegendes Herrschaftsgebiet und ihre — flüchtig erreichte — äußerste Grenze sind in der Abbildung markiert. Der „warme Eckpfeiler C" dieses Systems ist von besonderer Bedeutung: Seine Resistenz verhindert hier eine Südwärtsverlagerung der Frontalzone auf der Rückseite der vorbeigezogenen Zyklonen und schreibt den Zyklonenbahnen im europäischen Bereich die Tendenz nach OSO vor. Anders ausgedrückt, das antizyklonische „Steuerungszentrum" bei 25° W mit seiner Ausdehnung in den NW-Atlantik leistet einem Befahren der VAN BEBBERschen Zugstraßen II und III Vorschub (s. Abb. 58).

Man kennt das Schema der normalen Zyklonen-Familie. Das erste Glied setzt weit im Norden an, und jedes der (etwa drei) Folgeglieder wandert etwas (~ 5 Breitengrade) weiter

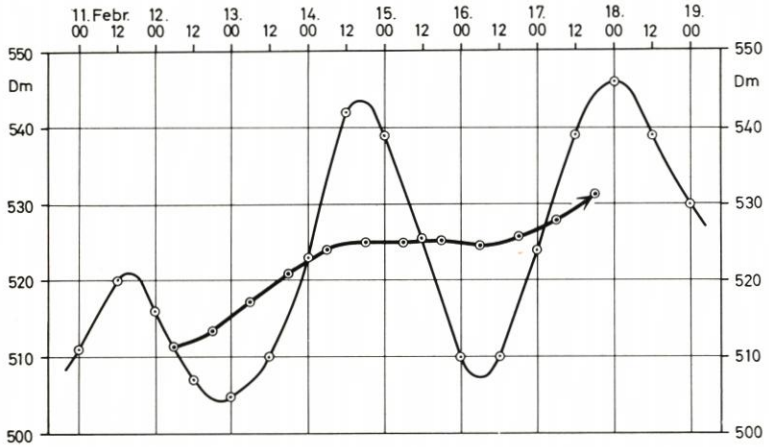


Abb. 59. Verlauf der relativen Topographie 500/1000 mb über Keflavik, Westisland vom 11. bis 19. Februar 1962, 00 Uhr MGZ. Dazu: ausgeglichener Verlauf (übergreifende Mittel von 6 Terminen)

südlich. Die Polarluft breitet sich dabei immer weiter südwärts aus, hinter dem letzten, die Serie abschließenden Gliede in das subtropische Passatgebiet sich ergießend.

Entsprechend schrumpft die Reichweite der Tropikluft-Vorstöße nach Norden im Verlaufe des „Familienbetriebs" immer mehr ein, bis die Tropikluft an der Westflanke des die Zyklonen-Serie abschließenden Hochs wieder weiter nach Norden vordringen kann.

Die zweite Februar-Dekade 1962 zeigt wenig Anklänge an dies Modell. Die Tropikluft über dem Nordatlantik erweitert mit jeder neuen Zyklone ihren Herrschaftsbereich nach Norden. Als eindrucksvoller Beleg dafür mag die Abbildung 59 dienen, in der die Schwankungen der relativen Topographie 500/1000 mb über Keflavik (~ 64° N, 23° W) in Westisland vom 11. bis 19. Februar 1962, 00 Uhr MGZ, dargestellt sind.

Man erkennt drei ausgeprägte Wellen mit den Gipfeln in etwa drei Tagen Abstand, die mit den in Abbildungen 11 bis 13 gebrachten wandernden Druckfallgebieten gekoppelt sind. Indem diese Fallgebiete in ihrer Folge bei Island nicht fortlaufend weiter südlich, sondern weiter nördlich auftreten, wird der Einfluß der Tropikluft hier immer stärker. Die Kurve der übergreifenden Mittel aus sechs Terminen (= drei Tagen), die in Abbildung 59 hinzugefügt ist, läßt den „Trend" der Erwärmung deutlich werden, die während dieser Zeit 20 Dm = *10°* für die untere Troposphärenhälfte (500—1000 mb) ausmacht. Entsprechend wächst beim Wetterschiff I südlich Island (59° N, 19° W) die jeweilige Dauer der Tropikluft-

Besetzung im Verlaufe der drei „Wellen" erheblich an, etwa im Verhältnis 6 zu 30 zu 60 Stunden.

Rufen wir uns die im Abschnitt 12 geschilderte Ausbreitungstendenz nach Norden der subtropischen Steigtendenz des Luftdrucks ins Gedächtnis, so erscheint diese Erwärmungstendenz im subpolaren Norden als das Korrelat dazu. Später, in der letzten Februar-Dekade und vor allem dann im März 1962, hat die weitere Nordwärtswanderung des atlantischen Drucksteiggebiets ein starkes Ostgrönland-Hoch ergeben, womit sich die Gesamtzirkulation auf einen völlig anderen Typus mit sehr südlicher Westlage im Nordatlantik umstellt.

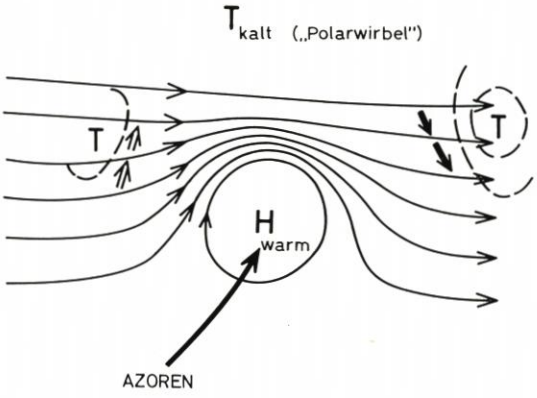


Abb. 60. Nordwärtsverschiebung und Einengung der (oberen) Westwindzone durch den nach NNO gerückten subtropischen Hochdruckblock, schematisch

Die zweite Februar-Dekade 1962 bezeichnet jenen Abschnitt der allgemeinen Zirkulationsentwicklung dieses Winters, in dem die „Einengung der (zyklonal-kalten) Westwindzone" im Nordatlantik durch das übermäßig starke und nach Norden drängende subtropische System ein Maximum erreicht. In dieser Etappe der Entwicklung steigert sich der auf dem engem Raum nördlich des vorgeschobenen mächtigen subtropischen „Hochdruckblocks" zusammengedrängte Höhenstrom um den Polarwirbel zu jenen gewaltigen Höhenorkanen, deren bereits früher (Abschnitt 9) Erwähnung getan wurde. Die Abbildung 60 veranschaulicht diese Vorstellung im Modell.

Europa, auf der Ostseite des Hochdruck-Blocks, erlebt dabei temporär mächtige Polarluft-Einbrüche vom Nordmeer über die Nordsee nach Süden: Den Wintergewittern mit schweren Graupelböen hier stehen Nebelstürme aus Süd über dem Kaltwasser vor Neufundland als das andere Extrem, auf der Westseite des „Blocks" gegenüber.

Das Modell der Stromstörung (Abb. 60) ist allerdings nicht starr zu denken. Etwas von dem weiträumigen Spiel und Zusammenspiel, das in der 2. Februar-Dekade abläuft, ist in den früheren Abschnitten darzustellen versucht worden. Es kam uns darauf an, sichtbar zu machen, daß der Nordseesturm, der die Katastrophenflut brachte, nicht das Zufallsprodukt einiger unseligerweise zusammenwirkender „Kleinigkeiten" war, sondern daß er im Zuge einer großzügigen und ganz besonderen Zirkulationsentwicklung entstand.

Zwar läßt sich nicht sagen, daß der schwere Sturm bei den geschilderten Vorbedingungen so, wie es geschah, kommen mußte. Wohl aber läßt sich sagen, daß die Dinge einen Zuschnitt erhielten, der seine Entstehung entschieden begünstigte.

Die — nachträglich feststellbare — Tendenz des atlantisch-subtropischen Zirkulationsrades, im Winter 1962 unter besonderer Verstärkung langsam nach Norden zu „rollen", erscheint als ein wesentlicher Punkt dieser „Vorbereitung". Die Ursache der Verlagerung und Intensivierung bleibt allerdings dunkel. Und weshalb sich nördlich der Azoren soviel Masse anhäufen konnte, daß es um Mitte Februar ein Rekordhoch gab, wissen wir nicht. Wir können nur sagen: Dies geschah nicht spontan, nicht von ungefähr; das Hoch hat seine Vorgeschichte und Nachgeschichte. Ähnlich war es mit dem kalten Partner im Spiel, dem Labrador-Hoch. Vielleicht war die Doppelfunktion der westlichen Drucksteigtendenz als Regenerator des Azorenhochs und als Mitproduzent des zyklogenetischen Vierer-Druckfeldes unerläßlich, um den Witterungsablauf in der 2. Februar-Dekade so zu gestalten, wie er tatsächlich war.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

D. Schlußbemerkung: Die Ähnlichkeit der „Produkte" der Frontalzone von Mitte Februar 1962, der Sturmzyklonen in ihrer Bahn und Vertiefung

Die Ähnlichkeit in der Konstellation der Vierer-Druckfelder, der Entstehung und Lage des neutralen Punktes, der Stärke der Frontalzone im Raume der Wetterschiffe C und B, der Herkunft der Druckfallgebiete von Neufundland ist für die beiden Sturmzyklonen vom 12. und 16. Februar 1962 im Vorstehenden beschrieben worden. Es ist bei soviel Ähnlichkeit der Prämissen immerhin tröstlich für den Wetterkundler, daß auch eine Ähnlichkeit der Folge-Erscheinungen unverkennbar ist. Auf diese möge deshalb abschließend hingewiesen werden.

In den Abbildungen 61 und 62 ist die Bahn der beiden Tiefzentren vom 10. bis 14. Februar und vom 14. bis 18. Februar dargestellt. Zu den aus den Wetterkarten ermittelten bzw. geschätzten Positionen des Tiefzentrums von 3 zu 3 Stunden ist der geschätzte Tiefstdruck hinzugeschrieben. Die Entwicklung des Tiefstdruckes, d. h. der Druckverlauf einer mit dem Tiefzentrum mitwandernden Phantomstation, ist in den Abbildungen 63 und 64 für die beiden Fälle veranschaulicht.

Das zweite Tief entsteht als geschlossenes Gebilde am 14. Februar 1962 östlich der Südspitze Grönlands (vorher nur Isobaren-Ausbuchtung). Vergleicht man Abbildung 63 und 64, so zeigt sich folgendes mit Bezug auf die Vertiefung:

	Beginn bei	Ende bei	Betrag	Dauer
Fall 1	999 mb	944 mb	55 mb	60 Stunden
Fall 2	1000 mb	948 mb	52 mb	60 Stunden

Dieser hochgradigen Ähnlichkeit von Betrag und Dauer des Vertiefungsprozesses entspricht eine räumliche Ähnlichkeit seines Beginns und Endes. Aus Abbildung 61 ist zu ersehen, daß das erste Tief in etwa gleichbleibender Stärke am 10. Februar von Neufundland nach Südgrönland herüberzieht und daß erst hier die Vertiefung einsetzt. Das zweite Tief entsteht an der Stelle, ostwärts Kap Farvel, wo das erste Tief plötzlich aufzuleben beginnt.

Auch das Ende der Vertiefung wird fast in der gleichen Gegend erreicht, einmal nördlich Stockholm, das andere Mal östlich Stockholm vor der Insel Dagö (soweit aus den beim Seewetteramt vorliegenden Wetterkarten ersichtlich). Das sind bemerkenswerte Übereinstimmungen in bezug auf den aktiven Abschnitt der Lebensgeschichte der beiden Sturmzyklonen, der „stromabwärts" vom neutralen Punkte beginnt.

Der „passive Abschnitt" (Auffüllung des Zentrums) z. B. zeigt ein weites Auseinanderklaffen der Bahnen über Rußland, im ersten Falle eine Abwanderung des Tiefzentrums in Richtung auf das Weiße Meer, im zweiten Falle nach dem Mittelrussischen Landrücken nördlich der Ukraine. Auch die Frühgeschichte der beiden Sturmzyklonen zeigt stärkere Unterschiede: Die erste ging auf ein regulär wanderndes Tief zurück (Abb. 61), die zweite dagegen entstand durch Keimung (Ausläuferbildung) ostwärts der Bahn des Haupttiefs, das nach Westgrönland zog (Abb. 62). Und wie die an den Bahnen von Neufundland nach Südgrönland bzw. Westgrönland hinzugefügten Drucke zeigen, ist die Entwicklung auf diesen Bahnabschnitten in den beiden Fällen sehr verschieden.

Die Ähnlichkeit von Fall 1 und 2 beschränkt sich also auf das Aktivitäts-Stadium ostwärts der Länge des neutralen Punktes —45° West- bis etwa 20° Ostlänge. Daß hierbei die erste Bahn südlich an Island, die zweite nördlich an Island vorbeiläuft — und entsprechend nördlicher auch weiter im Osten —, steht im Zusammenhang mit der in Abschnitt 13 behandelten Ausbreitungstendenz der Tropikluft. Dies ist aber keine Diskrepanz, die der Gleichsinnigkeit der „Produkte" der Frontalzone (C-B) widerspräche.

Eine Besonderheit der Zyklonen, die einen neutralen Punkt „in der Rückhand haben", scheint es zu sein, daß der Okklusionsvorgang oder jedenfalls das Ende der Vertiefung —

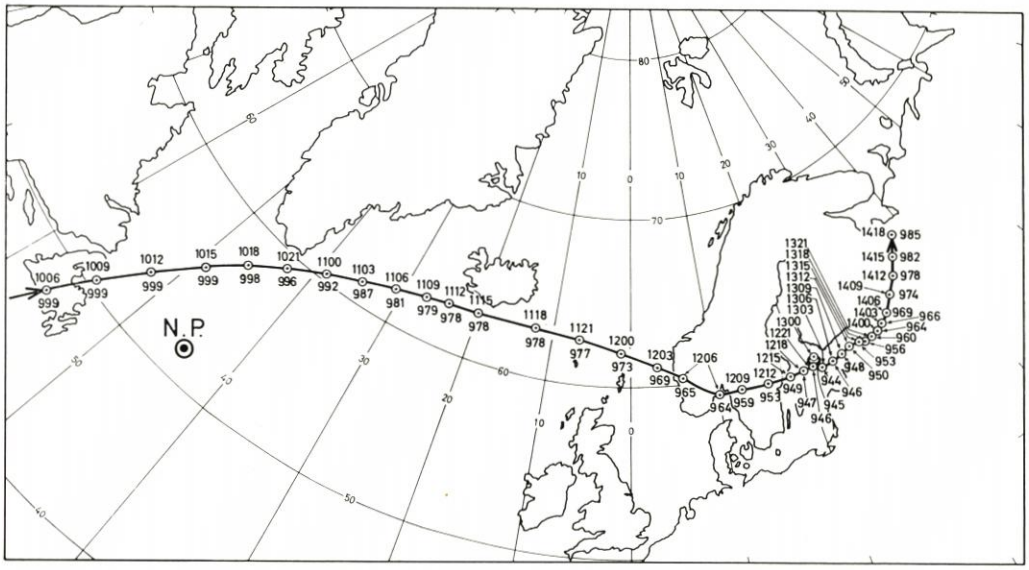


Abb. 61. Bahn des Tiefzentrums vom 10. Februar (06 Uhr MGZ) bis 14. Februar 1962 (18 Uhr MGZ) Dazu: Tiefstdrucke in mb

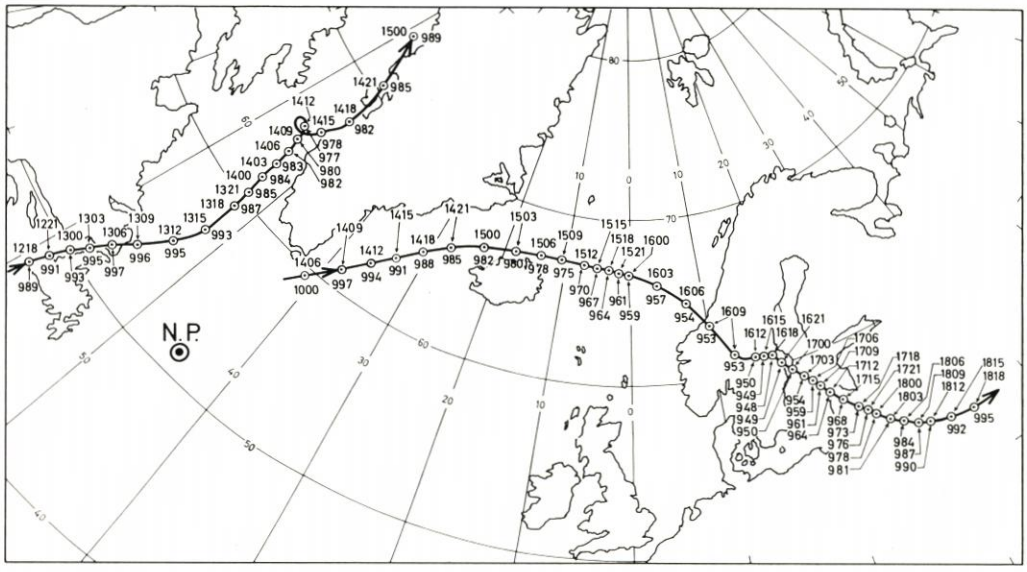


Abb. 62. Bahn des Tiefzentrums vom 14. Februar (06 Uhr MGZ) bis 18. Februar 1962 (18 Uhr MGZ) Dazu: Bahn des Muttertiefs vom 12. Februar, 18 Uhr, bis 15. Februar, 00 Uhr MGZ. Tiefstdrucke in mb

gegenüber anderen Frontalzyklonen — hinausgezögert wird. In den beiden Fällen stimmt die Zeit und die Dauer der Vertiefung (60 Stunden) recht genau mit der Lebensgeschichte der

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

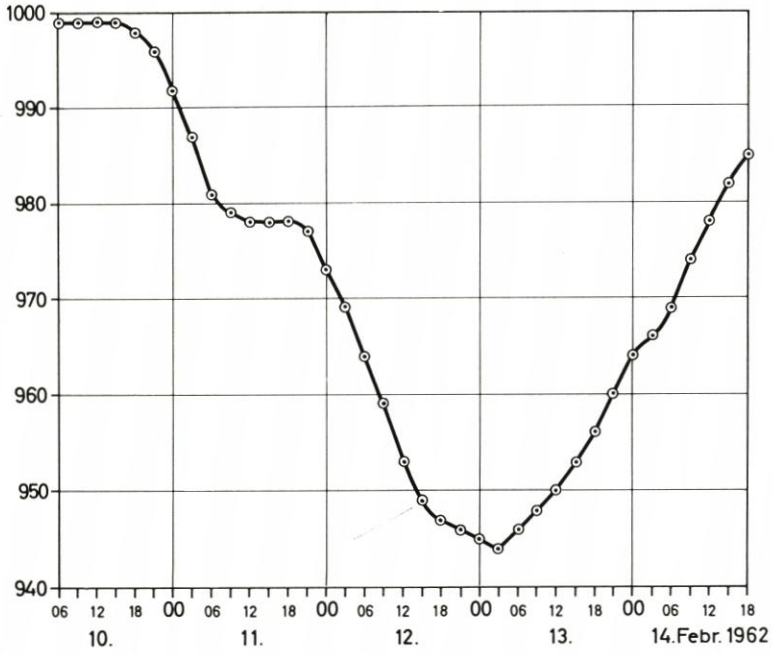


Abb. 63. Luftdruck-Entwicklung im Tiefzentrum vom 10. bis 14. Februar 1962 (Druckverlauf bei Mitführung)

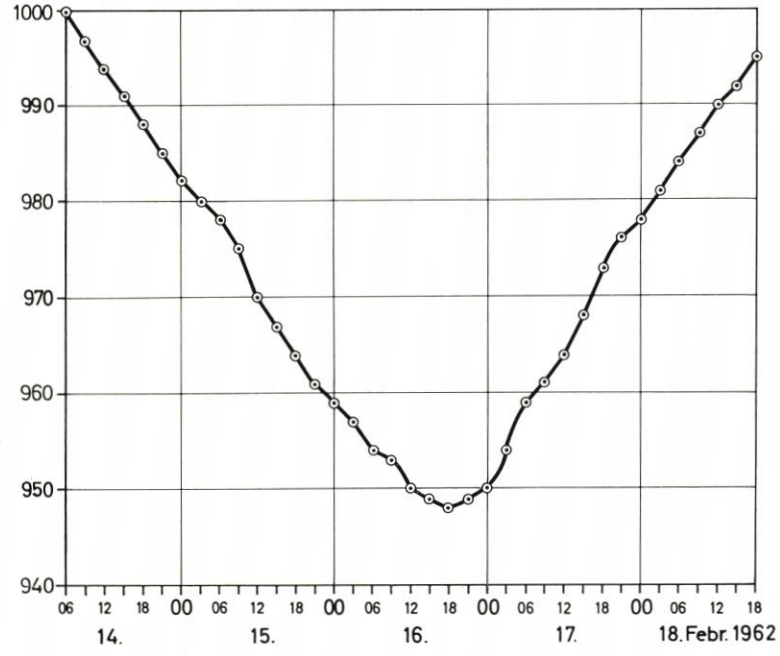


Abb. 64. Luftdruck-Entwicklung im Tiefzentrum vom 14. bis 18. Februar 1962 (Druckverlauf bei Mitführung)

neutralen Punkte (vgl Abb. 36 und 37) überein. Der Grund dafür wäre in der relativ langsamen Stärke- und Lageänderung der Frontalzone am neutralen Punkt zu suchen. Die Front zwischen Warmluft und Kaltluft ist hier „steif", die Ausbreitungstendenzen der Luftströme sind neutralisiert (Übergangsstelle Kaltfront-Warmfront). Es hält sich sozusagen abseits vom Tief ein „Warmsektor" von 180°, und der Strom der Tropikluft wird um so weniger zum Versiegen gebracht, je mehr Isobaren um das warme Hoch laufen.

Als Gegensatz dazu vergleiche man das kurze aktive Stadium des westgrönländischen Tiefs vom 14. Februar 1962 (Vertiefungsdauer etwa 24 Stunden, rasche Okklusion). Aber es bedürfte natürlich einer statistischen Untersuchung vieler Fälle, um den angedeuteten Sachverhalt bezüglich Vertiefungsdauer als allgemeiner gültig zu erweisen.

Wenn die Nordseestürme vom 12. und 16. Februar 1962 — und damit die Sturmfluten — trotz der generellen Ähnlichkeit der beiden Sturmzyklonen verschieden ausfallen, so deshalb, weil im einzelnen eben doch wesentliche Unterschiede auftreten. Zum Trost des Wetterprognostikers, der gern nach Gedächtnisbildern arbeitet und hier die Duplizität so schön bestätigt sieht, muß sich so der Kummer gesellen, daß im einzelnen jeder Fall doch wieder neu und besonders ist. Aber diese Besonderheiten darzustellen, muß einer Arbeit vorbehalten bleiben, die sich mit dem Ablauf der Februar-Stürme in der Nordsee beschäftigt.

Für den Chronisten besonderer Ereignisse sei angefügt: In Stockholm wurde am 12. Februar 1962 (um 19 Uhr) mit *948,6 mb* fast der bisherige Tiefstwert des Luftdruckes eingestellt, der vor etwa hundert Jahren, am 20. Januar 1863, mit *948,1 mb* erreicht worden war. Im Stockholmer Schärenhof, bei Svenska Högarna, wurde am 12. Februar 1962, um 19 Uhr ein noch tieferer Wert gemessen, nämlich *947,3 mb*. Am 16. Februar 1962 (um 17.50 Uhr) wurde in Öregrund der Tiefstwert mit *948,6 mb* erreicht. Auffällig war, daß nur wenige Tage später ein etwa 100 mb höherer Luftdruck eintrat, nämlich *1048,3 mb* in Öregrund, *1048,1 mb* in Stockholm am 22. Februar 1962 (nach freundlicher Mitteilung von Dr. B. Rodhe, Sveriges Meteorol. och Hydrogr. Institut, Stockholm).

In dieser Extremfolge „948-948-1048" kommt zum Ausdruck, daß der Stockholmer Bereich zunächst die „Produkte" des antizyklonalen nordatlantischen Aktionszentrums bekam und dann dieses selbst, entsprechend der in Abschnitt 12 behandelten Nordostverlagerung der Drucksteigtendenz, die zehn Tage vorher im Nordatlantik zu Druckwerten bis 1048 mb geführt hatte.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 in ozeanographischer Sicht

Von Georg Koopmann

Inhalt

1. Die Wasserstände vom 16./17. Februar 1962 im Vergleich mit früheren Sturmfluten . 55
2. Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 im Vergleich mit der Sturmflut vom 12. Februar 1962 61
3. Die Ursachen der hohen Wasserstände 66
4. Sind höhere Wasserstände denkbar? 67
5. Schriftenverzeichnis 68

Einleitung

Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 hat entlang der deutschen Nordseeküste vielerorts Wasserstände hervorgerufen, welche die bisher bekannten Höchstmarken überschritten haben, obwohl die über der Deutschen Bucht gemessenen Windstärken im Vergleich zu bereits früher beobachteten nicht außergewöhnlich groß waren (Roediger 1962, Rodewald 1962).

Natürlich ist das Wettergeschehen in seiner Gesamtheit verantwortlich für die Abweichungen der Wasserstände von den astronomisch bedingten Verhältnissen. Dennoch muß eine Aufgliederung nach den im Wasser kenntlich werdenden Erscheinungen vorgenommen und es müssen Abhängigkeiten gesucht werden, die es ermöglichen, Abschätzungen vorzunehmen.

1. Die Wasserstände vom 16./17. Februar 1962 im Vergleich mit früheren Sturmfluten

Betrachtet man die Reihe der Sturmfluten, die für die deutsche Nordseeküste gefährliche Ausmaße annahmen, und ihre Auswirkungen, so erkennt man, daß die Küstenanwohner im Verlauf der Zeit immer wieder vor die Frage gestellt wurden: Bietet die Höhe der Deiche nach den „letzten" Erfahrungen noch einen ausreichenden Schutz?

Seit unserer Zeitrechnung nahm die Höhe der Katastrophenfluten bezogen auf das Festland zu (Woebcken 1924), wie es an den ständigen Erhöhungen der Warfen und später der Deiche erkennbar ist. Die Frage, ob eine Landsenkung oder ein Anstieg des mittleren Wasserstandes, ob eine Veränderung des Tidehubs an der deutschen Nordseeküste oder ein Anstieg einzelner gefährlicher Fluten stattfand, ob mehrere oder alle Faktoren eine Rolle hierbei spielen, soll im folgenden dahingestellt bleiben. Nicht Vermutungen, sondern die gemessenen Wasserstände sollen als Grundlage für weitere Betrachtungen dienen.

Seit 1843 sind am Pegel Cuxhaven regelmäßig Wasserstandsmessungen durchgeführt worden. Beim Referat Gezeiten des Deutschen Hydrographischen Instituts wurden hieraus jährliche mittlere Hoch- und Niedrigwasserwerte errechnet und hiervon 19jährige, übergreifende Mittel gebildet.

In der Abbildung 1 sind diese für Cuxhaven gebildeten 19jährigen übergreifenden mittleren Hoch- und Niedrigwasserwerte aufgetragen und rechnerisch geglättet worden. Man

erkennt deutlich das Ansteigen der mittleren Hoch-, aber auch der Niedrigwasserwerte im Verlauf des letzten Jahrhunderts.

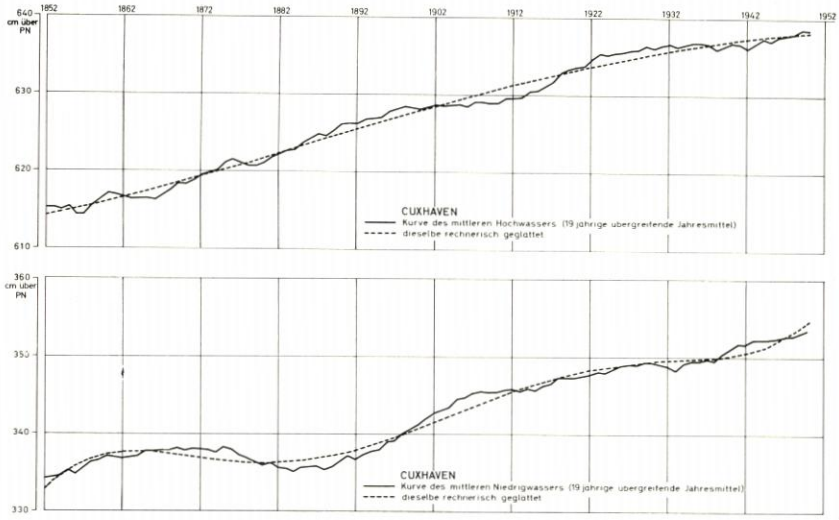


Abb. 1. Säkularer Anstieg des mittleren Hochwassers und des mittleren Niedrigwassers, beobachtet am Pegel Cuxhaven

Tabelle 1

Die Wasserstände der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 im Vergleich mit den bisher bekannten Höchstwerten

Höchstwerte seit	Ort	HHThw Datum	HHThw Höhe über PN m	Thw am 16./17. 2. 1962 über PN m	HHTnw[3] Datum	HHTnw[3] Höhe über PN m	Tnw am 16. 2. 62 über PN m	Tnw am 17. 2. 62 über PN m
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1825	Husum	4. 2. 1825	10,09[1])	10,21	10. 2. 1949	8,17	6,98	6,48
1825	Büsum	4. 2. 1825	10,05	9,94	10. 2. 1949	7,80	6,71	6,62
1825	Cuxhaven	4. 2. 1825	9,66	9,96	15. 10. 1881	7,49	6,67	6,69
1825	Brunsbüttelkg.	4. 2. 1825	10,15	10,27	24. 2. 1911	6,80	7,50	7,18
1825	Hamburg	4. 2. 1825	10,24	10,70	15. 10. 1881	8,20	7,79	7,80
1825	Bremerhaven	4. 2. 1825	10,04	10,35	23. 12. 1894	7,97	6,74	7,08
		13. 3. 1906	9,89					
1889	Bremen	13. 3. 1906	9,55[2])	10,41	6. 1. 1926	8,21	7,09	7,67
1889	Wilhelmshaven	13. 3. 1906	10,06	10,22	23. 12. 1894	7,35	5,90	6,30
1889 / 1929	Borkum	13. 3. 1906	8,82	8,83	19. 10. 1935	6,30	5,85	6,43
1889	Emden	13. 3. 1906	10,18	9,76	23. 12. 1894	7,69	6,04	6,50

[1]) Hypothetischer Wert eines zeitgenössischen Pegelstandes.
[2]) Wasserstand am 1. 1. 1855 in Bremen 11,05 m, durch Oberwasser beeinflußt.
[3]) Die HHTnw-Werte sind nicht repräsentativ, da ältere Niedrigwasserbeobachtungen nicht vorliegen.

Im folgenden sind alle Angaben der Jahre 1852 bis 1952, die sich auf mittleres Hochwasser (MThw) oder mittleres Niedrigwasser (MTnw) beziehen, auf den in Abbildung 1 dar-

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

gestellten rechnerisch geglätteten Wert des jeweiligen Jahres bezogen. Eine Extrapolation bis 1825 wurde nicht vorgenommen. Für diesen Zeitraum ist der Wert von 1852 verwendet worden.

In der Tabelle 1 wurden nun die bisher höchsten gemessenen Hoch- und Niedrigwasserwerte den Werten der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 gegenübergestellt, und zwar bezogen auf Pegelnull (PN), welches 5,00 m unter Normalnull (NN) liegt.

Die Werte der Tabelle 1 lassen erkennen, daß die Hochwasserstände des 16./17. Februar 1962 die bisher bekannten Höchstwerte nicht wesentlich überschreiten, wenn man den Anstieg des MThw aus Abbildung 1 berücksichtigt. Beim Niedrigwasser liegen die am 16. und 17. Februar 1962 beobachteten Wasserstände an der Küste wesentlich unter den bekannten Höchstwerten, dagegen liegen die entsprechenden Werte in den Flußgebieten etwa gleich hoch. Das liegt an der Verformung der an der Mündung eintretenden Wasserstandskurve innerhalb des Flußlaufes. Z. B. zeigte der Sturmflutverlauf vom 10. Februar 1949 an der Küste noch ein Niedrigwasser extremer Höhe, während schon in Brunsbüttelkoog, aber auch in Hamburg, nur ein langsam ansteigendes Hochwasser über zwei Tiden zu beobachten war (s. Abb. 4).

Tabelle 2

Sturmfluten in Cuxhaven seit 1825
mit Wasserständen höher als 9,0 m PN

Datum	m ü. PN	m ü. MThw
4. 2. 1825	9,66	3,55
21. 10. 1845	9,18	3,07
1. 1. 1855	9,16	3,01
15. 10. 1881	9,16	2,94
13. 3. 1906	9,36	3,06
13. 1. 1916	9,32	3,00
17. 2. 1916	9,10	2,78
2. 12. 1917	9,06	2,73
10. 10. 1926	9,05	2,70
23. 11. 1930	9,18	2,83
18. 10. 1936	9,22	2,85
19. 10. 1941	9,03	2,66
16. 2. 1962	9,96	3,56

Die Tabelle 2 enthält die Wasserstandsangaben seit 1825 von Sturmfluten in Cuxhaven, die 4,0 m NN (9,0 m über PN) überschritten haben.

Den Angaben der Tabelle ist zu entnehmen, daß die Sturmfluten von 1825 und 1962 einander in ihrer Höhe, bezogen auf MThw, gleichen. Aber auch diese Betrachtungsweise sagt noch nichts über die Stau-Anteile aus, die zu derartigen Wasserständen führten. Bei der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 gilt es, folgende Stauwerte in Cuxhaven zu unterscheiden:

Höchster beobachteter Stau (s. Abb. 8)	3,85 m
Stau z. Z. des beobachteten Hochwassers	3,75 m
Stau z. Z. des astronomischen Hochwassers	3,63 m
Stau (H. W. beobachtet — H. W. astronomisch)	3,70 m

Von entsprechenden Stauwerten bei der Sturmflut vom 3./4. Februar 1825 sind die ersten drei unbekannt. Es läßt sich nur noch der Stau (HW beobachtet — HW astronomisch) abschätzen. Die Sturmflut fand fast zur Springzeit statt. Das astronomische Hochwasser dürfte etwa 2 bis 3 dm über MThw gelegen haben. Daraus ergäbe sich ein Hochwasserstau von 3,3 m.

Betrachtet man nun die höchsten Wasserstände an der Unterelbe in der Tabelle 3 (Werte von der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Hamburg angegeben), so wird bei beiden Sturmfluten die Aufsteilung der Wasserstände im Flußgebiet deutlich. Der Stau nimmt von Cuxhaven elbeaufwärts zu. Die Wasserstände bezogen auf PN erreichen 1825 bei Glückstadt, 1962 bei Schulau ihren Höchstwert. In einer besonderen Spalte sind die Differenzen der örtlichen Höhen gegen den Pegelstand bei Cuxhaven aufgeführt. Zu der Aufsteilung 1962 führte, wie wir wissen, die füllige Wasserstandskurve bei Cuxhaven (Hensen 1962).

Tabelle 3

Extreme Wasserstände auf der Elbe 1825 und 1962

	Höhe gegen Cuxhaven cm	4. Febr. 1825 PN m	über MThw m	Höhe gegen Cuxhaven cm	16./17. Febr. 1962 PN m	über MThw m
Cuxhaven	0	9,66	3,55	0	9,96	3,56
Otterndorf	19	9,85		17	10,13	
Brunsbüttelkoog	49	10,15		31	10,27	
Brokdorf	—	—		37	10,33	
Glückstadt	86	10,52		64	10,60	
Kollmar	74	10,40		71	10,67	
Grauerort	59	10,25		74	10,70	
Brunshausen (Stadersand*))	48	10,14		78	10,74*)	
Lühort	48	10,14		79	10,75	
Schulau	59	10,25		91	10,87	
Seemannshöft	54	10,20		81	10,77	
Hambg. St. Pauli	58	10,24	3,64	74	10,70	4,00

*) Brunshausen bis 1931, ab 1931 Stadersand.

Die unterschiedliche Lage der Scheitelpunkte ist unter anderem vielleicht auch mit den Flußregulierungen seit 1825 zu erklären. Natürlich werden Entlastungen durch Deichbrüche und nicht zuletzt die individuelle Form der Wasserstandskurven bei Cuxhaven eine wesentliche Rolle gespielt haben.

Eine andere Art der Betrachtung extremer Wasserstände bieten Häufigkeitsverteilungen. Schon früher sind Häufigkeitsverteilungen von Hochwasserständen gegeben worden. Es sei auf die in der „Küste" erschienene Aufstellung von HUNDT (1954) hingewiesen.

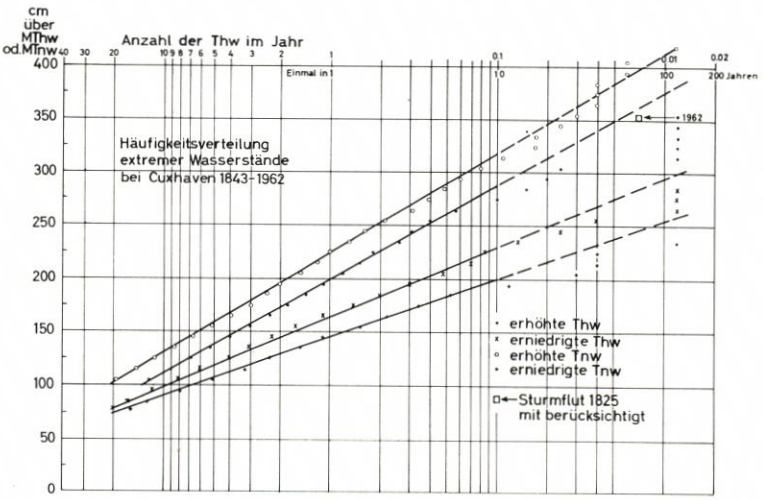


Abb. 2. Summenhäufigkeiten bei Cuxhaven beobachteter extremer Wasserstände für den Zeitraum 1843 bis 1962

In der Abbildung 2 sind nun Häufigkeitsverteilungen, bezogen auf MThw und MTnw aus Abbildung 1, dargestellt, und zwar für

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

erhöhte Hochwasser
erhöhte Niedrigwasser
erniedrigte Hochwasser
erniedrigte Niedrigwasser.

Dieser Darstellung liegen Wasserstandsbeobachtungen der Jahre 1843 bis 1962 zugrunde.

Mit der Abbildung 3 soll gezeigt werden, welchen Schwankungen eine Darstellung der Abbildung 2 durch die Wahl des Zeitraums unterworfen ist. Es wurden die Zeiträume von je 50 Jahren gewählt. Für diese Zeiträume wurde jeweils eine Häufigkeitsverteilung für erhöhte Hochwasserstände aufgestellt, und zwar für 1843 bis 1892, 1844 bis 1893 usw. bis 1913 bis 1962. Die Abbildung 3 gibt sowohl die mittlere Lage als auch die extremen Streuwerte wieder.

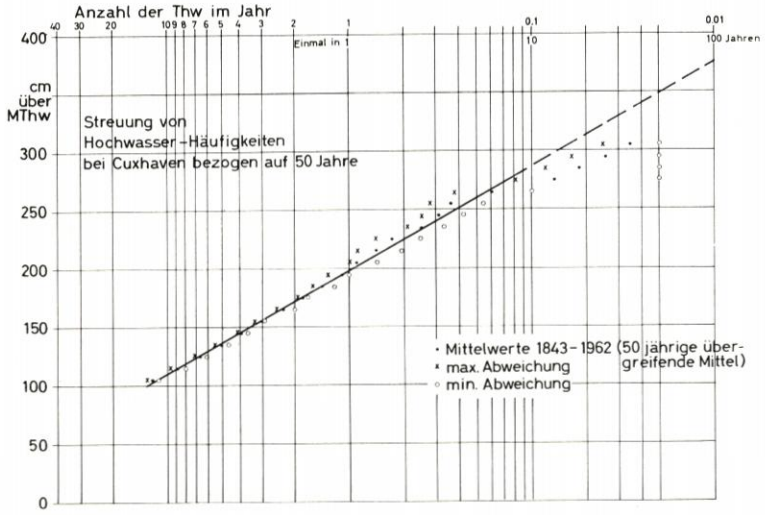


Abb. 3. Mittelwerte 50jähriger Hochwasser-Summenhäufigkeiten und ihre Schwankungsbreite

Die ausgezogene Gerade ist der Abbildung 2 für erhöhte Hochwasser entnommen. Durch diese Darstellung dürfte erneut erwiesen sein, daß eine Extrapolation über den beobachteten Zeitraum hinaus fragwürdig ist.

An dieser Stelle sei ebenfalls darauf hingewiesen, daß eine Häufigkeit von einmal in zehn Jahren keine Wahrscheinlichkeit von 10 % bedeutet, sondern eine Wahrscheinlichkeit, die erst über die Wahrscheinlichkeitsrechnung (s. WEMELSFELDER 1939) errechnet werden muß. Diese besagt, daß ein Wasserstand aus der Häufigkeitsverteilung mit a % Wahrscheinlichkeit unterschritten und mit (100-a) % vielleicht beträchtlich überschritten wird.

Betrachtet man in der Abbildung 2 die Lage der vier Geraden zueinander, so erkennt man, daß bei gleicher Häufigkeit die höchsten Werte in folgender Reihenfolge erreicht werden:

1. Niedrigwasser Erhöhung
2. Hochwasser Erhöhung
3. Hochwasser Erniedrigung
4. Niedrigwasser Erniedrigung.

Unter der Voraussetzung, daß

1. alle bei Stürmen auftretenden Windrichtungen und -stärken im Mittel über den beobachteten Zeitraum gleich verteilt vorkommen und

2. der Zeitraum von 1843 bis 1962 groß genug ist, daß alle Windrichtungen und -stärken auf Hoch- und Niedrigwasser verteilt gleichmäßig vorkommen,

kann man die Abweichungen vom MThw und MTnw auch mit dem Windstau gleichsetzen und findet so die von Tomczak (1960) auf andere Weise nachgewiesene „Tide-Abhängigkeit" des Windstaus bestätigt. Die Tide-Abhängigkeit des Windstaus besagt, daß, sowohl durch den Einfluß der Wassertiefe als auch durch das Trockenfallen der Watten, ein nicht unwesentlicher Stauunterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasserstau besteht, und zwar bei auflandigen und ablandigen Winden. Der Tatsache einer Tide-Abhängigkeit des Staus muß bei Aufstellung einer Formel zur Ermittlung des Windstaus Rechnung getragen werden (Koopmann 1962).

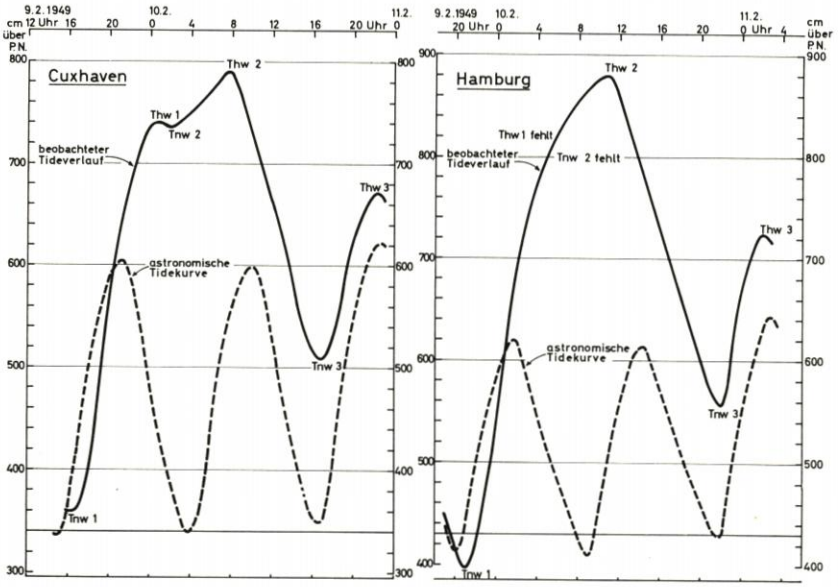


Abb. 4. Veränderung und Aufsteilung der Sturmflutkurve von Cuxhaven bis Hamburg am 9./10. Februar 1949
(Zum Vergleich wurde das Kartennull von Cuxhaven mit dem Kartennull von Hamburg in eine Ebene gebracht)

Man erkennt aus dem Verlauf der Geraden der Abbildungen 2 und 3, daß die Sturmfluten vom 16./17. Februar 1962 und die vom 3./4. Februar 1825 nicht aus dem allgemeinen Rahmen fallen. Die aus den Erhöhungen dieser beiden Sturmfluten errechneten Häufigkeitswerte (s. Abb. 2 □ 1825, · 1962) passen sich gut dem Verlauf der übrigen Werte an. Nimmt man wie Hundt (1954) für Husum auch die für Cuxhaven angenähert abzuleitenden Erhöhungen älterer Sturmfluten hinzu (seit 1634), so lägen die Häufigkeitswerte dieser Beobachtungen gut auf der Geraden. Sie lägen etwa bei einer Häufigkeit einmal in 80 Jahren, während Werte einmal in 100 Jahren und darüber noch fehlen.

Über die Sturmflut vom 3./4. Februar 1825, die, wie wir gesehen haben, recht gut mit der des 16./17. Februar 1962 vergleichbar war, schreibt Carl Woebcken (1924) in seiner Chronik: „Der Wind war nicht so stark wie am 15. November 1824." Auch wir können sagen, daß der Wind am 16./17. Februar 1962 an der Küste, ja sogar über der gesamten Deutschen Bucht nicht so stark war, wie wir ihn von anderen Stürmen kennen, die keine annähernd so hohen Wasserstände verursachten.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

2. Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 im Vergleich mit der Sturmflut vom 12. Februar 1962

Wie nachgewiesen werden konnte, ist für den Stau an der deutschen Nordseeküste in erster Linie der mittlere Wind über der Deutschen Bucht maßgebend. Tomczak (1960) zeigte, daß bei einer Zeitverspätung von 3½ Stunden die beste Korrelation zwischen mittlerem Wind über der Deutschen Bucht und dem Windstau gegeben ist. Um so erstaunlicher ist es, daß bei den mittleren Windstärken von 9 Beaufort am 16./17. Februar 1962 derartige Wasserstände erreicht

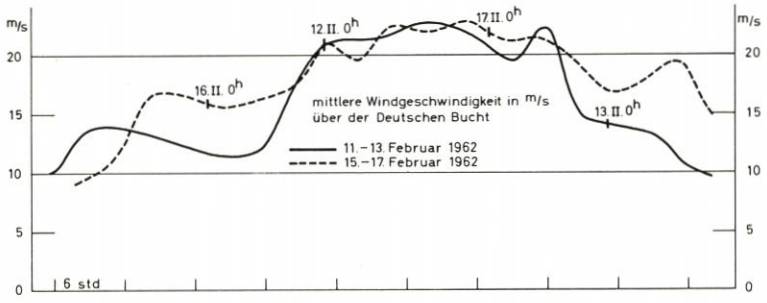


Abb. 5. Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeiten in m/s über der Deutschen Bucht (11.—13. gegen 15.—17. Februar 1962)

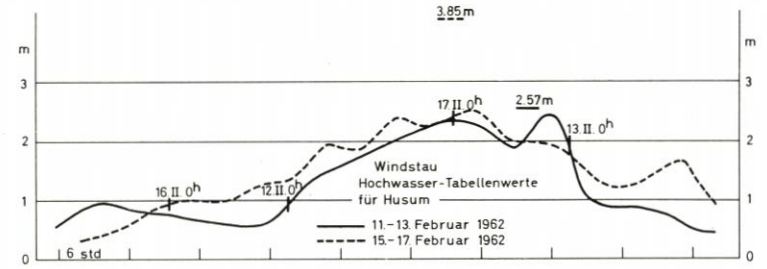


Abb. 6. Vergleich der den mittleren Windgeschwindigkeiten aus Abbildung 5 entsprechenden Hochwasserstau-Werte für Husum (11.—13. gegen 15.—17. Februar 1962)

wurden. Allen Küstenanwohnern war noch der Sturm vom 12. Februar 1962, der Wasserstände zwischen 2 und 2½ m MThw erzeugte, in guter Erinnerung, und nun führte ein zwar länger andauernder, aber nicht merklich heftigerer Sturm zur Katastrophenflut.

In der Abbildung 5 sind die mittleren Windgeschwindigkeiten in m/s über der Deutschen Bucht aufgetragen, und zwar zum Vergleich die Windgeschwindigkeiten der aufeinanderfolgenden Sturmfluten vom 12. Februar und der vom 16./17. Februar 1962. Die ausgezogene Linie bezieht sich auf den 12. und die gestrichelte auf den 16./17. Februar 1962. Man erkennt an dem Verlauf der mittleren Windgeschwindigkeiten, daß sie nicht sehr voneinander verschieden sind. Die Böigkeit bei beiden Stürmen war auch angenähert gleich groß. Ein Unterschied lag in der Windrichtung, diese war am 12. Februar vorwiegend WSW, am 16./17. dagegen überwiegend WNW.

Da die Windrichtung einen nicht unwesentlichen Einfluß auf den Windstau ausübt, mußte, um beide Stürme in ihrer Wirkung vergleichen zu können, ein Ort der deutschen Nordseeküste

gewählt werden, bei welchem die Stauwerte bei WSW bis WNW, wie sie aus den Tabellen von Tomczak (1955) abzuleiten sind, nur geringe Unterschiede aufweisen.

Aus diesem Grund ist in der Abbildung 6 der Windstauanteil für Husum aufgetragen, wie er sich nach den Werten von Tomczak mit $3^1/_2$stündiger Verzögerung aus dem Wind der Abbildung 5 ergibt.

Die Tide-Abhängigkeit des Staus wurde hierbei nicht berücksichtigt, um einen besseren absoluten Vergleich der Windwirkung beider Stürme anschaulich zu machen.

Aus dem Vergleich der beobachteten mittleren Windgeschwindigkeiten in Abbildung 5 und der ermittelten Hochwasserstauwerte in Abbildung 6 scheint es, daß beide Stürme angenähert die gleiche Sturmflutgefahr für Husum in sich bargen. Beide Stürme unterschieden sich aber in ihrer Intensität über der nördlichen Nordsee. Am 16. Februar 1962 herrschte dort ein unvergleichlich heftigerer Sturm.

In der Abbildung 6 sind die bei beiden Sturmfluten beobachteten Hochwasserstauwerte eingetragen. Man erkennt, daß der Stau von 2,57 m am 12. Februar mit dem Tabellenwert 2,45 m sehr gut übereinstimmt, während der Hochwasserstau von 3,85 m am 16. Februar 1,3 m über

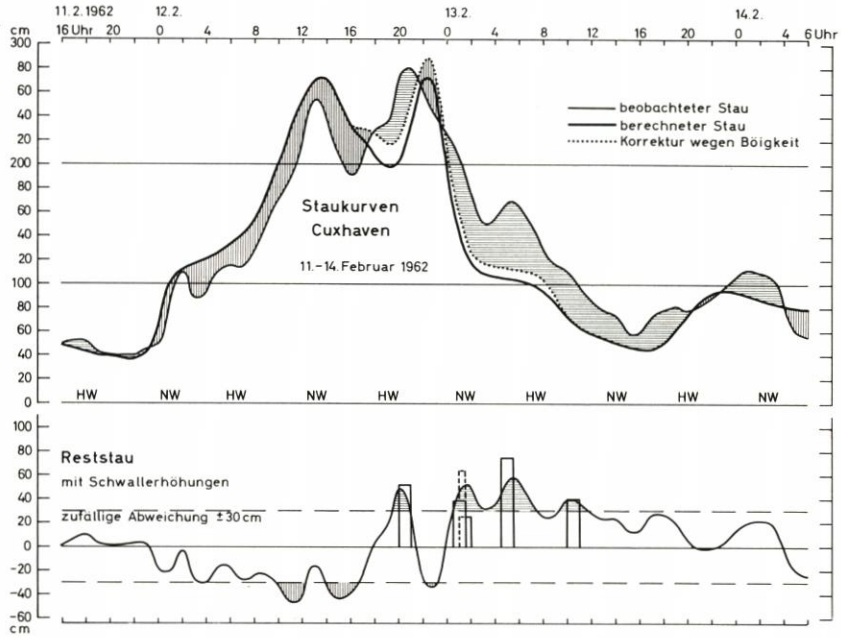


Abb. 7. Staukurve und Reststau mit Schwallerhöhungen. Beobachtet am Pegel Cuxhaven bei der Sturmflut vom 12. Februar 1962

dem Tabellenwert (2,55 m) liegt. Nach der Darstellung in den Abbildungen 5 und 6 ist kaum ein Unterschied beider Sturmflutwasserstände bei Husum zu erwarten, und doch weichen die beobachteten Stauwerte um mehr als 1 m voneinander ab.

In den Abbildungen 7 und 8 sind zum Vergleich die bei beiden Sturmfluten beobachteten Stauwerte in Cuxhaven eingetragen (dünne Linien). Der den Stürmen in Abhängigkeit der Tide entsprechende Windstau wurde auf die von Tomczak (1960) veröffentlichte Weise errechnet und ebenfalls aufgetragen (dick ausgezogene Linien). Der Böigkeit und der Inhomogenität des Windfeldes wurde ebenfalls Rechnung getragen (Koopmann 1962), wie durch die punk-

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

tierten Linien dargestellt. Die Fehlbeträge wurden schraffiert und im unteren Teil jeder Abbildung als Reststau aufgetragen. Dieser Reststau fordert, sobald er dem Betrage nach größer als 30 cm ist, eine Erklärung. In beiden Fällen (Abb. 7 und 8) kann diese durch Schwallerhöhungen gegeben werden.

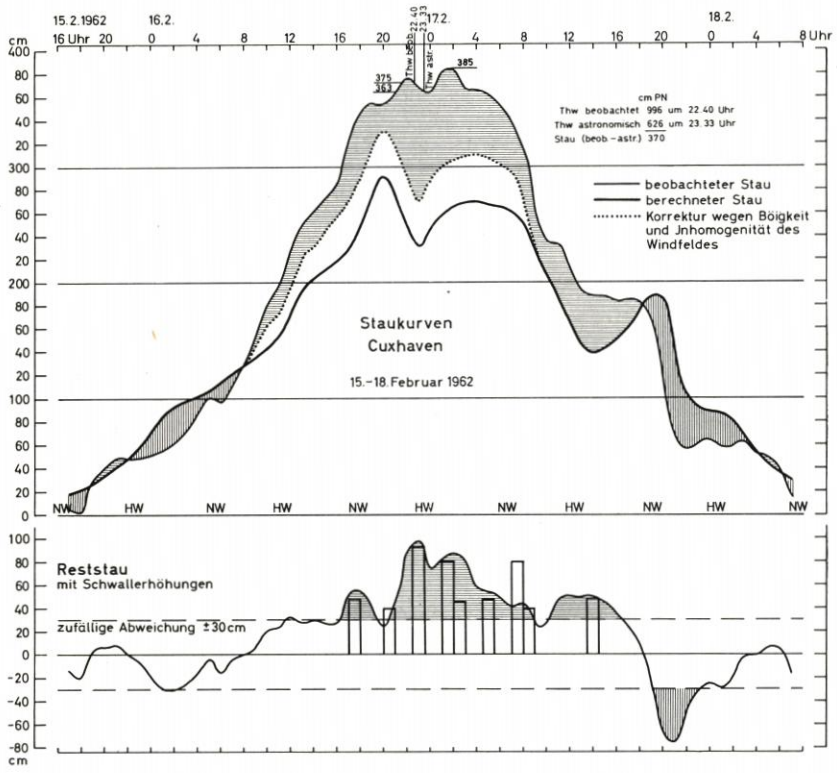


Abb. 8. Staukurve und Reststau mit Schwallerhöhungen, beobachtet am Pegel Cuxhaven bei der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962

Den an der englischen Ostküste beobachteten *external surges**) sind Schwallerhöhungen in der Deutschen Bucht eindeutig zuzuordnen. In der Arbeit von KOOPMANN (1962) wurde eine Beziehung zwischen *external surges* und Schwallerhöhungen in der Deutschen Bucht nachgewiesen, und zwar:

erste Erhöhung bei Cuxhaven etwa 8½ Std. nach Maximum bei Aberdeen mit rund ⅓ der beobachteten Erhöhung in Immingham;

zweite Erhöhung bei Cuxhaven etwa 13½ Std. nach Maximum bei Aberdeen mit rund ⅔ der beobachteten Erhöhung in Immingham;

dritte Erhöhung bei Cuxhaven etwa 20½ Std. nach Maximum bei Aberdeen mit rund ⅓ der beobachteten Erhöhung in Immingham (Höhe sehr unsicher).

Die Abbildung 9 zeigt die Schwallerhöhung vom 16. Februar 1962. Die beobachteten Stauwerte von Aberdeen, Tyne, Immingham, Lowestoft und Harwich sind aufgetragen. Diese an der englischen Ostküste gemessenen positiven Abweichungen von den Vorausberechnungen traten

*) „external surges" sind wellenförmige, fortschreitende Wasserstandserhöhungen, die vom Atlantischen Ozean in die Nordsee eindringen und dann wie freie Wellen weiterlaufen.

bei starken ablandigen Winden auf, sie sind also durch negativen Windstau überlagert und wahrscheinlich zu gering.

Darunter ist der Reststau von Cuxhaven aufgetragen. Aus derartigen Kurvenzusammenstellungen wurden obige Beziehungen abgeleitet. Auch bei der Sturmflut vom 12. Februar 1962 wurde an der englischen Ostküste eine *external surge* beobachtet, aber mit geringerer Intensität. In den Abbildungen 7 und 8 ist nun zur statistisch ermittelten „Sollzeit" mit den jeweiligen Erwartungshöhen in Form einer Balkendarstellung der Schwallverlauf in Cuxhaven beim Reststau eingetragen. Man erkennt, daß trotz der Überlagerung der aufeinanderfolgenden Wellen die Abweichungen über 30 cm beim Reststau gut wiedergegeben sind. Der in der Abbildung 7 am 12. Februar von 4.00 bis 16.00 Uhr zu beobachtende negative Reststau ist auch an den englischen Pegeln als Vorläufer der *external surge* zu beobachten.

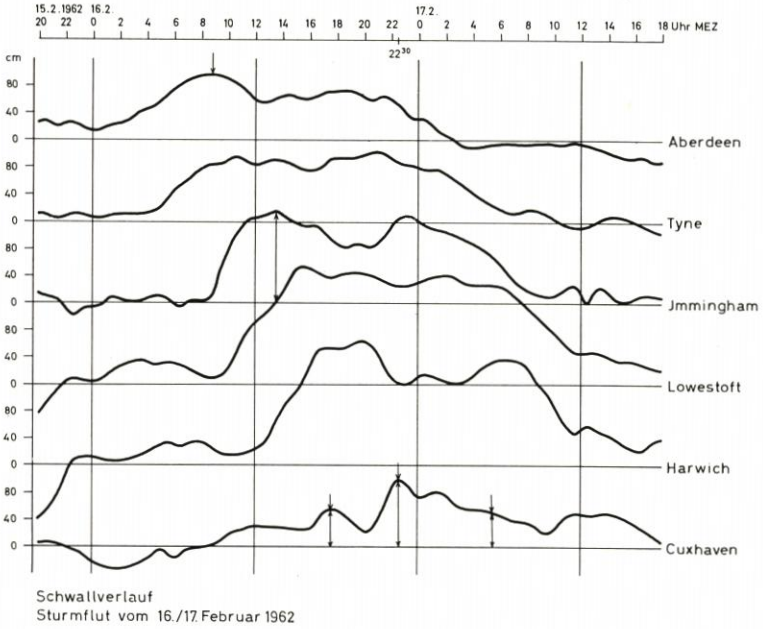


Abb. 9. Schwallverlauf am 16./17. Februar 1962 („external surge" an der englischen Ostküste und Reststau bei Cuxhaven)

Die derzeitige Gezeitenvorausberechnung liefert sehr genaue Höhen- und Zeitangaben für Hoch- und Niedrigwasser. Die bislang benutzten stündlichen Zwischenwerte hingegen werden noch nach einem Verfahren interpoliert, bei welchem Abweichungen der so berechneten stündlichen Zwischenwerte gegenüber den tatsächlichen astronomischen Werten durchaus auftreten können. Diese Abweichungen können naturgemäß nur zwischen den Extremwerten auftreten. Überdies sind sie wegen der stets gleich angewandten Berechnungsmethode oft periodisch. Es ist daher meistens möglich, derartige Abweichungen nachträglich zu eliminieren.

Betrachtet man die Kurvendarstellungen in den Abbildungen 7 und 8, so erkennt man, daß die Hauptursache der Katastrophenwasserstände durch ungünstiges Eintreffen der Schwallerhöhung zur Zeit des Hochwassers begründet werden kann. Die Tideabhängigkeit des Staus läßt eine Abnahme des Windstaus zur Zeit des Hochwassers erwarten. Der Tabellenstau in beiden Abbildungen und der beobachtete Stau in Abbildung 7 zeigen dies deutlich. In der Abbildung 8 steigt der beobachtete Stau dagegen noch an, obwohl die Tabellenstauwerte abnehmen.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Schwallerhöhungen der in den Abbildungen 7 und 8 gezeigten Größe sind selten. Sie treffen überdies nicht nur zur Zeit des Hochwassers, sondern zu jeder Zeit des Tideverlaufs ein. Die ausgeprägte Schwallerhöhung des 16./17. Februar 1962 ist aber wohl, wie man sieht, nicht nur für die extreme Höhe, sondern auch für den verfrühten Eintritt des Hochwassers und auch für das lange Andauern der hohen Wasserstände verantwortlich zu machen. Eine auf diese Weise entstandene füllige Wasserstandskurve an der Küste führte dann zur Aufsteilung der

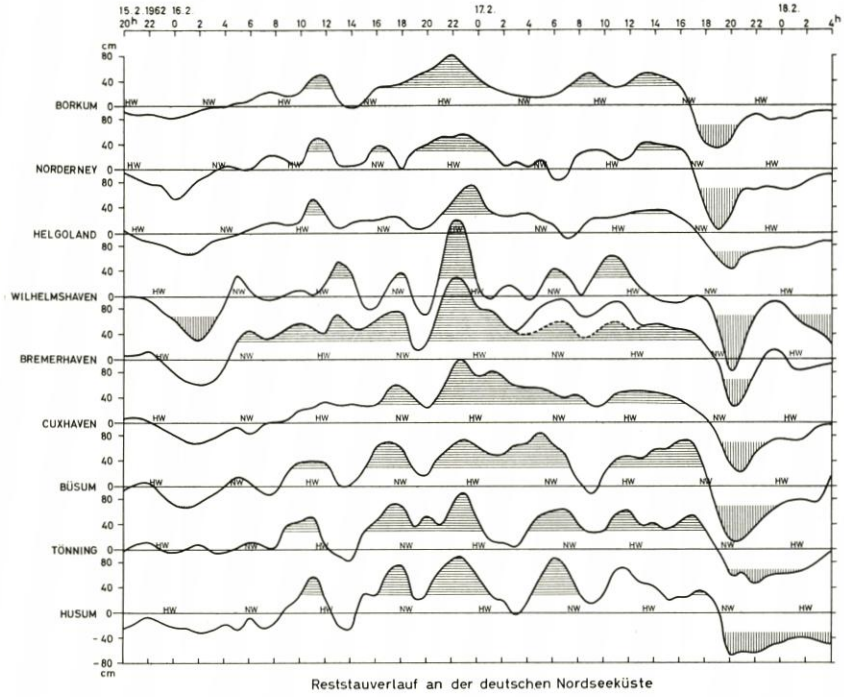


Abb. 10. Reststauverlauf an der deutschen Nordseeküste am 16./17. Februar 1962

Wassermassen zu Höchstwasserständen in den tideabhängigen Flußläufen. In dem trichterförmigen Verlauf der Elbe erreichten die Wasserstände ungeachtet der Deichbrüche eine Höhe von 4,0 m über MThw bei Hamburg, mit einem Maximalwert bei Schulau von 4,3 m über MThw.

Da die statistisch ermittelte Beziehung Windstau/mittlerer Wind über der Deutschen Bucht nur für Cuxhaven gilt, während die übrige deutsche Nordseeküste an Cuxhaven angeschlossen ist, muß noch gezeigt werden, daß neben der guten Übereinstimmung bei Cuxhaven auch an der übrigen Küste die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 hinreichend durch die angewandte Methode erfaßt wurde. Deshalb wurde für neun Meldepegel die stündliche Anschlußberechnung durchgeführt und der verbleibende Reststau ermittelt. Dieser wurde in der Abbildung 10 aufgetragen, und zwar für Borkum, Norderney, Helgoland, Wilhelmshaven, Bremerhaven, Cuxhaven zum Vergleich und für Büsum, Tönning und Husum. Man erkennt in den Hauptschwingungen eine plausible Übereinstimmung aller Meldepegel mit Cuxhaven bis auf Bremerhaven. Dort mußte der Reststau vom 17. Februar 1962 von 3 Uhr bis 13 Uhr reduziert werden (gestrichelte Linie). Das würde bedeuten, daß bei starkem WNW der Tabellenstau zu geringe Werte ergäbe. In der Tat ergibt die Berechnung nach KOOPMANN (1962) für Bremerhaven bei

WNW durch das ausgedehnte Wattenvorland höhere Werte als die nach der Anschlußtabelle von Tomczak (1952) ermittelten Windstauwerte, die der Reststauberechnung von Abbildung 10 zugrunde liegen. In diesem Fall wird man durch neue Korrelation über einen längeren Zeitraum eine Verbesserung erwarten dürfen. Daß die Reststauwerte an den drei Insel-Pegeln wie zu erwarten geringer sind als bei den übrigen, tritt deutlich hervor. Ebenso ist ein Unterschied zwischen ostfriesischer und nordfriesischer Küste zu erkennen. Es darf an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß die gezeigten Reststau-Schwankungen ungewöhnlich groß waren. Sie sind durch den Schwallverlauf, der mit den an der englischen Ostküste beobachteten Erhöhungen in enger Beziehung steht, zu erklären. Zwischen beiden Sturmfluten am 12. und 16./17. Februar 1962 mit ihren Schwallerhöhungen, war der Reststau gering (kleiner als ± 30 cm). Der Stau entsprach also während dieser Zeit den Windstautabellenwerten. Außerdem lagen zwischen beiden Sturmfluten auch Wasserstände, die der Gezeitenvorausberechnung entsprachen. Es ist also mit Sicherheit anzunehmen, daß die Sturmflut vom 12. Februar die vom 16./17. Februar 1962 in keiner Weise beeinflußt hat.

3. Die Ursachen der hohen Wasserstände

Das Wettergeschehen in seiner Gesamtheit ist verantwortlich für die Abweichungen der Wasserstände von dem astronomisch bedingten Gezeitenverlauf. Die Gezeitenvorausberechnung für das fragliche Hochwasser in der Nacht vom 16. zum 17. Februar 1962 an der deutschen Nordseeküste lag etwa 1 dm unter dem mittleren Hochwasser. Man darf also für die extremen Wasserstände jener Nacht nur das Wettergeschehen verantwortlich machen. Will man Maßzahlen oder Vergleichswerte erhalten, die man für jede Art von Abschätzung benötigt, so muß eine Unterteilung des Wettergeschehens nach den im Wasser kenntlich werdenden Auswirkungen vorgenommen werden. In der Arbeit von Koopmann (1962) wurde diese Methode explizit dargelegt. Ein Teilergebnis liegt in Abbildung 8 vor. Will man eine Zerlegung des Hochwasserstandes bei Cuxhaven vornehmen, so kann man zu folgenden Werten kommen. Die Gezeitenvorausberechnung ergab 6,26 m PN, das sind 14 cm unter MThw. Der höchste Stand wurde mit 9,96 m gemessen, das sind 3,56 m über MThw oder 3,70 m über der Vorausberechnung. Man kann annehmen, daß sich diese 3,70 m etwa folgendermaßen zusammensetzen:

	Cuxhaven	übrige Küste
Windstau über der Deutschen Bucht	2,2 m	1,6 bis 2,6 m
Statischer Luftdruck	0,2 m	0,2 m
Böigkeit	0,1 m	0,1 bis 0,2 m
Inhomogenes Windfeld	0,3 m	0,3 m
Schwallerhöhung	0,9 m	0,5 bis 1,2 m
	3,7 m	3,0 bis 3,9 m

Aus dieser Zusammenstellung geht deutlich hervor, daß der Windstauanteil (mittlerer Wind Deutsche Bucht) rund $^2/_3$ des gesamten Staus ausmachte. So wenig ist in der Tat sehr selten. Einen wesentlichen Anteil am Zustandekommen der hohen Wasserstände nimmt die Schwallerhöhung ein, aber auch der Anteil aus dem stärkeren Windfeld über der Nordsee sowie die Böigkeit und der statische Luftdruck müssen berücksichtigt werden; denn erst so kann man den Gesamtstau ermitteln.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

4. Sind höhere Wasserstände denkbar?

Nach der Hollandkatastrophe vom 1. Februar 1953 machte man sich nicht nur in den Niederlanden ernste Gedanken über mutmaßliche Wasserstände, vor denen man sich zu schützen hätte. In Deutschland erstellte die Arbeitsgruppe „Sturmflut vom 1. 2. 1953" des Küstenausschusses Nord- und Ostsee eine Empfehlung, einen „maßgebenden Sturmflutwasserstand" in folgender Weise zu ermitteln: An Pegeln mit ausreichendem Beobachtungszeitraum sollte der bisher größte beobachtete Unterschied zwischen eingetretenem und vorausberechnetem Hochwasserstand zum heute höchstmöglichen astronomischen Hochwasser addiert werden, unter Berücksichtigung des säkularen Anstiegs.

Diese Empfehlung, auf die Werte der Tabelle 1 angewandt, läßt erkennen, daß abgesehen von Bremen und Hamburg der „maßgebende Sturmflutwasserstand" von vor 1962 höher lag, als die Wasserstände der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962.

Es liegt nun die Frage nahe, warum entlang der deutschen Nordseeküste die ermittelten „maßgebenden Sturmflutwasserstände" in keinem Falle erreicht, dagegen im Flußgebiet der Weser und Elbe sogar überschritten wurden, obwohl kein außergewöhnliches Oberwasser dazu beigetragen hat. Eine Antwort ist in dem Verlauf der Sturmflut-Wasserstandskurve zu suchen. Der maximale Stau trat, wie erwähnt, an der Küste nicht zur Zeit des Hochwassers ein. Ein lang anhaltendes Hochwasser war die Folge. Eine derart füllige Wasserstandskurve hat aber eine Aufsteilung in trichterförmigen Flußmündungen zur Folge (Hensen 1955). Bei extremen Wasserständen nimmt man im allgemeinen an, daß die ungünstige Superposition von Ereignissen noch gerade jenen Wasserstand zuwege bringt, also zur Zeit des Hochwassers alle ungünstigen Ereignisse zusammentreffen, daß mithin die stärkste Windwirkung genau auf das astronomische Hochwasser trifft, eine mögliche Schwallerhöhung ebenfalls mit ihrem Maximum zur selben Zeit durchläuft und so fort. Ein derartiges Zusammentreffen würde eine zwar sehr hohe aber magere Wasserstandskurve zur Folge haben, diese aber erbrächte auch in den Flußläufen nur unwesentliche Abweichungen der Wasserstände von denen an der Küste.

Die Fülligkeit der Wasserstandskurve an der deutschen Nordseeküste mit den beobachteten Aufsteilungen der Wasserstände in Weser und Elbe gibt zu denken, zu denken daran, daß ein ungünstigeres Zusammentreffen der an der Wasserstandserhöhung beteiligten Faktoren zu einer zwar mageren, aber im Gipfelpunkt höheren Wasserstandskurve an der Küste hätte führen können. Man erkennt auf diese Betrachtungsweise, daß nicht etwa nur ungünstige Verhältnisse zur Katastrophenhöhe im Elbegebiet führten, sondern daß vielmehr die Küste vor möglichen höheren Wasserständen bewahrt blieb.

Die oben angeführte Empfehlung zur Ermittlung eines „maßgebenden Wasserstandes" würde für Cuxhaven unter sinngemäßer Berücksichtigung der Wasserstände im Elbegebiet ohne säkularen Anstieg und ohne Wellenauflauf 11 m PN oder 6 m über NN ergeben. Ginge man von bekannten Einzelwerten aus (etwa: $3^1/_2$ m für den Windstau bei Cuxhaven, da äquivalente Werte beobachtet sind; 1 m für Schwallerhöhung bei Thw; für die Gezeit $^1/_2$ m über MThw; „freie Wellen", durch Luftdruckschwankungen in Resonanz erzeugt, sind bei Thw mit $^3/_4$ m bei Tnw sogar mit $1^3/_4$ m beobachtet; hinzu käme der statische Luftdruck, die Böigkeit usw.), so würden alle Faktoren zusammengenommen den Wert von 11 m PN überschreiten. Es ist aber bestimmt nicht richtig, wollte man einen höchstmöglichen Wasserstand durch Superposition aller bekannten und denkbaren Einzelergebnisse definieren, denn alle Erscheinungen beeinflussen einander. Die Gezeitenwelle, die durch die Vorausberechnung gegeben ist, gilt streng nur für die Bedingungen hinsichtlich der Wassertiefe, der mittleren jahreszeitlichen Verhältnisse usw., für die sie berechnet ist. Von den Schwallerhöhungen in der Deutschen Bucht und den „freien Wellen" ist die Abhängigkeit von der Tide bekannt. Überdies reicht das Beobachtungsmaterial

nicht aus, um extreme meteorologische Verhältnisse auszuweisen. Es wird deshalb das beste sein, weiterhin mit einem „gut denkbaren Wasserstand" zu rechnen und zu überlegen, was man schützen will und welchen Aufwand man für vertretbar hält. Es wäre aber falsch, den Küstenanwohner in Sicherheit zu wiegen, denn man muß sich bewußt bleiben, daß jede Sturmflut unbekannte Gefahren in sich bergen kann.

5. Schriftenverzeichnis

1. Deutsches Hydrographisches Institut: Gezeitentafeln für das Jahr 1962. Band 1, Europäische Gewässer. Hamburg 1961.
2. Hensen, W.: Stromregelungen, Hafenbauten, Sturmfluten in der Elbe und ihr Einfluß auf den Tideablauf. Hamburg, Großstadt und Welthafen. Ferdinand Hirt. Kiel 1955.
3. Hensen, W.: Gedanken über den Deichbau. Hansa 99, Nr. 13, 1962.
4. Hundt, C.: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste 3, H. 1/2, 1955.
5. Koopmann, G.: Wasserstandserhöhungen in der Deutschen Bucht infolge von Schwingungen und Schwallerscheinungen, angewandt auf die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962. Dtsch. Hydrogr. Z. 15, H. 5, 1962.
6. Küstenausschuss Nord- und Ostsee: Stellungnahme des Küstenausschusses Nord- und Ostsee, Untergruppe „Sturmflut vom 1. Februar 1953" zu Anfragen der Landesregierung Schleswig-Holsteins und Niedersachsens, betr. Sturmflutuntersuchungen. Kiel 11. 3. 1954. (Arch. Landesst. Gewässerkunde Kiel, unveröffentlicht.)
7. Rodewald, M.: Zur Entstehungsgeschichte der Sturmflutwetterlagen in der Nordsee im Februar 1962. Die Küste 10, H. 2, 1962.
8. Roediger, G.: Meteorologische Betrachtungen zur Hamburger Sturmflutkatastrophe vom 16./17. Februar 1962. Naturwiss. Rdsch. 15, H. 7, 1962.
9. Tomczak, G.: Der Einfluß der Küstengestalt und des vorgelagerten Meeresbodens auf den windbedingten Anstau des Wassers an der deutschen Nordseeküste zwischen Ems und Elbe. Dtsch. Hydrogr. Z. 5, H. 5/6, 1952.
10. Tomczak, G.: Was lehrt uns die Holland-Sturmflut 1953? Die Küste 3, H. 1/2, 1955.
11. Tomczak, G.: Über die Genauigkeit der Sturmflutvorhersage für die deutsche Nordseeküste. Dtsch. Hydrogr. Z. 13, H. 1, 1960.
12. Wemelsfelder, P. J.: Wetmatigheden in het optreden van stormvloeden. De Ingenieur 54, H. 9, 1939.
13. Woebcken, C.: Deiche und Sturmfluten an der Nordseeküste. Friesen Verlag. Bremen-Wilhelmshaven 1924.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Betrachtungen zu den Höhen der Deiche an Elbe und Weser

Von Wilhelm Klinge

Inhalt

I. Teil: Die Sicherheit der Deiche im Bezirk Stade
1. Verdichtung des Untergrundes 71
2. Abtrag der Deiche durch Niederschläge und Beweidung durch Großvieh . . 72
3. Veränderung der Wasserstände 72
II. Teil: Folgerungen aus der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962
1. Der Einfluß des Oberwassers der Elbe 78
2. Die Dauer der Sturmflutwasserstände bei Cuxhaven 78
3. Die Entlastung durch Deichbrüche 79
4. Die Windrichtung 79
5. Der Querschnitt 80
Schriftenverzeichnis 85

Vorbemerkung: Der erste Teil des nachfolgenden Aufsatzes über die Sicherheit der Deiche im Bezirk Stade ist im Jahre 1952 geschrieben worden. Der zweite Teil zieht einige Folgerungen aus der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962.

I. Teil: Die Sicherheit der Deiche im Bezirk Stade

Seitdem vor etwa 9000 Jahren das Diluvium an der Nordseeküste im Meere zu versinken begann, ist eine Besiedlung der jetzigen See- und Flußmarschen in dem Raume zwischen Niederelbe und Niederweser erst zu Beginn unserer Zeitrechnung möglich geworden, als diese Gebiete für die kurze Dauer einiger Jahrhunderte nicht mehr von den Nordseefluten überspült wurden. Diese Siedlungen, die bei Barnkrug und Ritsch im Lande Kehdingen zu ebener Erde nachgewiesen sind, bestanden nur zwei bis vier Jahrhunderte, ehe sie aufgegeben oder erhöht werden mußten, weil die Wasserstände schnell anstiegen.

Nicht alle Siedlungen wurden verlassen. Eine Anzahl blieb, deren Bewohner den Kampf mit dem Wasser aufnahmen, einen Kampf, der seitdem nicht mehr aufgehört hat und der den Marschbewohnern zur Gewohnheit wurde. So wurden die Wurten laufend um Maße von 20 bis 80 cm und mehr erhöht und ebenso die seit dem 8. Jahrhundert entstehenden Deiche. Wenn man jetzt eine Wurt aufgräbt oder einen Deich, dann zeichnen sich die Schichten der Erhöhungen dem Auge sichtbar ab.

Die erste Besiedlung scheint von Westen aus dem Gebiet der Niederlande über Ostfriesland und Oldenburg Schule gemacht zu haben. Jedenfalls wurden die Marschengebiete an der Niederweser und Niederelbe zuletzt besiedelt. Die zweite, umfangreichere Besiedlung im 12. und 13. Jahrhundert wurde von Holländern eingeleitet, die bei dem Bischof von Bremen erschienen und einen Siedlervertrag abschlossen. Durch die geistlichen und weltlichen Herren jener Zeit begünstigt, strömten immer mehr Holländer in die Marschengebiete an Elbe und Weser, die durch umfangreiche Deichbauten das Land vor Überschwemmungen schützten. Aber die Deiche waren den Naturgewalten selten gewachsen. Kaum eine Generation ist seit jener Zeit von hohen Sturmfluten, verbunden mit Deichbrüchen, verschont geblieben. Nach jeder schweren Flut mußten die Deiche ausgebessert und vor allem verstärkt werden. Von diesen Fluten,

die in der Erinnerung der Marschbewohner nachleben und in zahlreichen Chroniken beschrieben sind, seien die wichtigsten angeführt:

17. Februar	1164	Julianenflut, die „Große Manntränke“
28. Dezember	1248	Allerkindleinsflut
16. Januar	1362	Marcellusflut, Zerstörung von Rungholt
21. November	1412	Cäcilienflut
6. Januar	1470	Heilige Dreikönigsflut
15. Oktober	1570	Allerheiligenflut
15. Januar	1643	
24./25. Dezember	1717	Weihnachtsflut
7. Oktober	1756	Markusflut
2./4. Februar	1825	

Zwischen diesen Hauptdaten hat sich eine große Anzahl Sturmfluten ereignet, die gleichfalls Deichbrüche und Überschwemmungen zur Folge hatten. Seit dem Jahre 1825 aber

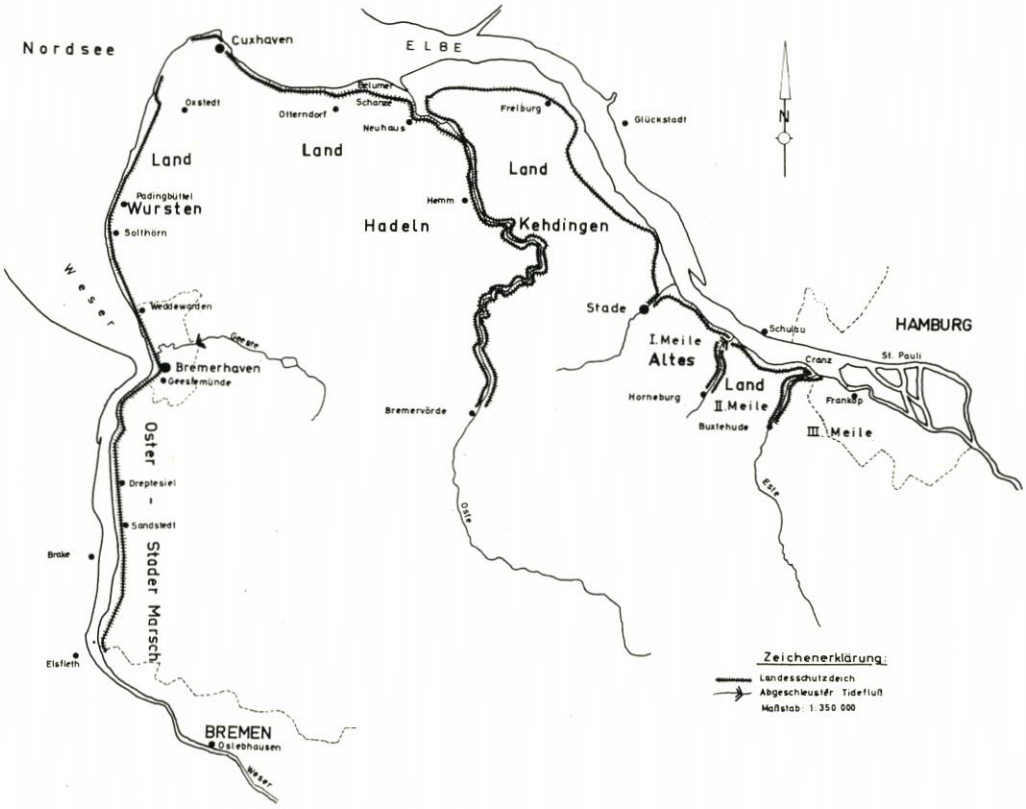


Abb. 1. Übersichtskarte

sind Katastrophen, wie sie die vorstehende Liste aufzeichnet, nicht wieder vorgekommen. 1825 wurde der bisher bekannte Höchststand erreicht, der an die Höchststände an der schleswig-holsteinschen Westküste und in Ostfriesland heranreicht bzw. sie übertrifft.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Der Stader Bezirk ist zweifellos dann besonders gefährdet, wenn nach Sturm aus West der Wind nach Nordwest dreht und die Wassermassen in die Mündungen der Elbe und Weser hineingestaut werden. Die Deiche aber liegen fast ausnahmslos niedriger als die der Nachbarbezirke. Die Ley-Bucht wird auf + 7,0 m NN eingedeicht, und die Höhe der Deiche an den Kögen östlich der Elbemündung liegt auf + 7,50 m NN. Die 7-m-Grenze wird aber von den Stader Deichen nur bei Cuxhaven (Döserdeich) und auf kurzer Strecke am Wurster Deich erreicht. Im allgemeinen liegt die Höhe der Deiche bei + 6,0 m NN.

Nach den Zerstörungen des Jahres 1825 wurde überall an den Deichen gearbeitet. Die Schadenstellen wurden ausgebessert, Verstärkungen und auch Neuverlegungen wurden durchgeführt. Im Lande Wursten haben diese Arbeiten bis zum Jahre 1849 gedauert. Fast überall wurde das Profil durch Abflachung der Außenböschungen verbessert, und an gefährdeten Schardeichstrecken wurden die Böschungen gepflastert. Die Aufwendungen und Anstrengungen der Marschbewohner waren ganz erheblich, und es ist nicht verwunderlich, wenn sie hinterher stolz auf ihr Werk waren und wenn das Gefühl neuer Geborgenheit sich bis auf den heutigen Tag erhalten hat, zumal die Deiche nunmehr allen Angriffen standgehalten haben, ohne daß es in den Hauptdeichen an Weser und Elbe zu Brüchen gekommen ist. Allerdings sind auch keine Sturmfluten mehr eingetreten, die nach Höhe und Dauer an das Hochwasser von 1825 heranreichten. Diese Flut erreichte bei Glückstadt mit + 5,52 m NN den höchsten Wasserstand, der auf der Stader Seite in Neuhaus mit + 5,25 m NN gemessen wurde. Über die verschiedenen Höhen der Flut gibt die folgende Tabelle Aufschluß.

Tabelle 1

Ort	Sturmflut 1825 in Höhen über NN
Cuxhaven	+ 4,66 m
Neuhaus	+ 5,25 m
Glückstadt	+ 5,52 m
Stade	+ 5,10 m
Hamburg (St. Pauli)	+ 5,24 m

Über das Auflaufen dieser Flut am Wurster Seedeich sind keine Aufzeichnungen vorhanden. In Bremerhaven wurden + 4,98 m NN und in Geestemünde + 5,02 m NN gemessen. Man kann demnach mit rund + 4,80 m NN als HHThw vor dem Wurster Deich rechnen, da die Höhe des Wasserstandes in Richtung See (Cuxhaven) abnimmt. Die Höhen des Wurster Deiches betragen beim Oxstedter Bach + 6,11 m NN, bei Padingbüttel + 7,36 m NN und bei Weddewarden + 6,30 m NN (Sollhöhe + 6,64 m NN). Die Höhe der Deiche in der Osterstader Marsch liegt etwa auf + 6,0 m NN.

Die Sollhöhen der Deiche werden durchweg nicht mehr erreicht. Neuere Nivellements haben ergeben, daß die Höhen um mehrere Dezimeter unterschritten werden. Im Durchschnitt beträgt das Maß rund 0,30 m. An einigen Stellen wurden Fehlbeträge von 0,50 m festgestellt. Demnach haben sich die Deiche seit ihrer letzten Verstärkung gesetzt.

Die Gründe hierfür sind folgende:

1. Verdichtung des Untergrundes

Die Deiche sind nicht überall auf einer genügend starken Schicht von fest gelagertem, sandigem Klei gegründet, sondern es sind moorige und anmoorige Schichten zwischengelagert,

ehe in Tiefen von bis zu 20 m die festen Talsande erreicht werden. Während durch diese Gestaltung des Untergrundes schon ein allmähliches Sacken möglich ist, führen oft äußere Kräfte zu einer plötzlichen Gleichgewichtsstörung, verbunden mit einem Absinken des Deiches. So rutschte im Jahre 1941 der Ostedeich bei Hemm um etwa 1 m, als durch langanhaltende Ostwinde ein außergewöhnlich tiefer Wasserstand in der Oste den Auftrieb verringerte.

Auch Stellen, an denen der Deich frühere Geländemulden oder alte Mündungsarme von Binnenvorflutern kreuzt — es gibt deren viele —, sind Gefahrenpunkte. Bei dem Neubau des Drepte-Sieles im Jahre 1950 in der Osterstader Marsch wurde im Außendeich eine größere Kippe aufgefahren, von der eine Hälfte plötzlich um etwa 1½ m absackte, ohne daß irgendein Auftreiben von verdrängtem Boden festgestellt werden konnte. Durch Zufall ist an dieser Stelle somit eine wichtige Sicherung des Deiches durchgeführt worden.

2. Abtrag der Deiche durch Niederschläge und Beweidung durch Großvieh

Der Einfluß des Regens auf die Deiche, insbesondere von Platzregen, ist im allgemeinen gering. Dennoch findet ein gewisser Abtrag statt, vor allem da, wo keine oder keine gute Grasnarbe vorhanden ist, besonders in bebauten Gebieten.

Im Stader Bezirk ist die Beweidung der Deiche mit Großvieh durchweg üblich geworden, wenn auch versucht worden ist, durch deichbehördliche Verfügungen eine Änderung herbeizuführen. Seitens der Beteiligten wird ausgeführt, daß die Deiche sehr fest würden, und daß die Grasnarbe trotz auftretender Zerstörungen wieder durchwächst. Das mag für Deiche mit flacher Böschung zutreffen. Es stimmt aber niemals für die steile Innenböschung — meist 1 : 1½ — und außerdem nicht bei Regenwetter.

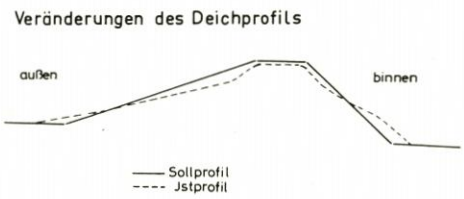


Abb. 2

Die in der Abbildung 2 angedeutete Veränderung des Deichprofils ist in erster Linie auf die Beweidung durch Großvieh zurückzuführen. Das Vieh tritt die Deicherde nach unten, und leider kann man die skizzierte Profiländerung sehr häufig antreffen. Es braucht nicht näher begründet zu werden, daß das veränderte Profil nicht die Wehrfestigkeit aufweist wie das Soll-Profil.

3. Veränderung der Wasserstände

Wenn festzustellen ist, daß die Deiche an Höhe verloren haben, so kann dieselbe Erscheinung hinsichtlich der Höhe der Sturmfluten nicht nachgewiesen werden. Hier ist es leider umgekehrt, und zwar muß mit einem höheren Auflaufen der Sturmfluten gerechnet werden. Drei Erscheinungen sind es, die hierbei eine Rolle spielen, und zwar:

1. die Abdämmung der Tideflüsse
2. das höhere Auflaufen, wenn die bisherigen Entlastungen durch Deichbrüche fortfallen und
3. die Küstensenkung bzw. Wasserstandshebung.

In den nachfolgenden Überlegungen zur Errechnung der möglichen Hochwasserstände wird von den Ordinaten der Flut vom 2./4. Februar 1825 ausgegangen und versucht festzustellen, welche Wasserstände dieselbe Flut in 73 Jahren, also im Jahre 2025, erreichen würde.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Es bleibt somit die Frage unberücksichtigt, ob noch höhere Fluten möglich sind, wie sie SCHELLING (1952) für die schleswig-holsteinische Westküste wahrscheinlich macht. Weiterhin bleibt der Einfluß der umfangreichen Flußbauten an Elbe und Weser außer Betracht. Die hier ermittelten Werte brauchen somit nicht die höchstmöglichen darzustellen, sondern es ist anzunehmen, daß die Werte der Februar-Flut von 1825 noch etwas überschritten werden können, wodurch sich die ermittelten Ordinaten weiter erhöhen würden.

Zu 1. Der Einfluß von Tideflußabdämmungen auf den Hochwasserstand in Weser und Elbe ist bisher unbedeutend. Die Schiffdorfer Schleuse an der Geeste stellt wegen der zu geringen Höhen der Geestedeiche keine vollständige Abdämmung dar. Lediglich an der Lühe ist eine Abschleusung durchgeführt worden, die den Wasserlauf gegen jede Sturmflut sichert. Der Einfluß dieser Sperre auf die Hochwasserstände in der Elbe ist ebenso wie der Wert für eine etwaige Abschleusung der Este erstens gering und zweitens in den nachfolgenden Werten zu 2 mit erfaßt. Dagegen dürfte die geplante Abschleusung der Oste sich im Mündungsbereiche auf die Elbdeiche auswirken. Der Wert soll zu 10 cm angenommen werden, wobei die Ergebnisse der Modellversuche für die Abschleusung der Leda und Jümme als Anhalt dienen.

Die Abschleusung der Oste ist nach Ansicht des Verfassers zwingend, wenn bei einer Sturmflut von den Ausmaßen des Jahres 1825 eine Katastrophe in der Ostemarsch und der Stadt Bremervörde vermieden werden soll.

Ähnlich liegen die Verhältnisse an der Este und für die Stadt Buxtehude. Der Plan einer Abschleusung ist hier jedoch bisher noch nicht weiter verfolgt worden. Der Abschleusung gebührt aber auch hier der Vorrang vor der Deichverstärkung, weil die zu verlangende Sicherheit für die II. Meile und die Stadt Buxtehude schwer zu erreichen ist und wahrscheinlich auch kostspieliger wird.

Zu 2. Bisher hat jede außergewöhnliche Sturmflut weite Überschwemmungen der Marschen zur Folge gehabt. Im Februar 1825 ereigneten sich weit über hundert Deichbrüche, und kein Gebiet der Stader Fluß- und Seemarschen blieb von der Katastrophe verschont. HUGO LENTZ*) hat ausgerechnet, daß die Flut in Hamburg um 0,30 bis 0,50 m höher aufgelaufen wäre, wenn keine Entlastung durch Deichbrüche stattgefunden hätte. Dieser Einfluß wird keine wesentliche Rolle spielen in den Räumen von Cuxhaven bis Nordkehdingen und vor Land Wursten. Er wächst aber an, je weiter die Deiche stromaufwärts liegen. Hierüber gibt die nachfolgende Tabelle 2 einen gewissen Aufschluß.

Tabelle 2

Datum	Pegel Cuxhaven m über NN	Pegel St. Pauli m über NN	Differenz St. Pauli Cuxhaven	Bemerkungen
4. 2. 1825	4,66	5,24	0,58 m	
21. 10. 1845	4,18	4,96	0,78 m	keine Deichbrüche an Elbe und Weser
9. 4. 1847	3,87	4,83	0,96 m	
2. 1. 1855	4,16	5,11	0,95 m	

Aus dieser Tabelle lassen sich keine exakten Werte herleiten; sie zeigt jedoch, daß der Unterschied zwischen den Pegeln St. Pauli und Cuxhaven bei den größeren Fluten von 1825 bis 1855 (vor der Elbekorrektion) angewachsen ist, und zwar bis zu 38 cm. Hinzu kommt, daß im Jahre 1825 der ganze Anstau auf die Strecke Cuxhaven—Neuhaus entfällt. Es erscheint deshalb bei vorsichtiger Schätzung angezeigt, den Wert der Entlastung durch die Deichbrüche des Jahres 1825 an der Elbe im Bereiche der Ostemündung mit null anzusetzen und

*) Vgl. Die Küste 9, 1961, S. 124—125.

ihn bis zum Alten Lande auf 0,30 m anwachsen zu lassen. An den Tideflüssen wie Este und Oste erhöht sich dieser Wert ganz zweifellos. Einmal geht das schon aus den bisherigen Pegelaufzeichnungen hervor, zum anderen wird diese Annahme erhärtet durch Berechnungen, die gegenwärtig für die Verlegung der Geesteabschleusung von Schiffdorf nach Bremerhaven durchgeführt werden, wonach der Wert der Hochwasserentlastung durch das Überlaufen der Geestedeiche oberhalb Bremerhaven für die Stadt 0,80 m betragen soll. Somit dürfte es nicht zu hoch gewertet sein, wenn die bisherige Deichbruchentlastung bis auf 0,50 m ansteigend an den Tideflüssen in Rechnung gestellt wird. Die Deiche an der Oste und Este laufen aber schon über, ehe dieser Wert erreicht wird, wie die Tabelle 5 für die Este zeigt. Für die viel zu niedrigen und schwachen Deiche an der Geeste oberhalb Bremerhaven und Oste oberhalb Hechthausen braucht auf diese Wasserstandserhöhungen nicht weiter eingegangen zu werden, da die Deiche schon bei geringeren Fluten überlaufen.

Im Bereich der Osterstader Marsch fehlen leider die Ordinaten der Sturmflut vom Februar 1825. Die erste vollständige Aufzeichnung einer größeren Flut liegt aus dem Jahre 1855 vor und ist in der Tabelle 3 zusammen mit der Flut vom 13. März 1906 wiedergegeben.

Tabelle 3

Pegel	2./4. Februar 1825 m über NN	1. Januar 1855*) m über NN	13. März 1906 m über NN
Bremerhaven	+ 4,98	—	+ 4,90
Geestemünde	+ 5,02	+ 4,55	+ 4,80
Sandstedt	—	—	+ 4,76
Brake	—	+ 4,87	+ 4,68
Vegesack	—	+ 5,17	+ 4,18
Oslebshausen	—	+ 5,60	—
Bremen	—	—	+ 4,55

*) Die Weser führte Hochwasser.

Aus dieser Tabelle folgt, daß die Flut vom 1. Januar 1855, die in Geestemünde um 47 cm geringer auflief als die von 1825, in Richtung Bremen steigende Werte aufweist. Dagegen fällt die Flut vom 13. März 1906 bis Vegesack hier um 62 cm ab. Maßgeblich für dieses verschiedene Auflaufen ist einmal die Dauer der Flut und zum anderen der Einfluß des Oberwassers. Wenn eine Hochflut bei Bremerhaven für die kurze Dauer eines Tidehochwassers aufläuft und dann gleich wieder abebbt, wird ein solches Hochwasser zur Osterstader Marsch hin wahrscheinlich abflachen. Aber vom Februar 1825 wissen wir, daß die Dauer des Hochwassers sich auf nahezu drei Tage erstreckt hat. Es erscheint demzufolge begründet, die Höhe dieser Sturmflut in der Osterstader Marsch mit derselben Ordinate wie in Bremerhaven, also zu rund + 5,0 m NN, anzunehmen.

Zu 3. Wenn die Angaben von Schütte (1935) zutreffen, dann beträgt der Wasserstandsanstieg seit 200 v. Chr. 5,40 m (Vierte Senkung), d. h. etwa 25 cm in einem Jahrhundert. Wenn auch diese einfache Rechnung bedenklich ist, so trifft dieses Maß doch nahezu mit den Messungen am Pegel Cuxhaven überein, wie die nachfolgende Tabelle 4 zeigt.

Nach dieser Tabelle ist MThw in Cuxhaven stetig um insgesamt 0,24 m angestiegen, somit seit 1825 um 0,30 m. Der Anstieg von MTnw ist mit 0,16 m um 8 cm geringer. Maßgeblich für das Auflaufen der Sturmfluten ist aber MThw, und es kann gefolgert werden, daß die Sturmflut von 1825 heute in Cuxhaven einen um 0,30 m höheren Wasserstand erreichen würde. Berücksichtigt man das Setzen der Deiche um durchschnittlich 0,30 m, so ergibt sich

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Tabelle 4

Ort	10jähriges Mittel 1850			10jähriges Mittel 1900			10jähriges Mittel 1950*)		
	MThw	MTnw	Tidehub	MThw	MTnw	Tidehub	MThw	MTnw	Tidehub
Cuxhaven	+ 1,14	— 1,68	2,82 m	+ 1,26	— 1,60	2,86 m	+ 1,38	— 1,52	2,90 m
Hamburg	+ 1,62	— 0,17	1,79 m	+ 1,63	— 0,35	1,98 m	+ 1,65	— 0,70	2,35 m

*) Liegt wegen der fehlenden Werte bis 1955 noch nicht vollständig vor.

eine Verschlechterung der Deichsicherheit um 0,60 m. Allein dieser rohe Überschlag zeigt, wie wichtig es ist, die Frage der Deichsicherheit zu erörtern.

Der Pegel Hamburg zeigt eine ganz andere Entwicklung als der Pegel Cuxhaven. MThw ist nur um 3 cm angestiegen und MTnw sogar um 53 cm gefallen. Diese Erscheinung ist zweifellos auf die Flußbauten zurückzuführen, welche die Wasserstraße den größeren Seeschiffen anpassen sollten. Bei Sturmflut jedoch muß man auch für Hamburg die in Cuxhaven beobachtete Wasserstandshebung in Rechnung stellen, wobei ein geringer Abfall des Wertes von Freiburg bis Cranz im Stader Bezirk gerechtfertigt sein dürfte.

Sofern sich die Notwendigkeit ergeben sollte, planmäßig an eine Erhöhung der Deiche heranzugehen, genügt es nicht, den heutigen Stand der Tideverhältnisse zugrunde zu legen, sondern es dürfte unzweifelhaft die Entwicklung der Zukunft zu berücksichtigen sein. Es sollen hier deshalb Werte angenommen werden, wie sie für das Jahr 2025, also in 73 Jahren, zu erwarten sind. Die Zeitspanne von 1825 an beträgt dann 200 Jahre und der Wasserstandsanstieg unter der Voraussetzung einer gleichbleibenden Entwicklung 48 cm in Cuxhaven = rund 0,50 m. Dieser Wert wird in Rechnung gestellt an der Elbe von Cuxhaven bis Nordkehdingen und an der Weser bis Bremerhaven. In der Osterstader Marsch soll er auf 0,40 m verringert werden, desgleichen für das Alte Land.

Zusammenfassend ergeben sich aus allen drei Erscheinungen, nämlich der Abdämmung von Tideflüssen, der fehlenden Entlastung durch Deichbrüche und der Wasserstandshebung, Werte, die auf die Ordinate der Hochflut vom Februar 1825 aufzuschlagen sind, um festzustellen, bis zu welcher Höhe eine gleiche Sturmflut jetzt oder in nicht ferner Zukunft auflaufen würde. Die nachstehende Tabelle 5 ist auf das Jahr 2025, also auf 73 Jahre im voraus abgestimmt worden. Wenn auch in den ermittelten Werten einige Annahmen enthalten sind, so sind die Schätzungen doch so vorgenommen worden, daß eingehende Berechnungen oder Modellversuche vermutlich keine geringeren Werte zeitigen werden. Die Werte liegen auch unter den möglichen Sturmfluthöhen, die NÖTHLICH (1949) mit 3,80 m über MThw für Cuxhaven und 4,50 m über MThw für Hamburg angibt. Hiernach würden sich die Werte der Tabelle 5 für Cuxhaven auf + 5,36 m NN und für Hamburg (Altes Land) auf + 6,15 m NN, also um 0,20 m bzw. 0,35 m erhöhen. NÖTHLICH gibt damit für die Elbemündung gleichfalls etwas höhere Werte als die bisher erreichten an wie SCHELLING (1952) für die Westküste Schleswig-Holsteins.

Aus Tabelle 5 kann also gefolgert werden, daß die Höhe der Deiche um die + 7,0 m-NN-Grenze liegen muß, so daß auch die Stader Deiche an die neuen Deichhöhen der Nachbarbezirke herankommen. Nur für geschützte Deiche in Kehdingen und im Alten Lande sind noch Höhen unter + 7,0 m NN als ausreichend anzusehen. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß zu Anfang des achtzehnten wie auch des neunzehnten Jahrhunderts umfangreiche Deicharbeiten erforderlich waren, so ergibt sich aus der Tabelle 5, daß auch das zwanzigste Jahrhundert nicht vergehen wird, ohne daß an den Deichen wieder Arbeiten größeren Ausmaßes ausgeführt werden müssen.

Tabelle 5

Deich	Wasserstand der Flut vom 2./4. Februar 1825 in m NN	Zuschlag für a) Küstensenkung*) b) Fehlende Entlastung durch Deichbrüche c) Abschleusungen v. Tideflüssen in m	Zu erwartender Wasserstand der Flut v. 2./4. Februar 1825 im Jahre 2025 in m NN	Zuschlag für Deichkrone (Wellenschlag) a) windgeschützt b) windgefährdet in m	Sollhöhe der Deiche im Jahre 2025 in m NN	Isthöhe der Deiche im Jahre 1952 in m NN	Bemerkungen
Weserdeich in der Osterstader Marsch	+ 5,00	a) 0,40 b) 0,20	+ 5,60	b) 1,50	+ 7,10	+ 6,00	Jetzige Sollhöhe 6,31, Isthöhe schwankt zwischen 5,95 und 6,10
Wurster Seedeich bei Solthörn	+ 4,80	a) 0,50	+ 5,30	b) 2,00	+ 7,30	+ 7,30	
bei Weddewarden	+ 5,00	a) 0,50	+ 5,50	b) 1,80	+ 7,30	+ 6,30	
Döser Deich (Cuxhaven)	+ 4,66	a) 0,50	+ 5,16	b) 2,00	+ 7,20	+ 7,00	
Hadelner Deich	+ 5,25	a) 0,50 c) 0,10	+ 5,85	a) 1,15 b) 1,65	a) + 7,00 b) + 7,50	a) + 5,80 bis 6,20 b) + 6,50	Die Oste-Abschleusung ist zwingend
Kehdinger Elb-Deich	+ 5,15	a) 0,45 b) 0,10	+ 5,70	a) 1,00 b) 1,30	a) + 6,70 b) + 7,00	+ 6,00	Weites Vorland mit Sommerdeich
Altländer Elb-Deich	+ 5,10	a) 0,40 b) 0,30	+ 5,80	a) 1,00 b) 1,50	a) + 6,80 b) + 7,30	+ 5,80 bis + 6,50	Zuschlag für Abschleusung der Este nicht erforderlich
Este-Deich bei Buxtehude	+ 4,57	a) 0,40 b) 0,50	+ 5,47	a) 0,80	+ 6,30	5,10	Deich läuft über Die Este-Abschleusung ist zwingend

*) bzw. Wasserstandshebung.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

II. Teil: Folgerungen aus der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962

Die Februarsturmflut 1962 hat den Windstau vom 3./4. Februar 1825 an der Küste bei Cuxhaven praktisch erreicht[1]). Sie erfüllt damit die Voraussetzung, unter der die Werte der Tabelle 5 ermittelt wurden. Ein Vergleich mit den Wasserständen der Februarsturmflut 1962 in den Tideströmen Elbe und Weser ist deshalb möglich und wertvoll.

Bisher sind die maßgeblichen Wasserstände für die Bestimmung der Deichhöhen im Tidebereich der Elbe und Weser — soweit überhaupt — nach den bekannten höchsten Wasserständen festgesetzt worden. Die Februarsturmflut 1825 spielt hierbei eine vorherrschende Rolle. Wir wissen aber, daß Fluten mit gleich hohem Windstau von See her ganz verschieden in den Tideströmen bis nach Hamburg und Bremen auflaufen. Die Unsicherheit, die hieraus folgt, ist um so beunruhigender, als der Kenntnis der maßgebenden Wasserstände an den Tideströmen eine größere Bedeutung zukommt als den Wasserständen an der Küste. Abgesehen davon, daß die Seewasserstände sowieso besser übersehen und beurteilt werden, kommen für die Bemessung der Seedeiche erhebliche Beträge für den Wellenauflauf und eine zusätzliche Sicherheit hinzu. Diese Beträge sind so groß, daß geringfügige Unterschiede zwischen den angenommenen und den eingetretenen Wasserständen keine große Rolle spielen. An den Stromdeichen ist das anders. Die Werte für den Wellenauflauf und die Sicherheit werden wesentlich geringer — z. B. nach den alten Deich- und Sielordnungen insgesamt etwa 60 cm — und schränken somit den Spielraum für die Werte der Wasserstände ein. Das heißt, daß es bei der Ermittlung der maßgeblichen Wasserstände auf genaue Werte ankommt. Der Vergleich der Scheitelwasserstände vom 16./17. Februar 1962 mit den Werten der Tabelle 5 führt in dieser Richtung etwas weiter.

Die Tabelle 5 ist für das Jahr 2025 aufgestellt worden und enthält unter der Voraussetzung eines säkularen Wasserstandsanstiegs von 25 cm bei Cuxhaven noch eine Sicherheit von 15 cm. Zieht man diesen Betrag ab, dann erhält man die Werte für 1962, die mit den gemessenen der Februarsturmflut dieses Jahres weitgehend übereinstimmen. An den Weserpegeln wurden die folgenden Wasserstände gemessen:

Tabelle 6

Pegel	Wasserstand m NN
Bremerhaven	+ 5,35
Nordenham	+ 5,17
Brake	+ 5,29
Elsfleth	+ 5,23
Oslebshausen	+ 5,35
Bremen	+ 5,41

Der Wert für Bremerhaven (+ 5,50 — 0,15) wurde bestätigt; in der Osterstader Marsch dagegen liegt die Februarsturmflut 1962 am Pegel Brake um 16 cm niedriger. Wahrscheinlich trifft die Annahme, daß die Sturmflut 1825 in der Osterstader Marsch auf die Ordinate + 5,0 m NN aufgelaufen ist, nicht ganz zu. Weiter oberhalb sind wegen des steigenden Einflusses des Oberwassers der Weser andere Überlegungen maßgeblich.

Ein Vergleich mit den Wasserständen, die im Franzius-Institut der Technischen Hoch-

[1]) Der Windstau vom Februar 1825 ist für Cuxhaven nicht genau bekannt. Der für die Küste allgemein angegebene Wert von 3,50 m scheint zu gering zu sein. Aus den Zahlen zu diesem Aufsatz errechnet sich der Windstau zu 3,58 m.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

schule Hannover als maßgeblich für die Weser ermittelt wurden, zeigt eine genaue Übereinstimmung für Bremerhaven. Für den Pegel Brake liegt der Wert des Instituts um 13 cm höher[2]) als der in der Tabelle 5 für die Osterstader Marsch errechnete.

An der Elbe sind die Werte der Tabelle 5 für Cuxhaven ebenfalls bestätigt worden; am Hadelner Deich wurden sie um 55 cm unterschritten. Erst vor dem Kehdinger Deich wurden die Tabellenwerte bei Glückstadt erreicht, um dann aber auf der Höhe von Schulau um 25 cm höher zu liegen (hierbei ist die Entlastung durch Deichbrüche bei der Februarsturmflut 1962 mit 15 cm angesetzt worden. Die an den Pegeln gemessenen Wasserstände zeigt die Tabelle 7). Die Abweichungen der Tabelle 7 zu den Werten der Tabelle 5 können verschiedene Ursachen haben, die kurz nacheinander betrachtet sein sollen.

1. Der Einfluß des Oberwassers der Elbe

Zur Zeit der Februarsturmflut 1962 flossen in der Elbe 1050 m³/s ab (mittlerer Abfluß rund 735 m³/s). Aber auch im Februar 1825 scheint ein nicht unbeträchtliches Oberwasser geflossen zu sein, wie die von St. Pauli bis Bunthaus ansteigende Kurve der Abbildung 3 vermuten läßt. Der Einfluß beschränkt sich örtlich aber auf den Raum Hamburg, wo man bei der Ermittlung des maßgebenden Wasserstandes auf Grund der Werte vom 17. Februar 1962 wohl gut tun wird, für das Oberwasser noch einen Zuschlag von einem oder zwei Dezimetern zu machen.

Tabelle 7

Pegel	Wasserstand über NN
Cuxhaven	+ 4,95
Belumer Schanze	+ 5,25
Brunsbüttelkoog	+ 5,08
Glückstadt	+ 5,63
Stadersand	+ 5,75
Schulau	+ 5,87
St. Pauli	+ 5,70

2. Die Dauer der Sturmflutwasserstände bei Cuxhaven

Eine kurz auflaufende Flut wird sich von der See bis Hamburg wegen der großen Entfernung kaum durchsetzen können (Cuxhaven bis Hamburg = 100 km). Das ändert sich, wenn die hohen Wasserstände lange anhalten. So wurde am 16./17. Februar 1962 am Pegel Cuxhaven der Wert 950 (= + 4,50 m NN) auf die Dauer von vier Stunden überschritten. Die Tidekurve war „füllig" und brachte hiermit die Voraussetzung, daß die Sturmflut in voller Stärke bis Hamburg durchlaufen konnte. Von der Sturmflut des Jahres 1825 wissen wir, daß sie sich ganz ähnlich verhalten hat. Auf eine ungewöhnlich hohe Vortide, die schon Deichschäden bewirkte, folgte eine vorzeitig einsetzende Haupttide mit lang anhaltenden hohen Wasserständen. Es besteht deshalb kein Anlaß anzunehmen, daß die Tidekurve 1825 weniger füllig war und daß sich hieraus Unterschiede zu dem Auflaufen der Fluten in Hamburg ergeben. Vielmehr kann angenommen werden, daß diese Gestalt der Tidekurven an der

[2]) Einschließlich geplanter Abschleusungen und Eindeichungen.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Küste überhaupt das Merkmal für die Katastrophenfluten in den Tideströmen ist. Eine hohe Tide ist somit immer alarmierend, wenn die folgende Flut bei gleichbleibender Wetterlage früh einsetzt und schnell ansteigt.

3. Die Entlastung durch Deichbrüche

Die Februarsturmflut 1825 hat die Elbmarschen nahezu vollständig überschwemmt. Die hierdurch bedingte Minderung der Wasserstandshöhen setzte bereits auf der Höhe Freiburg—Glückstadt ein und erreichte bis Hamburg ihren höchsten Wert. In diesem Jahre dagegen konnten die wenigen Deichbrüche unterhalb des Alten Landes (im Vergleich zu 1825) allein schon wegen des frühen Zeitpunktes nicht auf die Wasserstandshöhen einwirken. Aber auch die umfangreichen Überschwemmungen in der III. Meile des Alten Landes und in Hamburg brachten keine wesentliche Entlastung, weil die Deichbrüche zu früh einsetzten. Ihr zeitlicher Schwerpunkt lag um 2^h am 17. Februar. Um diese Zeit verringerte die Tidekurve am Pegel St. Pauli ihre Steigung und erreichte kurz nach 3^h ihren Höchstwert. Es konnten somit genügend Wassermassen von der See her nachströmen, um die „Verluste" durch die Deichbrüche auszugleichen. Überschläglich ermittelt mag eine Wasserstandssenkung um 15 cm eingetreten sein, die sich aber auf den Raum Hamburg—Altes Land beschränkt.

4. Die Windrichtung

Die Elbe hat von Cuxhaven bis Hamburg die Form eines langgezogenen Z, das auf den Strecken Cuxhaven bis Freiburg, Freiburg bis Stade und Stade bis Hamburg zwischen den Richtungen West—Ost und Nordwest—Südost wechselt (Abb. 1). Die Länge dieser drei

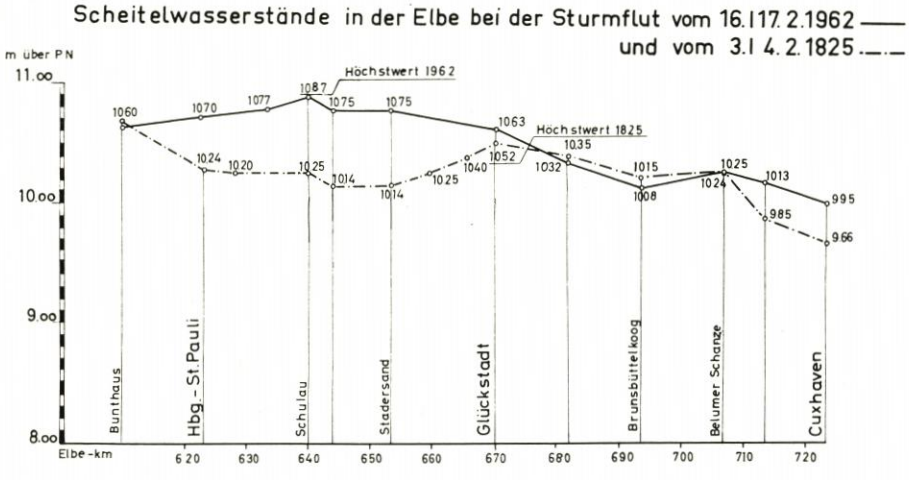


Abb. 3

Abschnitte beträgt je etwa 30 km. Die Breite wechselt; sie schwankt zwischen 8 km an der Ostemündung und 1,7 km bei der Estemündung. Dazwischen liegt die Freiburger Enge mit 4 km, aber auch die Krautsander Breite mit 7 km. Es bilden sich somit bei einer Sturmflut

Wasserflächen großen Ausmaßes, auf denen der herrschende Sturm das Wasser in Windrichtung drückt. Dadurch wird die in den Strom hineinpulsierende Tide durch einen zusätzlichen Windstau überlagert. Je nachdem ob der maßgebliche Sturm aus West oder Nordwest kommt, ergeben sich auf Grund der geographischen Gestalt der Niederelbe unterschiedliche Auswirkungen.

Der Weststurm staut den Mündungstrichter von Cuxhaven bis zur Belumer Schanze hoch an, behindert dann aber auf der Strecke von Freiburg bis Stade das weitere Auflaufen der angespannten Wasserstände. Von Stade bis Hamburg findet wieder ein Anstau statt.

Sturm aus Nordwest staut zunächst das Wasser im Mündungstrichter bis zur Belumer Schanze ähnlich wie der Weststurm, nur nicht ganz so hoch, an. Er wirkt sich dann wieder von Freiburg—Glückstadt voll in Stromrichtung aus. Zum Alten Lande hin findet ein stetig steigender Anstau statt, der vor den Toren von Hamburg seinen Höchstwert erreicht.

Betrachtet man die Scheitelwasserstände der Abbildung 3 unter diesem Gesichtspunkt, so ergibt sich für die Flut des Jahres 1825 der Typ des Auflaufens bei Sturm aus vorwiegend West und für die des Februar 1962 der Typ bei Sturm aus Nordwest[3]). Der Nordweststurm ist für den Raum Stade bis Hamburg zweifellos der ungünstigere Fall.

5. Der Querschnitt

Aus der Abbildung 3 lassen sich drei Abschnitte herauslesen, die gemeinsame Merkmale aufweisen, einmal der Abschnitt von Cuxhaven bis Belumer-Schanze, zum anderen von der Belumer-Schanze bis Glückstadt und schließlich von Glückstadt bis Schulau. Auf der Karte sind das drei „Trichter", und zwar erstens der Mündungstrichter bis Belumer-Schanze, zweitens die Strecke Belumer-Schanze bis Glückstadt mit der Einengung von 8 auf 4 km bei Freiburg und drittens die Strecke Glückstadt bis Schulau mit der Einengung von 7 auf 1,7 km bei Cranz. Der letzte ist jetzt durch die Abdeichung der alten Süderelbe weiter verriegelt worden (Abb. 5).

Diese Verhältnisse, die sich teils aus der Natur, teils aus den Deichbauten ergeben, müssen als äußerst ungünstig für das Auflaufen der Fluten angesehen werden. Die umgekehrte Lage der „Trichter", nämlich mit der Spitze seewärts, wäre sicherlich besser. Hierfür sei als Beispiel das Auflaufen der Februarsturmflut 1962 in die offene Niederung bei Winsen/Luhe angeführt. Die örtliche Lage ist in Abbildung 4 dargestellt.

Die Ilmenau mündet bei Stöckte in die Elbe, wo sie durch Deiche in 200 m Abstand eingeschnürt wird. Hierdurch bildet die etwa 3 km² große Niederung einen Trichter mit der Spitze seewärts. Bei der Sturmflut stieg der Wasserstand der Elbe am Pegel Zollenspieker um 3^h am 17. Februar 1962 auf + 5,57 m NN. Dieser Wasserstand konnte sich aber nicht in die Niederung an der Ilmenaumündung fortsetzen. Gemessen wurden 2 km oberhalb der Mündung + 5,20 m NN, bei Winsen + 5,22 m NN und bei Nettelberg + 5,45 m NN. Der Windstau

[3]) Zu der Windrichtung der Februarsturmflut 1825 gibt es verschiedene Angaben. Fest steht wohl, daß ein tagelanger Sturm vorausging, der von SW auf W drehte. Er soll am 3. Februar zum Orkan angewachsen sein und in der Nacht zum 4. Februar über NW auf N gedreht haben, wo er morgens abflaute. Andere Nachrichten sprechen für den 3./4. Februar nur von Sturm aus WNW. Andere wiederum bezeichnen den Sturm in der Nacht zum 4. Februar als nicht besonders heftig. Man konnte das hohe Auflaufen der Flut aus dem Sturm nicht erklären und vermutete, daß die Erde sich bewegt habe. Das plötzliche Versiegen oder Anspringen von Brunnen im Küstenbereich wurde als ein Zeichen hierfür gewertet. Andere Stimmen behaupten, daß eine Flutwelle die Nordsee vom Norden nach Süden überquert und den Windstau überlagert habe (Schelling 1952, Büeren 1825).

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

betrug auf der 3 km langen Strecke von Stöckte bis Nettelberg 25 cm. Bedeutsamer ist das Fließgefälle von der Elbe in die Niederung, das auf 2 km 0,37 cm betrug oder 0,185 ‰. Zu beachten bleibt, daß die Tidekurve des Pegels Zollenspieker mit Bezug auf die kleine Niederung sicher als „füllig" gelten konnte. Der Wasserstand + 5,20 m NN an der Westseite der Niederung wurde bei Zollenspieker während 3 Stunden 20 Minuten überschritten.

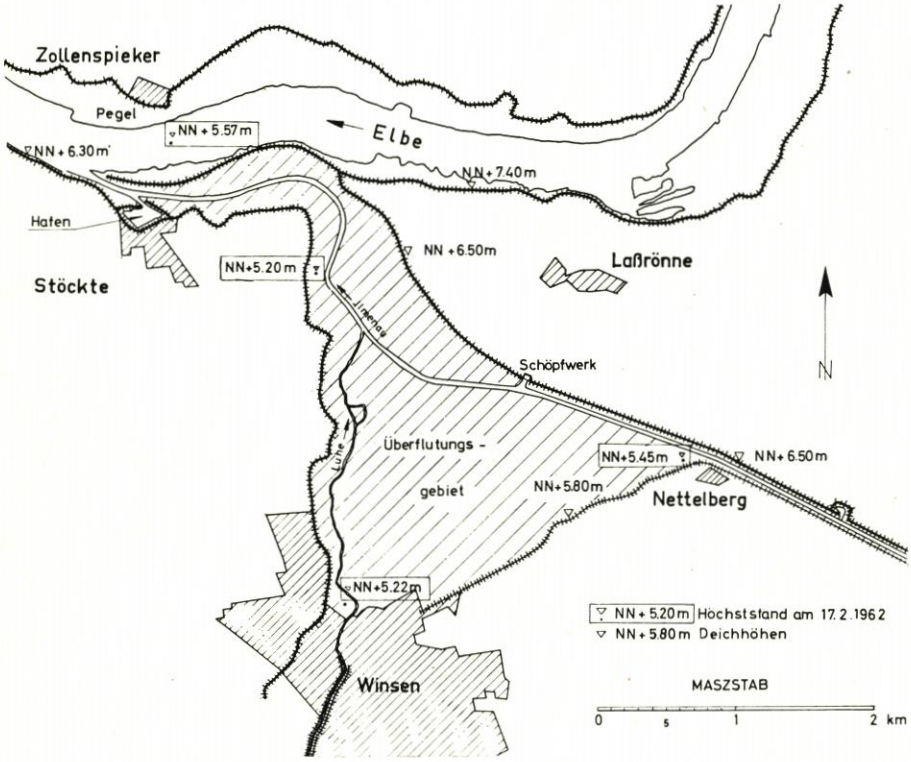


Abb. 4. Mündungsstrecke der Ilmenau

Die Beobachtungen an diesem Beispiel der Natur lassen sich in zwei Folgerungen zusammenfassen:

1. Bilden die Wasserflächen eines Tidestromes bei Sturmflut die Form eines Trichters in Windrichtung, dann werden die höchsten Wasserstände an der Spitze erreicht, und zwar unabhängig davon, ob sie stromauf oder stromab gerichtet ist.
2. Wenn die Spitze seewärts gerichtet ist und der Sturm in den Trichter hinein weht, reicht die Zeit einer Tide nicht aus, um das Trichterbecken auf den Mündungswasserstand zu bringen.

Diese Folgerungen aus nur einem Beispiel zu verallgemeinern mag gewagt erscheinen. Da sie aber theoretisch begründet und praktisch bestätigt sind, kann man doch wohl grundsätzlich von einer „Trichterwirkung" sprechen.

Aus dem Verlauf der Kurven der Abbildung 3 läßt sich weiter feststellen, daß die Scheitelwasserstände nicht mit konstanter Steigung, sondern mit wechselndem Gefälle durchlaufen. Vor jedem Ansteigen liegt eine Strecke mit negativem Gefälle. Diese Erscheinung — ähnlich der an der Ilmenaumündung — wird sich damit erklären lassen, daß zu der An-

spannung der Wasserstände zwischen den Deichen gewaltige Wassermassen gebraucht werden, die durch den unterhalb gelegenen Querschnitt des Stromes zufließen müssen und hierzu Gefälle verbrauchen. So bewirkte der Sturm der Februarflut 1962 von Belumer-Schanze bis Brunsbüttelkoog ein Gefälle von 17 cm, um das Wasser für den Anstau nach Schulau durch den — hier sehr großen — Querschnitt des Stromes zu befördern. (Hiermit soll jedoch nicht gesagt sein, daß der Nordwest-Sturm die einzige Komponente für den Anstau nach Schulau darstellt, sondern daß er nur, wie bereits ausgeführt, die Tidewelle überlagert hat.)

Auch die Veränderung des Querschnitts durch die Fahrwasserregulierungen seit über hundert Jahren beeinflußt das Auflaufen der Flutwelle nach Hamburg. Die Vergrößerung des Tidehubes ist ein Beweis hierfür. Die Sturmflut dringt jetzt schneller nach Hamburg vor als früher. Insbesondere konnte der Sturm bei der Februarsturmflut 1962 das Wasser ungehindert nach Schulau anstauen, und es kann angenommen werden, daß hierdurch auch höhere Wasser-

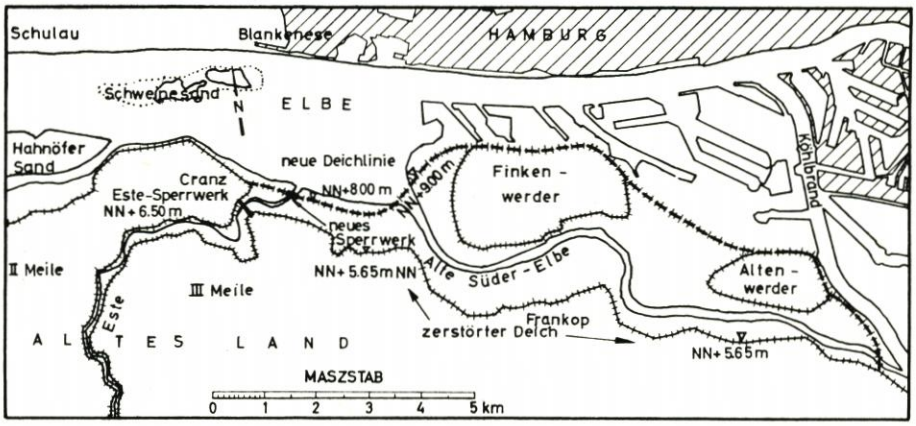


Abb. 5. Elbe bei Cranz mit Abdeichung der Alten Süder-Elbe

stände bedingt wurden. Dagegen ist es nicht begründet, hierauf den ganzen Unterschiedsbetrag zu der Tabelle 5 zu verrechnen, dessen größerer Teil auf den säkularen Wasserstandsanstieg, die Windrichtung und die geringere Entlastung durch Deichbrüche entfallen dürfte.

Die Querschnittsverengung bei Cranz (Abb. 5), verstärkt durch die Sände im Strom — Schweinesand, Hahnöfer-Sand — hat die Februarsturmflut 1962 vor den Toren von Hamburg gebremst. Der Schulauer Pegel zeigt (Abb. 3) einen um 17 cm höheren Wasserstand an (+ 5,87 m NN) als der Pegel St. Pauli (+ 5,70 m NN). Die Druckhöhe war notwendig, um das Wasser durch den engeren Querschnitt stromauf zu befördern. Von einer Reflexionswelle, wie sie künftig durch den neuen Finkenwerder Deich zu erwarten ist, kann bei der geringen Überhöhung aber wohl nicht gesprochen werden.

Die Betrachtungen zu den unterschiedlichen Werten der beiden Sturmfluten mögen genügen. Sie geben einen Anhalt, um die maßgeblichen Wasserstände für die Höhe der Deiche zu bestimmen. Von Cuxhaven bis etwa Glückstadt gelten die Werte der Tabelle 5, während von Glückstadt bis Stadersand die Wasserstände der Februarsturmflut 1962 nach der Tabelle 7 auszuwerten sind.

Von Stadersand bis Hamburg lassen sich keine Werte angeben, da der neue Finkenwerder Deich, der von Cranz eine neue Linie über die alte Süderelbe zieht (Abb. 5), in diesem Bereich eine erhebliche Veränderung bewirkt. Die Scheitelwasserstände werden höher auflaufen als am 16./17. Februar 1962. Das Maß der Deichbrüche wurde schon zu etwa 15 cm angegeben.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Tabelle 8

Ort	Februarsturmflut 1962 in Höhen über NN	Entlastung durch Deichbrüche	Säkularer Anstieg bis 2025	Maßgeblicher Wasserstand in Höhen über NN
Glückstadt	+ 5,63	—	0,15	+ 5,78
Stadersand	+ 5,75	0,05	0,15	+ 5,95

Auch die Abdeichung der alten Süderelbe wird sich in dieser Größenordnung auswirken. Dagegen kann nichts darüber gesagt werden, welche Reflexionswelle hier entsteht und in Richtung Stadersand wirkt. Diesen Wert kann aber das Modell des Franzius-Instituts liefern, das nach der Februarsturmflut aufgebaut wurde. Ebenso wäre zu wünschen, daß im Modell auch erforscht wird, inwieweit die Wasserstände in Hamburg und weiter oberhalb durch den Finkenwerder Deich verändert werden.

An der Weser hat der Nordwest-Sturm der Februarflut 1962 die See in dem „Trichter" der Außenweser nach Bremerhaven auf + 5,35 m NN angestaut. Er war aber nicht imstande,

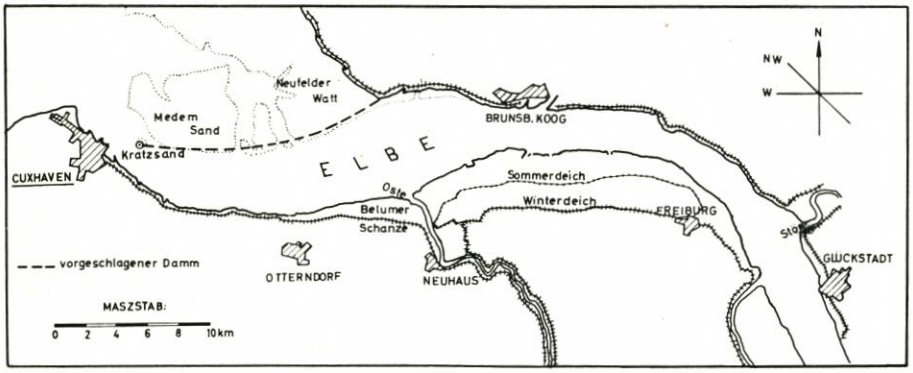


Abb. 6. Mündungsstrecke der Elbe

diesen Wasserstand nach oben in Richtung Bremen fortzusetzen oder gar — wie an der Elbe — um fast einen Meter zu erhöhen. Im Gegenteil, die nach Osten vorspringende Nase bei Blexen mit dem Umschwenken der Stromrichtung über Nordost nach Nord hat die Scheitelwasserstände etwas absinken lassen. Bei West-Sturm ist zumindest die gleiche Wirkung zu erwarten.

Der Deich, den Hamburg an der alten Süderelbe baut, erhält eine Kronenhöhe von + 8,0 m NN. Sie steigt im Bereich des größten Wellenauflaufes auf + 9,0 m NN an. Niedersachsen und auch Schleswig-Holstein müssen ihre Deiche diesen Höhen anpassen. Damit entstehen weit im Binnenlande Deiche, die denen an der See gleichkommen. Sie rücken zudem immer näher an den Strom heran. Die Frage, wohin dieser Deichbau führen soll, wenn die Verhältnisse sich sowohl vom Wasser als auch vom Lande her so weiter entwickeln wie von 1825 bis heute, ist unbeantwortet. Sie zu übergehen, würde einen grundlegenden Fehler darstellen.

Schon jetzt läßt sich feststellen, daß das Deichwesen — zumindest in seiner bisherigen Art — unvereinbar ist mit den Wirkungen und Anforderungen einer stetig wachsenden Industrie und einer immer dichter werdenden Besiedelung in den Marschgebieten. Ob Wege gefun-

den werden, die beiden Forderungen entsprechen, ist noch nicht zu übersehen. Jedenfalls stehen die Deichbauer in Hamburg bei ihrer Aufgabe vor schwer zu lösenden Problemen.

Aber nicht nur diese Entwicklungsfrage ist wichtig, sondern auch die rein technische, die sich auf die Standfestigkeit der Deiche bezieht, wenn die Wasserstände weit stromauf an den Tideströmen immer höher zwischen den Deichen angespannt werden. Jeder Praktiker weiß, mit welchen Bodenarten im Untergrunde er es hier zu tun hat und wie diese alluvialen Böden auf Beanspruchungen reagieren. Eine besonders eindringliche Mahnung stellen die schweren Grundbrüche bei Francop (siehe Abb. 5) und am Achterdeich bei Stelle dar, wo moorige Schichten aus dem Untergrund herausgedrückt wurden. Die Gefahr der Grundbrüche wächst aber mit den höheren Wasserständen, und es ist fraglich, ob sich dieser Gefahr überhaupt mit Sicherheit begegnen läßt.

Aus diesen Gründen besteht Anlaß zu prüfen, welche Möglichkeiten es an der Elbe gibt, um dem Bau immer höherer und den Strom immer mehr einengender Deiche Einhalt zu gebieten. Hierzu ist der Bau eines Dammes zu erwägen, der in Abbildung 6 dargestellt ist. Er zweigt von dem Dithmarscher Deich 9 km westlich von Brunsbüttelkoog ab und verläuft am südlichen Rande des Neufelder Wattes und des Medem-Sandes, um auf dem Kratzsand bei Cuxhaven zu enden. Seine Länge beträgt 17 km. Er engt die Mündung der Elbe auf 1,5 km Breite ein. Seine Höhe könnte auf 1,0 m über HHThw angeordnet werden.

Von den Auswirkungen dieses Dammes können zwei Folgerungen mit Sicherheit vorausgesagt werden:

1. Die Entfernung Hamburgs zur See wird um 17 km verlängert.
2. Für das Auflaufen einer Flut in der Elbe wird der Wasserstand bei Cuxhaven maßgeblich, der niedriger ist als der angestaute Wasserstand des Mündungstrichters bei der Belumer-Schanze (Abb. 3).

Neben diesen beiden Vorteilen sind weitere zu erwarten, deren Werte aber noch zu ermitteln wären:

1. Von Cuxhaven bis Freiburg ist eine „Trichterwirkung", wie am Beispiel der Abbildung 4 beschrieben, zu erwarten. Auf dieser 40 km langen Strecke wechselt die Breite zwischen den Deichen von 1,5 km an der Mündung auf 8 km bei der Belumer-Schanze und 4 km bei Freiburg. Die Fläche beträgt 228 km². Sie kann wahrscheinlich selbst bei einer fülligen Tidekurve nicht auf den Cuxhavener Wasserstand auflaufen, zumal die Elbe oberhalb von Freiburg auch aufgefüllt werden muß.
2. Die Überlagerung der Tidewelle durch den zusätzlichen Windstau wird günstiger.
   a) Sturm aus West steht bei Cuxhaven quer zur Mündung des Trichters. Er treibt die See über den Medem-Sand auf das Neufelder Watt. In der Elbe wird er zunächst Gefälle nach stromauf erzeugen und das Wasser dann in Richtung Freiburg anstauen. Von Freiburg bis Stadersand verliert er seinen Einfluß auf die Flut, deren bis Freiburg/Glückstadt angestaute Wasserstände hier absinken werden.
   b) Die Möglichkeiten für den gefährlichen Sturm aus Nordwest werden grundlegend verändert. Er drückt über den Medem-Sand und das Neufelder Watt gegen den Damm, auf dessen Nordseite höhere Wasserstände eintreten als auf der Südseite. Auf der Elbe treibt er die Wellen quer über den Strom auf das Hadelner und das Kehdinger Ufer. Erst von Freiburg an kann er das Wasser in Stromrichtung anstauen. Das bedingt aber, daß von Cuxhaven bis hier ein Gefälle nach stromauf entsteht. Es braucht keineswegs so groß zu sein, wie an der Ilmenauniederung, um den Aufstau der Sturmflut in Richtung Hamburg entscheidend zu verringern.

Diese Überlegungen lassen vermuten, daß der Damm in der Elbemündung geeignet ist, ein höheres Auflaufen der Wasserstände, als sie in Cuxhaven erreicht werden, in der Elbe zu

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

verhindern. Wahrscheinlich werden sie — wie es jetzt schon an der Weser der Fall ist — oberhalb von Cuxhaven niedriger bleiben. Das sollte Grund genug sein, das Für und Wider, das mit einem derartigen Bauvorhaben verbunden ist, eingehend zu prüfen. Im Modell werden sich die Unterlagen hierzu ermitteln lassen.

Schriftenverzeichnis

Büeren, G.: Die Sturmfluten des 3. und 4. Februar 1825. Weener, J. Thiel, 1825.

Gaye, J.: Die Wasserstandsänderungen in der Ostsee und in der Nordsee in den letzten hundert Jahren. Die Wasserwirtschaft, Sonderheft 1951.

Gripp, K.: Geologie von Hamburg und seiner näheren und weiteren Umgebung. Hamburg 1933.

Haarnagel, W.: Das Alluvium an der deutschen Nordseeküste. Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet, Bd. 4, 1950.

Nöthlich, F.: Ein Beitrag für das Auftreten von Sturmfluten in der Unterelbe. Wasser u. Boden 1, H. 3, 1949.

Schelling, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum. Die Küste 1, H. 1, 1952.

Schütte, H.: Das Alluvium des Jade-Weser-Gebiets. Ein Beitrag zur Geologie der deutschen Nordseemarschen. Oldenburg i. O., 1935.

Schulze, E. O.: Niederländische Siedlungen in den Marschen an der unteren Weser und Elbe im 12. und 13. Jahrhundert. Diss. Ztschr. Hist. Ver. Niedersachsen 1889.

Siemens, H. P.: Aus der Deich- und Siedlungsgeschichte des Alten Landes. Stader Archiv 1835.

Pegelaufzeichnungen von Strom und Hafenbau, Hamburg, von der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Bremen und vom Wasser- und Schiffahrtsamt Stade.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Die Trinkwasserversorgung der Halligen nach der Sturmflut im Februar 1962

(Ein Untersuchungs-, Erfahrungs- und Erlebnisbericht)

Von Erich Wohlenberg

A. Vorbemerkung und Aufgabe 86
B. Die Hallig als Lebensraum im Wattenmeer
I. Die Lebensweise der Bewohner 90
II. Der Schichtenaufbau der Hallig 91
III. Der Schutz der Halligen in der Neuzeit 92
IV. Das Trink- und Tränkwasser auf den Halligen
a. Das Grundwasser in größerer Tiefe unter den Halligen 92
b. Das Grundwasser der Hallig Gröde 94
c. Das Grundwasser der Hamburger Hallig 95
d. Das Grundwasser der Hallig Nordstrandischmoor 96
V. Die Warf mit Sood und Fething als Lebensgrundlage
a. Sood und Fething als Wassersammler 98
b. Die Höhenlage der Wohnhorizonte 101
C. Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962
I. Der völlige Zusammenbruch der Wasserversorgung 105
II. Die Behebung des Notstandes „Wasser“ 107
III. Die Anlage von Wasserdepots als Abschluß der Wasserversorgung 113
IV. Die chemische Untersuchung des Trink- und Tränkwassers nach der Sturmflut . 115
a. Der Salzgehalt im Trinkwasser der Söde 115
b. Der Salzgehalt im Tränkwasser der Fethinge
1. Die Fethinge auf der Hallig Nordmarsch-Langeness 119
2. Der Tränkwassersood unter dem Maifeld bei Süderhörn 121
3. Der Fething auf Hallig Gröde 123
4. Die Fethinge auf Hallig Hooge 124
c. Die Salzgehaltsverteilung in den Depot-Fethingen
1. Die Depot-Fethinge auf Hallig Hooge 125
2. Die Depot-Fethinge auf Hallig Nordmarsch-Langeness 126
d. Der Salzgehalt im Eis des Wattenmeeres 127
D. Das Sanierungsprogramm für die Halligen
I. Hausbau und Wasserleitung 129
II. Sood und Fething trotz Wasserleitung? 131
III. Das Hallig-Statut als Organ der Ordnung, Hygiene und Sicherheit . . . 131
E. Zusammenfassung 132
F. Schriftenverzeichnis 133

A. Vorbemerkung und Aufgabe

Als in der Nacht vom 16. zum 17. Februar von der Husumer Seeschleuse gegen 23 Uhr der vom dortigen Seepegel gemessene höchste Wasserstand von 3,74 m über dem mittleren Tidehochwasser durchgerufen wurde und der Sturm noch kein Nachlassen erkennen ließ, war es auch für jeden Uneingeweihten klar, daß sich unsere Küste in schwerster Gefahr befand. Noch war zu jener Stunde im Binnenland über die Lage an unseren Seedeichen nichts bekannt, der Gedanke aber an unsere Halligen lastete schwer auf jedem, der mit dem Leben auf diesen kleinen ungeschützten Inseln vertraut ist (vgl. Lageplan, Abb. 1 und Abb. 5).

Erfahrungsgemäß ist der Pegelstand im Innern der Husumer Bucht glücklicherweise nicht

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

in voller Höhe auf den gleichzeitigen Wasserstand im offenen Wattenmeer und damit auf den Bereich der Halligen übertragbar, da der Sturmflutstau an der Küste des Festlandes stets einige Dezimeter höher anzuwachsen pflegt als im weiteren Vorfeld der Küste (Abb. 2). Trotzdem

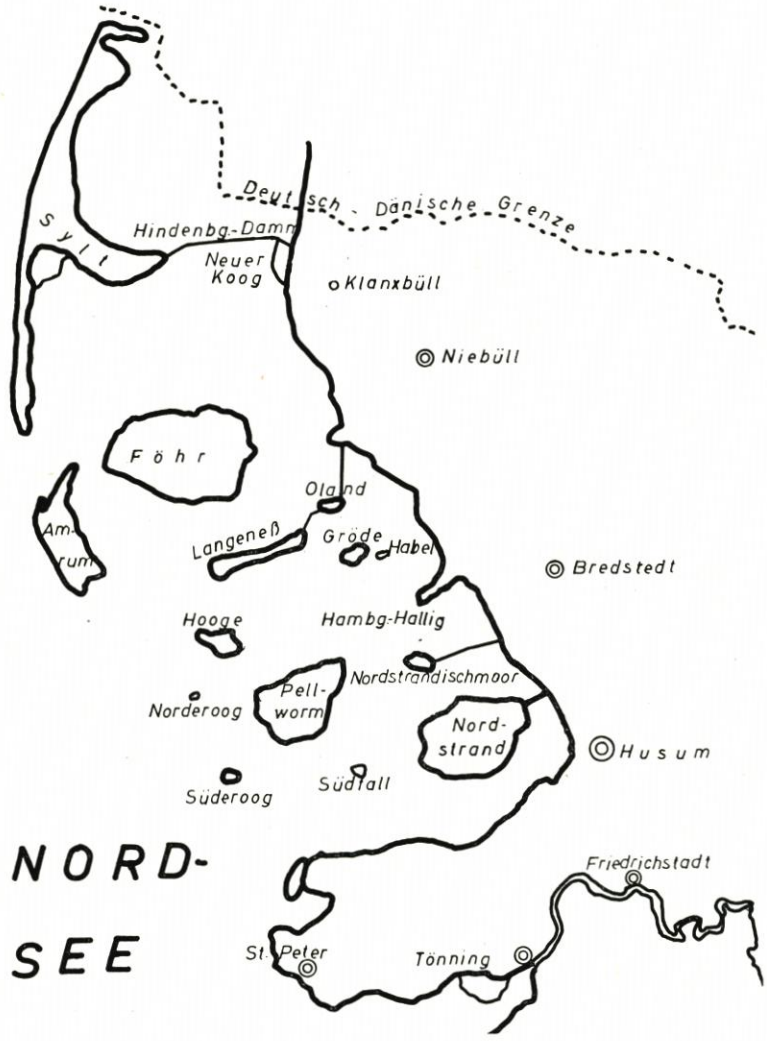


Abb. 1. Die Lage der zehn Halligen im nordfriesischen Wattenmeer.
Langeness, Hooge, Oland, Gröde, Habel, Hamburger Hallig, Nordstrandischmoor, Norderoog, Süderoog und Südfall.
Habel, Norderoog und Südfall sind nur noch in den Sommermonaten bewohnt

mußte — dieser Umstand in Rechnung gestellt — die Not auf den Halligen das äußerste Maß erreicht haben, und drückend blieb zunächst die Sorge um das Schicksal der Halligbewohner.

Als dann am 17. Februar nach dem Ablaufen des noch immer sturmbewegten Wassers die ersten Meldungen das Festland erreichten und das Linien-Fahrgastschiff AMRUM die ersten dreitausend Liter Frischwasser noch unter größten technischen Schwierigkeiten auf der Hallig Langeness löschen konnte (Abb. 3), wurde bekannt, daß auf den acht Halligen weder

Sood noch Fething[1]) von den Brechern der Sturmflut verschont geblieben waren (Abb. 4) und daß damit jede Wasserversorgung für Mensch und Vieh schlagartig zusammengebrochen war. Das bedeutete, daß auf den weit voneinander entfernt liegenden Halligen Trinkwassernot herrschte. Ob auf den Halligen auch Menschenleben zu beklagen und in welchem Umfang die kleinen Wohnhäuser auf den Warfen noch bewohnbar waren, war zur Stunde nicht bekannt.

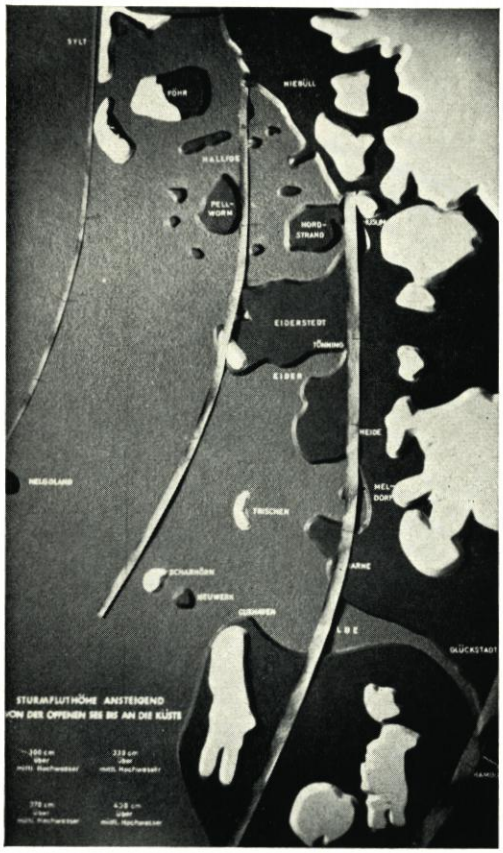


Abb. 2. Das Anschwellen des Sturmflutspiegels am 16. Februar 1962 von der offenen Nordsee bis zu den Deichen des Festlandes. Der Sturmflutwasserstand war bei den Halligen 40—50 cm niedriger als an der Husumer Seeschleuse.
Die verschiedene Breite der Kurvenbänder kennzeichnet den gegen die Küste anwachsenden Stau (nach einem farbigen Relief in der Sturmflut-Ausstellung im Nissenhaus-Husum)

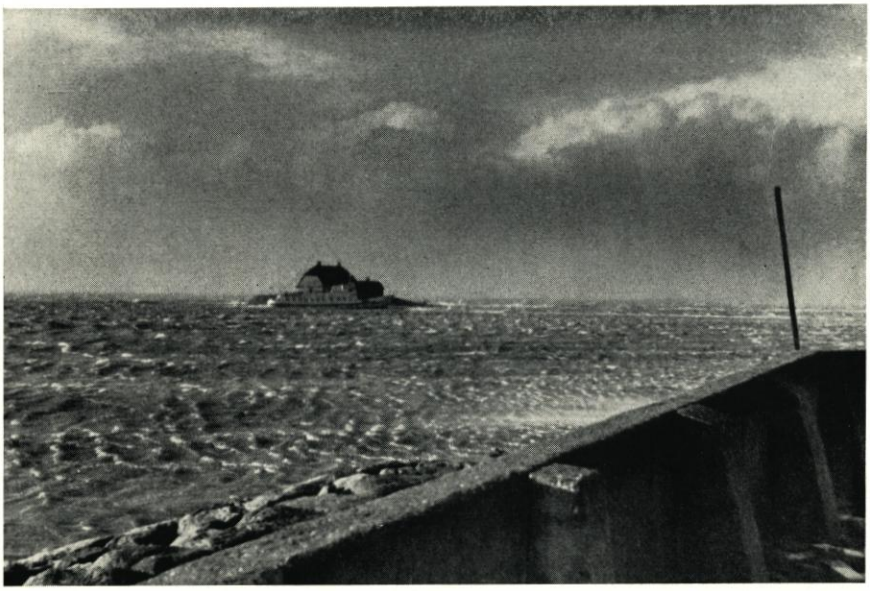
Während an den Seedeichen des Festlandes schon in der Katastrophennacht ein großes Hilfsprogramm zur vorläufigen Sicherung der schwer beschädigten Deiche anlief, waren die Halligen noch ganz auf sich gestellt. Für sie erwuchs als dringlichste, keinen Aufschub duldende Aufgabe die Versorgung mit Trink- und Tränkwasser für Mensch und Vieh.

Da die Vernichtung der Wasservorräte eine völlige war, konnte ihr unverzüglicher Ersatz nur durch eine bisher nicht geübte, umfassende Maßnahme herbeigeführt werden. Während der seetüchtige Tonnenleger Kapitän Meyer des Wasser- und Schiffahrtsamtes Tönning bei noch schwerer See den ersten, entscheidend wichtigen Transport an Trinkwasser zur Hallig Hooge brachte, wurde dem Verfasser — mit Wattenmeer und Hallig durch jahrzehntelangen Dienst in der Westküstenforschung vertraut — die Aufgabe übertragen, durch persönliche Anwesenheit auf den Halligen die durch den Einsatz von drei weiteren Wasserspezialschiffen anlaufende Versorgung für alle bewohnten Halligen in so kurzer Zeit sicherzustellen, daß eine Evakuierung sowohl der Halligbevölkerung als auch der gegenüber früheren Zeiten zahlenmäßig erheblich angewachsenen Viehbestände nach Möglichkeit nicht erforderlich würde.

Darüber hinaus erwuchs im Rahmen einer volkswirtschaftlich und volksgesundheitlich ausgerichteten Fragestellung die Aufgabe, gelegentlich dieser totalen Versalzung aller Wasserstellen der Halligen den Chloridgehalt des den Halligbewohnern in solcher Notzeit noch zur Verfügung stehenden Wassers zu bestimmen. Daher wurden auf jeder Warf aus fast allen für die menschliche Ernährung bestimmten Söden und aus jedem für die Versorgung der Tiere bestimmten Fething gleich nach der Sturmflut und in verschiedenen Zeitabständen danach

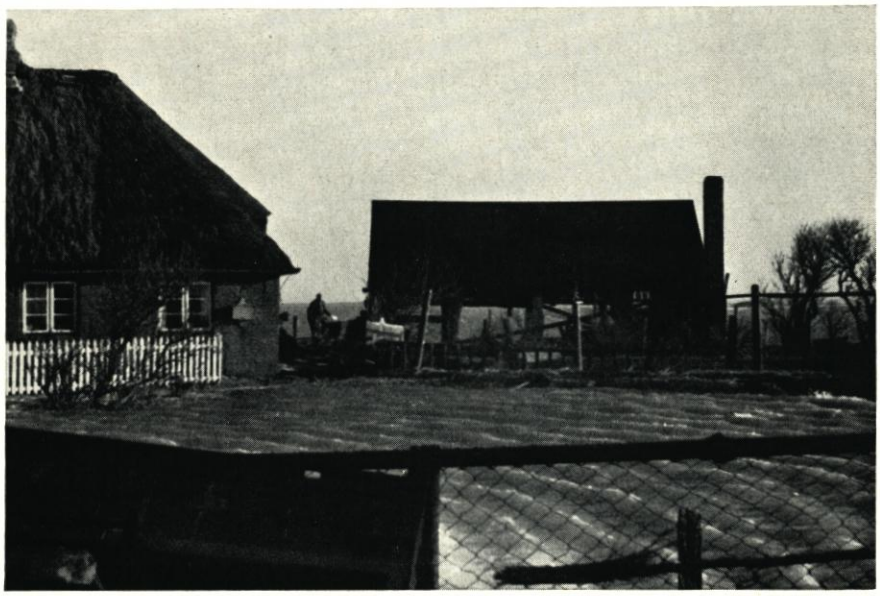
[1]) Sood = Trinkwasser-Zisterne
Fething = Tränkwasseranlage
} (vgl. Abb. 13 auf Seite 99).

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152



Aufn. B. Becker, 17. 2. 1962

Abb. 3. Das im Liniendienst stehende Motorschiff „Amrum" war in der Sturmflutnacht unterwegs, mußte den vollen Sturm mit Fahrgästen an Bord in Lee der Hallig Langeness bei laufenden Maschinen abreiten und brachte bei Tagesbeginn und noch immer sehr bewegter See die ersten 3000 Liter Frischwasesr nach Langeness. Auf dem Bild erkennt man die „Amrum" vor der Rixwarf. Die Hallig selbst ist zu dieser Stunde noch immer überflutet



Aufn. B. Becker, 17. 2. 1962

Abb. 4. Mit Meerwasser vollgeschlagener Fething der Warf Hilligenley (Langeness) am Morgen nach der Sturmflut

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Wasserproben entnommen und anschließend im Husumer Laboratorium der Forschungsstelle Westküste auf ihren Salzgehalt untersucht. Auf diese Weise gelang es erstmalig in der langen und schicksalsschweren Geschichte der Halligen genaue, von Meinungen und Schätzungen unbeeinflußte Angaben darüber zu erhalten, welcher Grad der Versalzung sowohl den Menschen als auch dem Vieh der Hallig in Notzeiten zwangsläufig zugemutet wird. Die weiter unten mitgeteilten Salzwerte im Trink- und Tränkwasser in den ersten Tagen und Wochen nach der Sturmflut lassen in der Tat ein erschreckendes Maß an gesundheitsschädlichen Salzgehalten erkennen. Die Untersuchungsergebnisse dienen dazu, den für die wirtschaftliche Gesundung der Halligen bereits jetzt tätigen Planungsstellen zur Begründung ihrer Sanierungsmaßnahmen unwiderlegbare Analysenwerte an die Hand zu geben.

Die Halligen werden seit langem, auch besonders jetzt wieder nach dieser Sturmflut, seitens der verantwortlichen Stellen als unentbehrliche Bollwerke für unsere Festlandsküste angesprochen. Für das Fortbestehen der Halligen als bewohnungswürdige „Bollwerke" muß daher auch die Forderung nach einer einwandfreien Wasserversorgung erhoben werden. Die sturmflutsichere Herrichtung der Warf bleibt jedoch nach wie vor das primäre Anliegen, nicht etwa der Bau moderner Wohn- und Wirtschaftsgebäude vom Rang und Umfang einer modernen bäuerlichen Siedlung des Festlandes. Neben der Sicherung der Halligufer und der Sicherung und Erhöhung der Warf mit den neuen Schutzräumen muß gleichrangig die Versorgung mit einwandfreiem Wasser einhergehen.

Dieser Bericht über die Trinkwasserversorgung der Halligen nach der Sturmflut erhält mit Vorbedacht den Zusatz „Erlebnis- und Erfahrungsbericht", weil im folgenden mehr zum Ausdruck gebracht werden soll als nur die Diskussion einiger Salzwerte. Die Welt der Halligen bleibt auch in Zukunft dem Meer so eng verhaftet wie eh' und je, aber sie steht angesichts der fürsorgerischen Maßnahmen des Staates dennoch an einer Wende, die das alte Kulturbild tödlich bedroht. Dieser Bericht bewegt sich jedoch aufgabegemäß nur vor dem Hintergrunde „Süßwasser" und versucht in diesem Rahmen für die Nachwelt festzuhalten, was an alten Einrichtungen der Wasserversorgung in sehr schnellem Schwinden begriffen ist.

Bevor die beiden Hauptpunkte, die Koordinierung der Maßnahmen zur Behebung des Wassernotstandes einerseits und die Wasseruntersuchung andererseits, dargelegt werden, möge im Interesse des nicht küstenvertrauten Lesers eine kurze Schilderung der Besonderheiten der Hallig als Siedlungs- und Lebensraum — hier allerdings mit dem Schwerpunkt Wasserversorgung — vorangestellt werden.

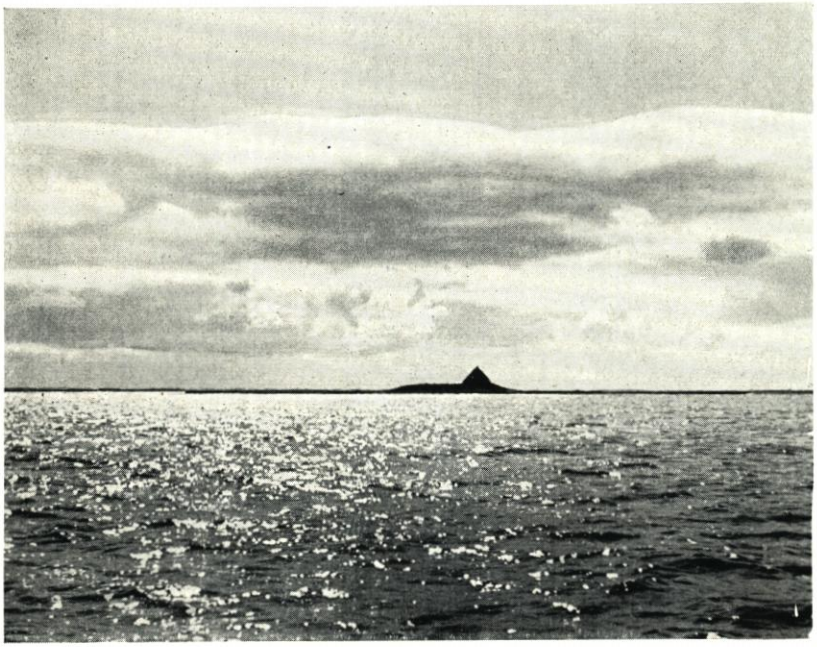
B. Die Hallig als Lebensraum im Wattenmeer

I. Die Lebensweise der Bewohner

Die Halligen sind kleine, im Wattenmeer verstreut liegende Inseln. Sie verdanken ihre Entstehung den aufbauenden Kräften des Meeres. Ihre Oberfläche ist völlig eben, liegt nur wenige Dezimeter über dem Meeresspiegel und ist täglich zweimal um die Hochwasserzeit allseitig vom Meer umgeben (Abb. 5). Mit eintretender Ebbe tritt das Wasser der Nordsee vom Halligufer zurück, und bei Niedrigwasser sind die kleinen Inseln von weiten Wattflächen umgeben. Bei stürmischen Westwinden wird das Halligland überflutet, so daß sich Mensch und Vieh in Sicherheit bringen müssen, denn die Halligen haben keine Deiche zum Schutz gegen höhere Fluten. Dieses und das Fehlen von Dünen sind die Merkmale, welche die Hallig von allen übrigen Inseln der Nordsee unterscheiden. Der Mensch hat durch Spatenarbeit kleine Hügel, die Warfen, aufgeworfen und darauf Haus und Stall errichtet. Warfen sind die erste Vorbedingung für die Lebensmöglichkeiten auf der Hallig. Auf ihnen übersteht der Bewohner die Sturmfluten, in deren Verlauf das Meer oft in die Wohnräume eindringt, so daß er schließlich die letzte Zuflucht so lange auf dem Dachboden suchen muß, bis sich das Unwetter gelegt hat, oder das Wasser wieder gefallen ist. Diese ständige Bedrohung durch das Meer teilt der heutige Halligbewohner mit

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

allen Generationen seiner Vorfahren. Es hat sich hier draußen im Vorfelde des Festlandes nichts geändert. Die älteste schriftliche Überlieferung über diese ungewöhnliche Siedlungsweise liegt bereits zweitausend Jahre zurück. Der Römer PLINIUS DER ÄLTERE berichtet im Jahre 47 nach Christi Geburt über solche Siedlungen an der südlichen Nordseeküste: *Hier haust auf hohen Hügeln oder auf Gerüsten, die von Menschenhand nach dem Stande der höchsten Flut errichtet sind und auf denen Häuser stehen, das armselige Volk. Es ist Seefahrern ähnlich, wenn das Wasser*



Aufn. E. WOHLENBERG

Abb. 5. Hallig im Wattenmeer

alles bedeckt, Schiffbrüchigen dagegen, wenn es zurückgetreten ist. Und von der Wasserversorgung, dem Hauptgegenstand dieses Aufsatzes, schreibt er:

Sie haben keinen anderen Trank als den Regen, den sie in Gruben vor ihren Häusern auffangen.

Sood und Fething als Wassersammler der Küstenbewohner sind also schon seit zweitausend Jahren Bestandteil der Landschaftsliteratur. Was dem Römer bemerkenswert erschien, ist auch heute noch das hervorstechendste Merkmal. Die Siedlungsweise auf Warfen und die Wasserversorgung aus mit Regenwasser gefüllten „Gruben" bilden unverändert die beiden Eckpfeiler für das Leben auf der Hallig.

Das die Warf umgebende Halligland ist fruchtbar. Ton, Humus, Kalk und die tiefe Durchwurzelung bieten die Grundlage für eine dichte, nährstoffreiche Pflanzendecke. Infolge häufiger Überflutung mit Meerwasser besteht diese jedoch ausschließlich aus Salzpflanzen. Das Halligland kann — da Kulturpflanzen des Festlandes wegen des hohen Salzgehaltes im Boden nicht gedeihen können — nur als Weide genutzt werden. Halligwirtschaft ist somit eine extensive Weidewirtschaft mit allen Attributen der vom Meer bedingten Willkür und Unsicherheit. So wird es bleiben. Es gehört zum Wesen der Hallig.

II. Der Schichtenaufbau der Hallig

Da die Problematik der Wasserversorgung der Halligbewohner mehr als anderswo mit dem Schichtenaufbau verbunden ist und nur durch ihn verständlich wird, möge dieser hier in seinen Grundzügen dargestellt werden.

Die Halligen sind nicht, wie es in Lehrbüchern immer noch heißt, die letzten Reste des alten Nordfrieslands. Dieses ist untergegangen in der Zeit vom frühen bis zum späten Mittelalter. Die Halligen in ihrer heutigen Form sind neu vom Meer gebildet nach den großen historischen Sturmfluten, den „Mandränken" von 1362 und 1634 (Busch 1923). Allerdings haben sie in der Tiefe — sozusagen als Unterbau — den Siedlungsboden der alten Bewohner, den das Meer noch heute hier und dort im Wattenmeer freigibt (Schütte 1933, Wegener 1937, Andresen 1937, Busch 1957, Dittmer 1954, Wohlenberg 1932, Bantelmann 1939). Dieser Siedlungsboden des 13. und 14. Jahrhunderts ist nach der Zerstörung jener ersten Deiche und Warfen erneut von Sedimenten des Meeres überdeckt worden, und neues Land hat sich gebildet, so wie es an der Nordseeküste noch heute täglich heranwächst.

In der Regel sind im Profil der Hallig drei Hauptschichten anzutreffen. Etwa zwei bis drei Meter unter der heutigen Halligoberfläche (dem Maifeld) liegen die Meeresablagerungen und ersten Seemarschbildungen steinbronzezeitlichen Alters. Diese erste marine Entwicklung im Vorfeld des Festlandes vom Watt zur frühen Marsch wird durch eine Zeit der Moor- und Waldentwicklung abgelöst. Die unter dem Einfluß des Festlandes entstandenen organischen Schichten liegen also auf der alten marinen Marsch. Ihr oberer Horizont, die Hochmoorphase, wird schließlich durch neu abgelagerte Meeressedimente überdeckt, deren jüngster Abschnitt die heutige Hallig darstellt. Das ist durchweg der Werdegang der Hallig auf Grund von geologischen Untersuchungen der letzten Jahre (Ernst 1934, Dittmer 1960). In den Abbildungen über die Wasserversorgungsanlagen der Hallig ist dieser Schichtenaufbau schematisch wiedergegeben (Abb. 13 und 18).

III. Der Schutz der Halligen in der Neuzeit

Im nordfriesischen Wattenmeer bestehen heute noch zehn Halligen (Abb. 1). Sieben von ihnen sind ständig bewohnt. Vor rund zweihundertfünfzig Jahren waren es noch fast dreißig. Sie sind untergegangen, besser gesagt, von Brandung und Strömung des Gezeitenmeeres aufgezehrt worden. Der Halligboden bietet nämlich den angreifenden Wellen trotz seiner guten Durchwurzelung keinen dauerhaften Widerstand, so daß der Abbruch des Ufers bis zum Beginn dieses Jahrhunderts das Bild der Hallig kennzeichnet (Abb. 6). Auf diese Weise wurde ihr Areal immer kleiner, und es bedurfte keines großen Propheten, um den endgültigen Verlust dieser kleinen Inseln mit Sicherheit voraussagen zu können. Der Ruf nach einem vollständigen Schutz der übriggebliebenen Halligen kam nicht von den mit dem Schutz der Küste beauftragten technischen Behörden, auch nicht von der Wissenschaft, sondern von einem „Freund der Halligen", von einem Mann aus dem Binnenland: Eugen Träger! Dieser wurde nicht müde, eine Denk- und Mahnschrift auf die andere folgen zu lassen (Grund 1940). Heute ist dieses kostspielige Werk der Befestigung der Halligufer mit steinernen Deckwerken vollendet (Abb. 7). Wäre es nicht zur Durchführung gekommen, würden die Halligen heute ziemlich sicher nicht mehr Bestandteil der Wattenmeerlandschaft sein. Die kleinen Inseln würden der Geschichte angehören und nur noch im Museumsmodell weiterleben.

IV. Das Trink- und Tränkwasser auf den Halligen

a. Das Grundwasser in größerer Tiefe unter den Halligen

Es gibt keine Süßwasserquellen im Bereich der Halligen, und auch das Grundwasser in den tieferen Schichten ist so salzig oder brackig, daß es für die menschliche Ernährung keine Verwendung finden darf. Wie oben berichtet wurde, ist die Existenz der Halligbewohner einerseits gebunden an die das Halligland genügend hoch überragende Warf als Schutzstätte gegen die Sturmfluten, andererseits aber mit der gleichen Dringlichkeit an die ortseigene Wasserversorgung für Küche und Stall. Trotzdem gibt es Halligsiedlungen, denen zum Tränken des Viehs ausschließlich Grundwasser zur Verfügung steht.

Wenn das Schrifttum über die Halligen nach Angaben über die Güte des Trink- und

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Tränkwassers durchgesehen wird, befremdet die Feststellung, daß exakte, das heißt chemisch-quantitative Analysen nicht vorliegen.

Um das Jahr 1749 berichtet der Chronist LORENZEN (zitiert nach MEYN 1876 und MEIBORG 1896) von einer draußen im freien Watt südlich der Hallig Langeness *sprudelnden Quelle*, aus der

Abb. 6.
Halligufer im Abbruch
Aufn. E. WOHLENBERG

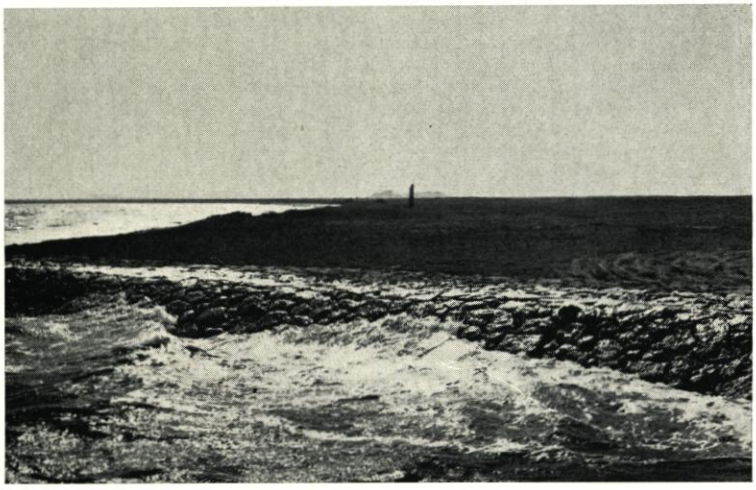


Abb. 7.
Halligufer durch Deckwerk aus Granit und Basalt geschützt
Aufn. E. WOHLENBERG

ein *armdicker Wasserstrahl* hervorgequollen sein soll. Bei Wassermangel habe man das Vieh über das Watt zum Tränken zu dieser Quelle getrieben. Nach HAEBERLIN (1912) befand sich auf dem Watt vor der Hallig Gröde, zehn Minuten Wegs von der Halligkante entfernt, eine „sehr tiefe ehemalige Zisterne, von der jetzt noch in Notzeiten vortreffliches Süßwasser geholt wird". Diese Angaben sind nicht mehr nachzuprüfen, besonders nicht hinsichtlich der wirklichen Güte des Wassers. Unsere jetzt im Zusammenhang mit der Behebung der Trinkwassernot auf allen Halligen und Warfen durchgeführten chemischen Untersuchungen haben mehr als einmal den Nachweis führen können, daß der Halligbewohner in der Beurteilung der Qualität des Wassers, besonders wenn es aus dem Untergrund seiner eigenen Warf kommt, ein außerordentlich weites Herz hat. Und das ist gut so, denn ohne diese einsichtige Haltung des Halligbauern wäre das Tränken des Viehs auf der einen oder anderen Warf veterinärhygienisch schon längst problematisch geworden (vgl. Tabelle 2 und Abb. 8 und 12).

In der folgenden Tabelle, die dem Buch „Das Grundwasser in Schleswig-Holstein" von Heck (1932) entnommen wurde, sind die einzigen, im Schrifttum veröffentlichten Werte aus dem Bereich der Halligen zusammengestellt:

Tabelle 1

Name der Hallig	Tiefe der Entnahme	Art und Qualität des Wassers
Südfall	28 m	Salzwasser
Langeness	35 m	Salzwasser
Oland	40 m	Salzwasser (10 ‰)
Habel	35 m	schlecht
Langeness (Chr. Warf)	36 m	schlecht
Hamburger Hallig	34 m	gut

Danach haben alle Tiefbrunnen der genannten Halligen mit Ausnahme der Hamburger Hallig salziges, also unbrauchbares Wasser ergeben.

In der folgenden Tabelle 2 sind die Titrationswerte für das Tiefenwasser unter den Halligen Gröde, Nordstrandischmoor und der Hamburger Hallig auf Grund chemischer Analysen, die unmittelbar nach der Sturmflut 1962 durchgeführt wurden, zusammengestellt und des besseren Vergleichs wegen in den graphischen Abbildungen 8, 10 und 12 einander gegenübergestellt. Die jeweils links stehende, mit Kreuzsignatur versehene Kolumne gibt den Salzwert wieder, der zum Tränken des Viehes noch statthaft ist.

Tabelle 2

Die Salzgehalte vom Wasser der rund 30 m tiefen Rohrbrunnen der Halligen Gröde, Nordstrandischmoor und der Hamburger Hallig nach Analysen vom Februar, März und Juni nach der Sturmflut 1962

Name der Hallig	Warf	Tiefe	Datum	mg Kochsalz im Liter
1. Gröde	Knudswarf	30 m	23. 2. 1962	5 810
	Nommensen/		1. 3. 1962	8 130
	Schwennesen		13. 3. 1962	6 170
2. Hamburger Hallig	Hauptwarf	33 m	28. 6. 1962	530
	Vorland 500 m östl. der Hauptwarf	30 m	28. 6. 1962	160
	Vorlandsmitte			
	Fluchtwarf	31 m	28. 6. 1962	1 790
3. Nordstrandischmoor	Westerwarf			
	Jacobsen/Kruse	28 m	7. 3. 1962	10 590
	Neuwarf			
	Petersen/Linke	33 m	7. 3. 1962	4 690

b. Das Grundwasser der Hallig Gröde

Als der Verfasser am Tage nach der Sturmflut auf Hallig Gröde wegen der Wasserversorgung anfragte, kam die beruhigende Antwort: „Keen Not, wi hebt uns Kwell!" Bei dem ersten Besuch mit dem Hubschrauber wurde dieses Wasser aus dem rund 30 m tiefen Rohrbrunnen untersucht. Die Analyse ergab einen Salzwert von 5810 mg NaCl/Liter. Der Wert

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

war zwar hoch, lag aber tatsächlich nur wenig oberhalb des für Rinder noch zulässigen[2]) Salzwertes (Abb. 8, Block A und B). Aus dem gleichen Brunnen wurden zu späteren Zeiten weitere Proben untersucht. Am 1. März 1962 war der Salzwert erheblich angestiegen und hatte mit über 8000 mg NaCl die Zulässigkeitsgrenze weit unter sich gelassen (Block C auf Abb. 8). Das Vieh wurde mit diesem Wasser getränkt. Am 13. März 1962 war der hohe Salzwert auf 6170 mg und am 5. Juli auf 6000 mg zurückgegangen (Block D und E auf Abb. 8).

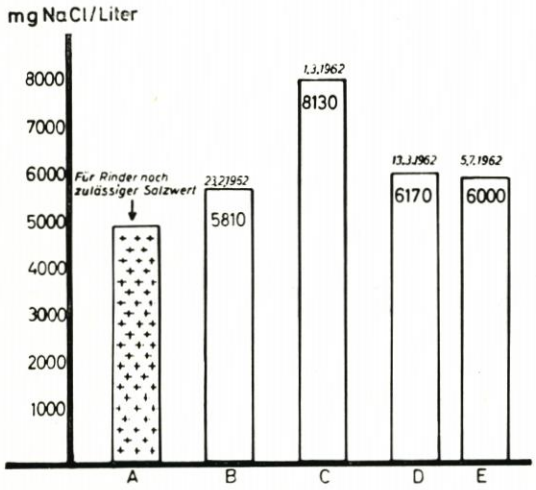


Abb. 8. Rohrbrunnen auf Hallig Gröde, etwa 30 m unter dem Maifeld der Hallig
Diagramm A gibt den für Rinder noch zulässigen Grenzwert an
Diagramm B: Salzgehalt des Brunnenwassers am 23. Februar 1962 (also unmittelbar nach der Sturmflut)
Diagramm C: Salzgehalt am 1. März 1962
Diagramm D: Salzgehalt am 13. März 1962
Diagramm E: Salzgehalt am 5. Juli 1962

c. Das Grundwasser der Hamburger Hallig

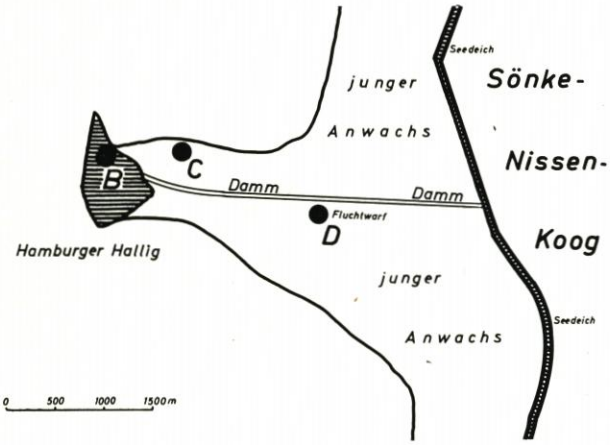


Abb. 9. Die Lage der Tiefbrunnen B, C und D im Gebiet der Hamburger Hallig

Im Schrifttum gibt es zwei voneinander unabhängige Angaben über die Beschaffenheit des tieferen Grundwassers im Bereich der Hamburger Hallig. In den Akten der Husumer Bauinspektion vom 17. Juni 1880 (zitiert nach MÜLLER 1917) wird von einer fiskalischerseits in der Südwestecke der Hallig niedergebrachten Bohrung (34,2 m unter Maifeld) berichtet:

Das erzielte Wasser ist so klar und frei von Beigeschmack, daß sich keines der auf den übrigen Marschinseln und Halligen sowie in der Festlandsmarsch hieselbst erbohrten Wasser auch nur annähernd damit vergleichen läßt.

Bei HECK (1932) finden wir für das Grundwasser der Hamburger Hallig die Wertbezeichnung „gut" (vgl. Tabelle 1). Da genaue Zahlenangaben fehlen, wurde das Wasser von drei

[2]) Nach VAN VEEN (1956) wird der für Rinder noch zulässige Salzwert mit rund 5000 mg NaCl/Liter, der entsprechende Wert für die menschliche Ernährung mit rund 500 mg NaCl/Liter angegeben.

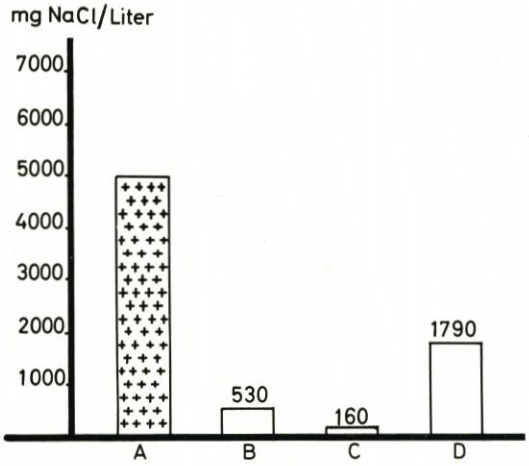


Abb. 10. Die Salzwerte in den Tiefbrunnen B, C und D der Hamburger Hallig
Diagramm A gibt den für Rinder noch zulässigen Grenzwert an
Diagramm B: Tiefbrunnen der Hauptwarf
Diagramm C: Tiefbrunnen im hallignahen Vorland
Diagramm D: Tiefbrunnen der Fluchtwarf, auf halbem Weg zwischen Festland und Hallig gelegen

Rohrbrunnen im Bereich der Hamburger Hallig auf seinen Salzgehalt am 28. Juni 1962 untersucht (Tabelle 2 und Abb. 9 und 10). Alle drei Brunnen führten brauchbares, zum Teil sogar gutes Wasser. Die Werte lagen sämtlich weit unter der Zuträglichkeitsgrenze. Der Brunnen C könnte sogar ohne Bedenken für die menschliche Ernährung gebraucht werden. Damit nimmt das tiefere Grundwasser der Hamburger Hallig im Vergleich mit allen übrigen Halligen eine Sonderstellung ein, und das oben genannte Zitat aus dem Jahre 1880 findet erneut seine Bestätigung. Immerhin bewegen sich die Werte in den erheblichen Spannen zwischen 160 mg und 1790 mg. Wenn auch für diese Unterschiede keine Erklärung gegeben werden kann, so dürfte doch die örtliche Verteilung dieser Rohrbrunnen von besonderem Interesse sein. Dem Lageplan, Abbildung 9, ist zu entnehmen, daß sich Block B der Abbildung 10 auf den Tiefbrunnen der Hauptwarf bezieht, Block C der Abbildung 10 auf den in geringer ostwärtiger Entfernung (etwa 500 m) im westlichen Vorland niedergebrachten Brunnen (Lageplan Brunnen C) und Block D der Abbildung 10 auf den Tiefbrunnen, der sich auf der zwischen dem Sönke-Nissen-Koog und der Hauptwarf errichteten Fluchtwarf befindet (Lageplan, Brunnen D)[3]).

d. Das Grundwasser der Hallig Nordstrandischmoor

Das Grundwasser unter dieser Hallig verdient aus zweierlei Gründen eine besondere Erörterung, einmal wegen der stark unterschiedlichen Salzwerte von Brunnen zu Brunnen, zum anderen aber, weil es auf dieser Hallig keine Fethinge gibt. Der Halligbauer ist also darauf angewiesen, sein Vieh mit dem Wasser zu tränken, das die bei rund 30 m Tiefe liegenden Rohrbrunnen liefern. Auf Abbildung 12 sind die am 7. März 1962 und am 27. September 1962 in den Brunnen der Neuwarf (im Osten der Hallig, Abb. 11) und der Westerwarf (im Westen der Hallig) gefundenen Salzwerte graphisch zur Zulässigkeitsgrenze in Beziehung gesetzt. Das Grundwasser unter der Neuwarf (Block B und C, Abb. 12) bewegt sich im Salzgehalt noch eben unterhalb der Bekömmlichkeitsgrenze (Block A). Unter der Westerwarf dagegen steigt der

[3]) Diese drei Rohrbrunnen der Hamburger Hallig zeigen nach der Akte der Grundwasserkontrollen der Forschungsstelle Westküste ab 1956 ähnliche und außerordentlich konstante Salzwerte.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Salzgehalt an den gleichen Entnahmetagen auf mehr als das Doppelte an und erreicht mit über 10000 mg NaCl/Liter Werte (Block D und E auf Abb. 12), die veterinärpolizeilich die sofortige Benutzungssperre der Pumpenanlage bewirken müßten[4]). Jedenfalls überrascht die Bemerkung einer Halligbäuerin — vom Verfasser nach der Milchleistung der zur Westerwarf gehörigen Kühe befragt — nicht, als sie bitter erklärte, daß ihre Kühe bis in den Juli hinein tagaus tagein vor Durst brüllend auf der Halligweide gestanden und kaum Milch gegeben hätten. Wer einmal Tag für Tag vor Durst brüllendes Vieh erlebt hat, wird Verständnis haben für die Sorge und herbe Auskunft der Halligbäuerin.

Zusammengefaßt ergeben die oben diskutierten Analysenwerte, daß sie sowohl von Hallig zu Hallig als auch von Warf zu Warf trotz annähernd gleicher Tiefenlage der Rohrbrunnen

[4]) Im März 1962 ist die Westerwarf nach dem Vorliegen der ersten Analysen vor der unvermischten Verwendung des Wassers aus der Pumpe gewarnt worden.

Aus Die Küste VI, 1, 1957 — Aufn. E. Wohlenberg

Abb. 11. Neuwarf im Osten der Hallig Nordstrandischmoor
(Die hier abgebildeten alten Hallighäuser sind inzwischen durch moderne Bauten ersetzt, vgl. Abb. 44)

außerordentlich verschieden sind. Wenn auch bei keinem Rohrbrunnen unmittelbarer Kontakt mit dem nahe gelegenen Meerwasser besteht, so muß doch angenommen werden, daß zum Beispiel die Brunnen im Bereich der Hamburger Hallig ihr gutes Wasser von der hohen Bredstedter Geest (Stollberg) erhalten und sie außerdem weit besser gegenüber dem umgebenden Meerwasser abgeschirmt sind als die Brunnen auf Gröde und auf Nordstrandischmoor. Wäh-

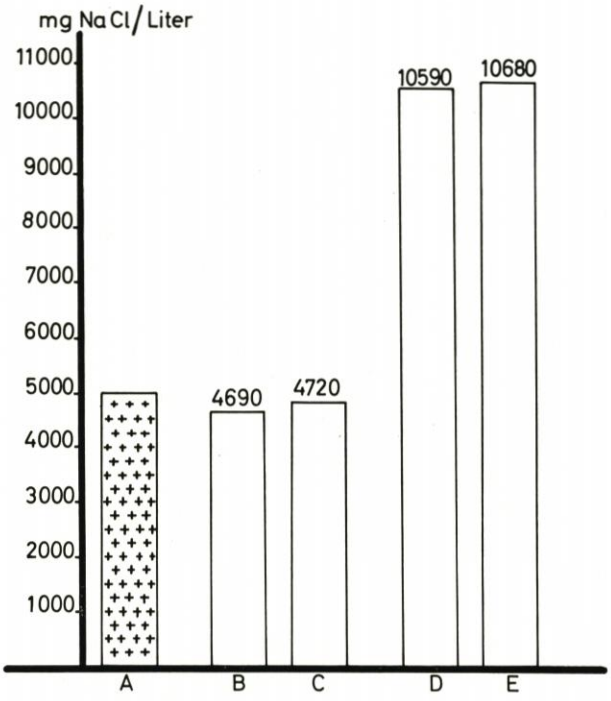


Abb. 12. Die Salzwerte in den Tiefbrunnen der Hallig Nordstrandischmoor

Diagramm A gibt den für Rinder noch zulässigen Grenzwert an
Diagramm B: Tiefbrunnen der Neuwarf im Osten der Hallig am 7. 3. 1962
Diagramm C: Tiefbrunnen der Neuwarf im Osten der Hallig am 27. 9. 1962
Diagramm D: Tiefbrunnen der Westerwarf im Westen der Hallig am 7. 3. 1962
Diagramm E: Tiefbrunnen der Westerwarf im Westen der Hallig am 27. 9. 1962

rend auf Gröde und bei der Neuwarf im östlichen Abschnitt von Nordstrandischmoor die Rindviehhaltung noch möglich ist, dürfte sie im westlichen Teil der nur vier Kilometer langen Hallig im Bereich der Westerwarf nicht zu verantworten sein. Erst die zentrale Wasserversorgung vom Festland her wird hier Wandel schaffen können. Von der Hallig her ist ohne Neubau von Fethingen keine Lösung möglich.

Die in weniger als acht Tagen vorgefundenen Schwankungen von mehr als 2000 mg Salz in einem und demselben Brunnen der Hallig Gröde (Abb. 8, Block B und C) deuten darauf hin, daß der Brunnen irgendwie unter dem Einfluß des umgebenden Meerwassers stehen muß.

Abschließend bleibt nur die entsagungsvolle Feststellung, daß keine Aussicht besteht, durch tiefere Bohrungen besseres Wasser anzutreffen, auch nicht in größerer Tiefe, denn Anfang des Jahrhunderts hat der preußische Staat eine Wasserbohrung auf der Hallig Oland bis zu 420 m Tiefe niedergebracht. Das Ergebnis war negativ.

So vermag also das tiefere Grundwasser unter den Halligen die Voraussetzungen weder für die Ernährung des Menschen noch für eine gesunde Viehhaltung zu erfüllen, und es bleibt dem Halligbewohner bis zur Durchführung der zentralen Wasserversorgung nur die Befolgung der 2000jährigen Tradition, das Regenwasser „in Gruben zu sammeln", um mit der einleitend zitierten Darstellung des römischen Präfekten unsere Betrachtungen über das Grundwasser auf den Halligen abzuschließen.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

V. Die Warf mit Sood und Fething als Lebensgrundlage

Dem eustatisch bedingten Anstieg des Meeresspiegels entsprechend, sind die Warfen im Laufe der Jahrhunderte in größeren Zeitabständen mehrfach — wenn auch niemals ausreichend — erhöht worden. So wurden zum Beispiel nach der letzten Katastrophenflut von 1825 einige Halligwarfen um rund 100 cm erhöht. Die Lebensumstände jedoch blieben die gleichen wie zuvor, und Fething und Sood sind nach wie vor die lebensnotwendigen Bestandteile der Halligwohnstätte.

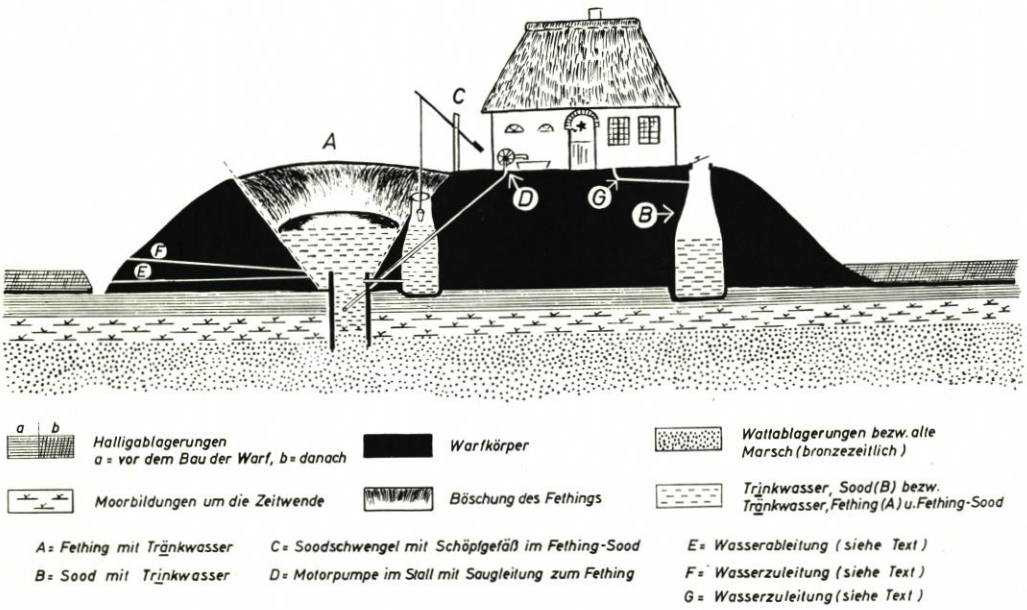


Abb. 13. Schematische Darstellung der Trink- und Tränkwasserversorgung einer Hallig

Erläuterungen zu Abbildung 13

1. Trinkwasser
   Das Trinkwasser wird im Haus- bzw. Gartensood (B) gespeichert. Das Regenwasser tropft vom Rethdach in eine das Haus zum Teil umlaufende, gepflasterte Rinne und fließt gesammelt durch den Zuleiter (G) in den Trinkwasser-Sood (B), der somit die Funktion einer Zisterne hat. Das Wasser wird zum Gebrauch in der Küche mit Eimern geschöpft oder mit der Pumpe entnommen.
2. Tränkwasser
   a) Der Fething (A) speichert das Tränkwasser für das Vieh. Die trichterförmige Hohlform reicht bis in den tieferen Halliggrund hinab. Bei monatelanger Trockenheit führt der Fething nur noch im Bereich des in den tieferen Untergrund hinabführenden „Kuhlings" Wasser. (Kuhling, vgl. Abb. 15, ist ein Holzschacht, der in den [meistens schlechten] Grundwasserbereich hinabführt.)
   b) Das Schöpfen des Tränkwassers
   An der inneren Böschung des Fethings erkennt man auf einigen Warfen die Öffnung eines kleineren Soods. Dieser Fething-Sood steht in seinem unteren Teil durch ein hölzernes Siel ständig mit dem Hauptfething in Verbindung, so daß der Wasserstand in beiden Teilen gleich ist. Noch die vorige Generation der Halligbewohner tränkte das Vieh durch Schöpfen des Wassers mit Hilfe eines Ziehschwengels (C) aus einem solchen Fething-Sood.
   c) Motorpumpe
   Heute gehört der Brunnenschwengel (C) nicht mehr zum Bild der Halligwarf. Statt dessen wird das Tränkwasser mit Hilfe einer Motorpumpe (D) (vgl. auch Abb. 15 und 17) durch eine in die Tiefe des Fethings hinabführende Rohrleitung unmittelbar in den Stall gepumpt.

d) Güteeigenschaften des Tränkwassers
Die Güte des Tränkwassers hat sich nach dem Verlassen der alten Schöpfweise (Oberflächenwasser aus C) wesentlich verschlechtert. Nach den jetzt durchgeführten chemischen Analysen in den verschiedenen Tiefenzonen des Fethings wird durch die Saugleitung mit Motorpumpe (D) stets das mehr oder weniger versalzene Tiefenwasser nach oben befördert, während das gute, praktisch salzfreie Oberflächenwasser ungenutzt (!) oben verbleibt.

3. Sturmflut
Schlagen während einer Sturmflut die Wellen in den Fething, dann ist das Wasser wegen des hohen Salzgehaltes vollkommen unbrauchbar (vgl. Abb. 4 und Tabelle 5). Es muß sofort nach der Sturmflut entfernt werden. Durch das hölzerne Siel (E) läßt man den verdorbenen Inhalt des Fethings nach außen ablaufen, der im Kuhling verbleibende Rest wird von Hand ausgeschöpft. Das erste an der äußeren Warfböschung nach dem Regen gesammelte Süßwasser wird durch ein zweites, nach innen abfallendes Siel (F) (vgl. auch Abb. 14) durch Handschöpfung wieder zugeführt. Erst dann kann das Vieh wieder notdürftig aus dem Kuhling getränkt werden.

a. Sood und Fething als Wassersammler

Abbildung 13 stellt einen schematischen Schnitt durch eine Halligwarf dar. Sie zeigt die Anordnung von Haus, Fething, Fething-Sood und Garten-Sood. In vielen Fällen findet man am inneren Rand der Fethinge noch den Fething-Sood, heute allerdings unbenutzt. Die Wandung der älteren ist noch aus Soden (Rasensoden), die der jüngeren aus Ziegelsteinen gemauert, und zwar flaschenförmig in der Form eines sich nach oben zur Öffnung hin verjüngenden Zylinders, dessen Öffnung durch einen Holzdeckel gesichert ist. Am Fethingrand der Hallig Süderoog ist zum Beispiel ein solcher Nebensood aus Rasensoden noch heute erhalten, ebenfalls auf Hallig Gröde. Heute haben diese mit dem Fething kommunizierenden Seitenbrunnen keine Bedeutung mehr. Als nämlich die Handpumpe und später die Motorpumpe auch auf der Hallig verwendet wurden, verlegte man die Rohrleitung unter Umgehung des Fething-Soods vom Stall unmittelbar in den zentralen, tiefsten Teil des Fethings und füllte den Behälter im Stall durch direkte Zuleitung. Damit wurden die Seitenbrunnen an der Innenwandung der Fethinge funktionslos. Man tut infolgedessen nichts mehr für ihre Unterhaltung; sie werden bald ganz verschwunden sein. Damit gehört das Bild des Ziehbrunnens neben den Fethingen bereits der Geschichte an. Vor einigen Jahren sah der Verfasser den letzten noch auf der Hanswarf der Hallig Hooge.

Der Sood für die Versorgung des Menschen liegt meistens im Garten vor dem Haus, ursprünglich ebenfalls aus Rasensoden aufgebaut von zylindrischer, sich nach oben verjüngender Form. Sein Wasser gelangt vom Rethdach in eine vor dem Hause entlanglaufende offene Rinne und von dieser durch ein flach eingegrabenes Siel in den Sood. Die obere Öffnung liegt meistens in gleicher Höhe mit den Gartenbeeten und wird durch einen Holzdeckel, durch eine Eisenplatte, zum Beispiel eines ausgedienten Bileggers (eiserner Ofen) oder durch einen alten Mühlstein verschlossen. Bei den jüngeren dieser Hauszisternen (etwa 19. Jahrhundert) wurde die Sodenwandung in der gleichen äußeren Form durch aufgemauerte Ziegel ersetzt, und heute verwendet man natürlich auch schon fabrikfertige Betonringe.

Die meisten Fethinge sind in der Regel so gebaut, wie die schematische Abbildung 13 wiedergibt. Eine besonders sinnvolle Einrichtung, einen erfreulich sauberen Eindruck und ein gepflegtes Äußeres zeigte der Fething auf der Peterhaitzwarf der Hallig Langeness (Abb. 16 bis 18). Wie die schematische Abbildung 18 erkennen läßt, besitzt der Fething einen geschlossenen „Kuhling", und zwar nicht abgestützt durch eine mehr oder weniger primitive Holzkonstruktion, wie Abbildung 15 zeigt, sondern durch einen Sood, der den zentralen Teil des Fethings um weitere rund 2,00 m in den Untergrund der Warf vertieft. Die Trockenheit

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

im Juli 1962 bot eine günstige Gelegenheit, diese besondere Konstruktion zu untersuchen (Abb. 18). In seinem tiefsten Teil befindet sich ein für die Pumpenleitung durchbohrter Holzdeckel, der den darunter befindlichen Kuhlingsood gegen Verschlammung abzuschirmen hat. Die Wandungen des Soods waren noch in der alten Weise aus Soden aufgebaut. Bei einer Ge-

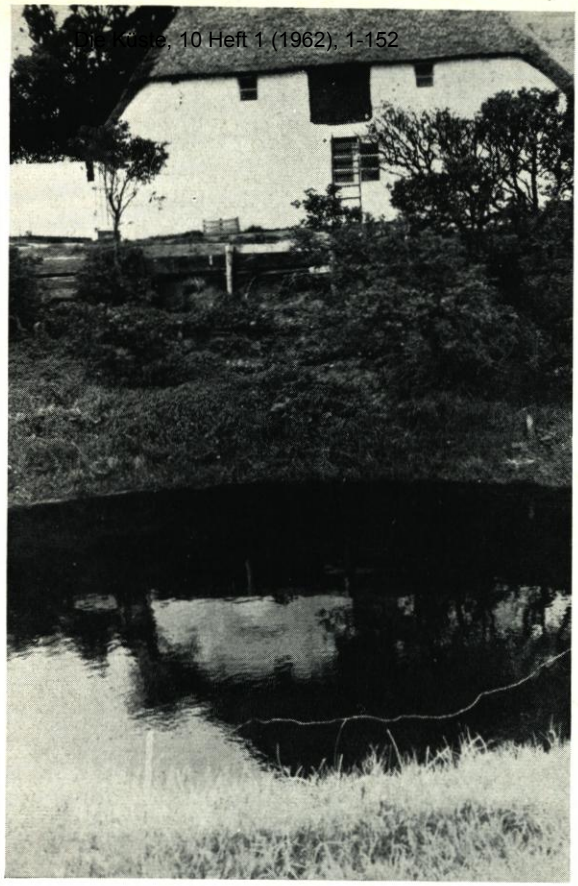
Aufn. E. Wohlenberg

Abb. 14. Das mit Gefälle nach außen geneigte „Rohr" dient zum Entleeren des Fethings nach der Sturmflut; durch das nach innen geneigte Siel gelangt das erste Frischwasser wieder in den Fething

Aufn. E. Wohlenberg

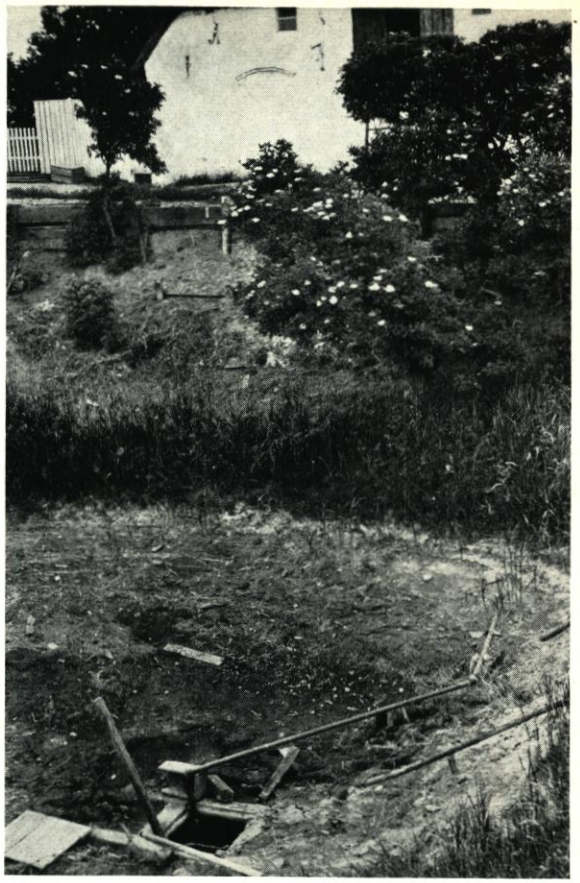
Abb. 15. Während einer länger anhaltenden sommerlichen Trockenzeit wird der Kuhling der Fethinge „gekleit" (vom Schlamm gesäubert)

samttiefe von etwa 2,00 m führte dieser Kuhlingsood noch 80 cm Wasser (Abb. 18, dreifache Wellenlinie). Nach Angabe des Besitzers führt dieser Kuhlingsood — auch in extremen Trockenzeiten — stets sauberes Wasser in ausreichender Menge. Noch im Hochsommer 1962 hatte das Tiefenwasser nur einen Salzwert von 3820 mg, lag also durchaus innerhalb der Gebrauchsgrenze als Tränkwasser. Die Wasseroberfläche im Sood war in jenen Tagen auf 120 cm unterhalb des Abschlußdeckels, der mit dem tiefsten Teil des Fethings in einer Ebene liegt, abgefallen. Zwei Monate später hatten die Niederschläge nicht nur den Kuhlingsood aufgefüllt, sondern auch den darüber liegenden Fething (doppelte Wellenlinie auf Abb. 18 und Photo Abb. 16). Der Winterwasserstand ist auf der schematischen Abbildung durch die einfache Wellenlinie gekennzeichnet.



Aufn. E. Wohlenberg

Abb. 16. Fething auf Peterhaitzwarf (Langeness) bei normalem Wasserstand



Aufn. E. Wohlenberg

Abb. 17. Der gleiche Fething wie auf Abb. 16 nach dem Leerpumpen nach der Sturmflut vom Februar 1962. Der beim tiefsten Teil des Fethings noch weitere zwei Meter in den Untergrund führende Kuhling wird in Trockenzeiten vom halligeigenen oberen Grundwasser gespeist

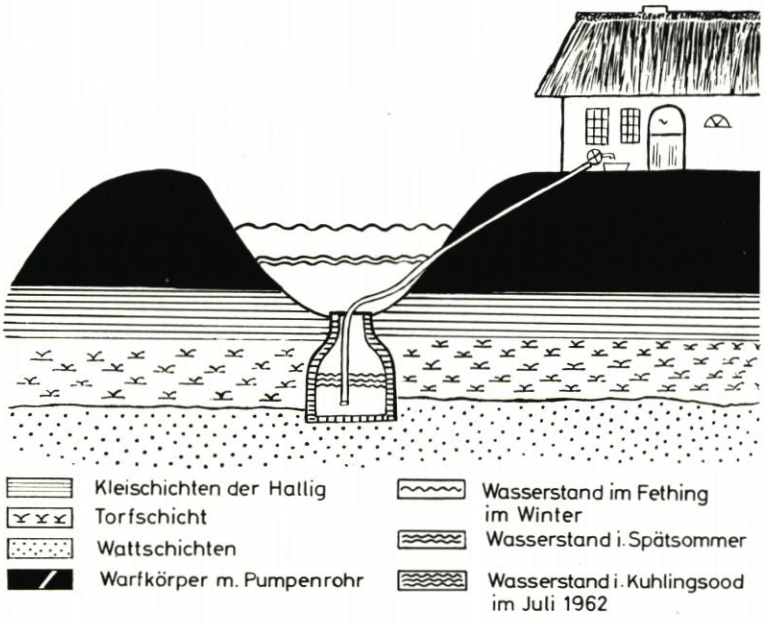


Abb. 18.
Der gleiche Fething wie auf Abb. 16 und 17. Die schematische Darstellung läßt die sinnvolle Wasserspeicherung und Wasserversorgung erkennen. Hier übernimmt ein aus Rasensoden aufgebauter, sich nach oben verjüngender und am Kopfende gegen Verunreinigung und Verschlammung abgedeckter Sood die Funktion des sonst offenen Kuhlings (vgl. Abb. 15). Die gewellten Linien zeigen die jahreszeitlich bedingten Wasserstände an. Der Boden dieses Kuhlingsoods liegt noch etwa zwei Meter unter der Mitte des Fethings und führte im Hochsommer (Juli 1962) noch 80 cm Wasser von einwandfreier Beschaffenheit

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

b. Die Höhenlage der Wohnhorizonte

Obwohl die Warfen unserer Halligen, verglichen mit den Warfsiedlungen Eiderstedts und Dithmarschens, zu den jüngsten der schleswig-holsteinischen Westküste gehören, kann man bei gelegentlichen Bodenaufschlüssen auch bei ihnen verschiedene Erhöhungen feststellen. Das war besonders eindrucksvoll, als das Meer bei fortschreitender Erosion Ende der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts die Alt-Peters-Warf im Westen der Hallig Nordmarsch (Langeness) zerstörte und damit diese Warf als das letzte Opfer in die Geschichte der Halligtragödie eingehen ließ. Sie mußte von ihren Bewohnern aufgegeben werden[5]).

In den Sturmfluten der Jahre 1916 und 1936 waren die auf den Halligen angerichteten Schäden so groß, daß seither der Ruf nach obrigkeitlicher Abhilfe nicht mehr verstummte. Vor allem war es der Halligbauer Ludwig Andresen von der Warf Süderhörn auf Langeness, der immer wieder auf die vollkommen unzulängliche Höhenlage der Warfen hingewiesen hat.

Tabelle 3

Höhe der Türschwellen in m NN auf den Warfen im Westen der Hallig Langeness

(nach dem Nivellement der Forschungsstelle Westküste im Sommer 1950)

1. Rixwarf		+ 4,94	6. Mayenswarf		+ 4,27
		+ 4,93			+ 4,25
					+ 4,26
2. Hilligenley	Schule	+ 4,63			+ 3,63
	Schule	+ 4,60		Ost	+ 3,79
	Ostseite der Warf	+ 4,27			+ 3,92
		+ 4,06			+ 4,15
		+ 3,93			+ 4,12
		+ 4,05			+ 3,97
	Westseite	+ 4,17		West	+ 4,67
3. Treuberg	Nord	+ 3,96	7. Norderhörn		+ 3,97
	Nord	+ 3,84		Anna Petersen	+ 3,47
	Süd	+ 3,69			+ 4,24
	Süd	+ 3,68		P. Hansen	+ 3,58
4. Neu-Peters-Warf	Süd	+ 4,45	8. Süderhörn	Lorenzen	+ 3,56
				L. Andresen	+ 4,20
5. Kirchhofswarf		+ 4,82			
		+ 4,34	9. Ketelswarf (9 Türschwellen)		+ 3,68 bis + 4,38

[5]) Der verbliebene Rest dieser Warf wurde vom Staat übernommen und nach kostspieliger Sicherung der gesamten Warfböschung durch einen Panzer aus Granit und Basalt als Warf für das Leuchtfeuer Nordmarsch auf Langeness ausgebaut (vgl. Lageplan Abb. 19). Einige hundert Meter ostwärts der alten Warf wurde als Ersatz der verlorengegangenen bäuerlichen Siedlung eine neue Warf von privater Hand errichtet. Diese sogenannte Neu-Peters-Warf erforderte eine Bauzeit von sechs Jahren (Meiborg 1896). Sie stand während der letzten Sturmflut vom Februar 1962 erneut im Mittelpunkt des Halliggeschehens (vgl. Abb. 20, 21 und 22).

Im Jahre 1950, also drei Jahre vor der holländischen Sturmflutkatastrophe, hat die Forschungsstelle Westküste sämtliche Wohnhorizonte auf den westlichen Warfen der Hallig Langeness (Nordmarsch) nivellitisch einmessen lassen. Die auf NN bezogenen Höhenwerte sind in der Tabelle 3 zusammengestellt (vgl. Lageplan Abb. 19). Sie zeigt, daß die meisten Wohnhorizonte auf rund + 4,00 m NN liegen, was einer Höhe von 2,70 m über dem gewöhnlichen Hochwasser entspricht. Wenn der Sturmflutscheitel an der Husumer Seeschleuse in der Nacht vom 16. zum 17. Februar 1962 mit + 4,70 m NN gemessen wurde, und die entsprechende Höhe im Bereich der Halligen um etwa 0,30 bis 0,50 m niedriger angenommen wird (vgl. auch

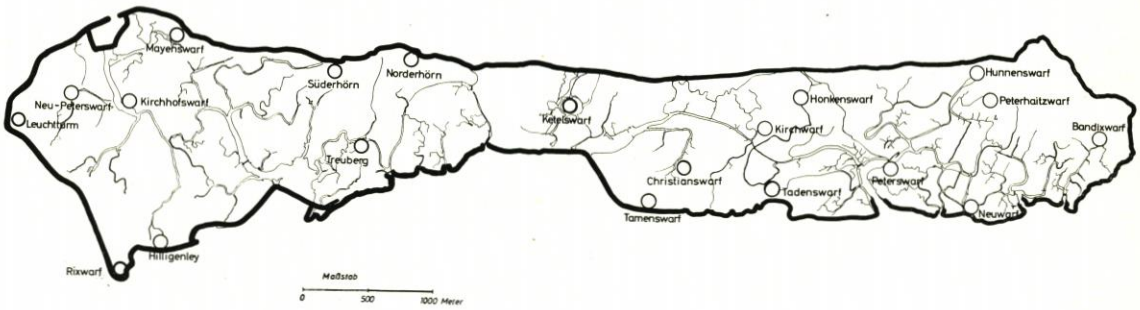


Abb. 19. Die Lage der Warfen auf Hallig Langeness

Abb. 2 auf Seite 88), mithin + 4,00 m NN betragen haben dürfte, so mag daraus der hohe Grad an Problematik und Unsicherheit für das Leben der Halligleute ohne weiteres zu erkennen sein.

Während der gleichen Vermessung ließ der Verfasser damals auch die Höhe der Fething-Umwallungen nivellitisch einmessen. Die damals (1950) festgestellten Höhenwerte finden sich für die Warfen von Hallig Nordmarsch (Langeness) in der Tabelle 4.

Tabelle 4

Höhe der Fething-Umwallung in m NN auf den Warfen von Nordmarsch, dem westlichen Teil der Hallig Langeness

(nach dem Nivellement der Forschungsstelle Westküste im Sommer 1950)

Fething Hilligenley		+ 3,37	Fething Norderhörn	West	+ 4,79
		+ 3,77		Süd	+ 4,21
Fething Treuberg	Nord	+ 4,20	Fething Süderhörn	West	+ 4,73
		+ 4,52		Nord	+ 4,49
Fething Neu-Peters-Warf		+ 4,13	Fething 1 Ketelswarf	Nordwest	+ 4,09
Fething Kirchhofswarf		+ 4,11	Fething 2 Ketelswarf	West	+ 4,11
Fething 1 und 2 Mayenswarf		+ 3,23		Nord	+ 4,09
		+ 4,02			

Für die Sturmflutsicherheit der Fethinge sind zwei Eigenschaften maßgebend, die äußeren Böschungsverhältnisse und die Höhe der Umwallung. Den nach Westen und Nordwesten

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

orientierten Teil der Umwallung hat der Halligbauer wegen der vorherrschenden Windrichtung bei Sturmflut vorsorglich einige Dezimeter höher gelegt als an der Leeseite.

Besteht bei den Türschwellen (Tabelle 3) von Warf zu Warf ein maximaler Unterschied von nahezu 150 cm, so bei den Fethingen von fast 160 cm. Man ersieht aus diesen Unterschieden, daß der Halligbauer ausgeprägter Individualist ist, denn sein Bedürfnis nach Sicherheit vor dem Meer hat bis heute keine Normung aufkommen lassen. Es ist durchaus nicht so, als spielte hierbei wirtschaftliche Stärke die erste Rolle. In ebensolchem Umfang sind die verschiedenen Möglichkeiten persönlicher Einsicht in die kausalen hydrologischen Zusammenhänge, aber auch die jeweiligen Charaktereigenschaften die Ursache.

C. Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962

I. Der völlige Zusammenbruch der Wasserversorgung

Projiziert man in einer bildlichen Darstellung den Sturmflutspiegel auf die Höhenlinie der Wohnhorizonte (Tabelle 3), so erhellt, daß alle Fethinge und Söde auf den Halligen hoch von der See überstaut gewesen beziehungsweise von den Wellen vollgeschlagen sein müssen. So war es in der Tat ohne Ausnahme. Als das Wasser am Morgen des 17. Februar bei noch immer hartem Sturm langsam abfiel, blieben alle Fethinge bis an den Rand mit Meerwasser gefüllt zurück (Abb. 4, Seite 89, und Abb. 20). Dasselbe war der Fall mit den Hauszisternen, den Söden im Garten. Alles Trinkwasser für den Menschen war durch das Eindringen von Meerwasser unbrauchbar geworden. Massiv gemauerte Soodaufbauten — zum Schutz gegen die Sturmfluten gedacht — hatte die Brandung zum Beispiel auf der Neu-Peters-Warf zur Seite geschoben und zertrümmert (Abb. 22). Tabelle 5 gibt die im Fething und in den Söden der Neu-Peters-Warf nach dem Abklingen der Sturmflut gemessenen Salzgehaltswerte wieder.

Tabelle 5

Der Salzgehalt im Fething und in den beiden Söden der Neu-Peters-Warf nach der Sturmflut

Fething (vgl. Abb. 20)	27 770 mg NaCl
Sood Nord (vgl. Abb. 21)	28 510 mg NaCl
Sood Süd (vgl. Abb. 22)	27 680 mg NaCl

Da die See meterhoch in den Häusern gestanden und viel Schaden angerichtet hatte (die eingetretenen Schäden an Gebäuden und Inneneinrichtungen sind nicht Gegenstand dieses Berichtes), waren auch die in der Küche vorsorglich bereitgestellten sogenannten „eisernen" Wasserreserven verdorben und unbrauchbar geworden. Überdies gelang es vielen Halligleuten erst in letzter Minute, ihr nacktes Leben dadurch zu retten, daß sie auf den Dachboden stiegen oder schließlich — wenn der Aufgang zum Boden bereits vom Wasser blockiert war — mit letzter Kraft die Holzdecke ihrer bereits überschwemmten Stuben durchbrachen, um sich auf dem darüber befindlichen Boden in Sicherheit zu bringen. Unter solchen Umständen war der Gedanke an Trinkwasser natürlich zweitrangig geworden.

Somit hatte der Wassernotstand den höchsten, überhaupt möglichen Grad erreicht, er konnte umfassender nicht gedacht werden. Das Maß dieses Notstandes wird erst in seiner ganzen Schwere verständlich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß auf den beiden größten Halligen, Langeness und Hooge, 203 und 172 Menschen wohnen und auf Langeness ein

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Aufn. E. Wohlenberg

Abb. 20. Halliggehöft Neu-Peters-Warf auf Hallig Langeness unmittelbar nach der Sturmflut. Der Fething ist bis zum Rand mit Meerwasser gefüllt (Salzwert siehe Tabelle 5).
Der Wohnteil des Hauses ist fortgespült. Die Bewohner retteten sich, da der Rest des Hauses einzustürzen drohte, auf dem rechts im Bild erkennbaren Absatz des Heuklampen

Aufn. E. Wohlenberg

Abb. 21. Der zweite Sood war nach oben durch Mauerwerk aus Ziegelsteinen gesichert, der den Wellen standhielt. Der hölzerne Verschluß wurde jedoch zertrümmert (Salzwert siehe Tabelle 5)

Aufn. E. Wohlenberg

Abb. 22. Vor dem zerstörten Haus auf Neu-Peters-Warf hatte der eine der beiden vor dem Haus in den Warfkörper hinabreichenden Söde einen gemauerten Aufsatz aus Beton. Die Sturmflutwellen haben diesen mehrere Meter weit vom Hals des Soodes weggeschoben (weißer Pfeil auf Abb. 20)

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Viehbestand von 650 Rindern und 700 Schafen und auf Hooge ein solcher von 450 Rindern und 180 Schafen täglich mit Tränkwasser zu versorgen war[6]).

II. Die Behebung des Notstandes „Wasser"

Jede Halliggeneration hat ihre eigenen Erfahrungen mit dem Meer. Allerdings hatte die jetzt lebende Generation eine Sturmflut vom Ausmaß und von den weitreichenden Folgen dieser Flut noch nicht erlebt. Kein einziger Wirtschaftsbetrieb, keine einzige Familie ist ohne schweren, ja zum Teil schwersten Schaden davongekommen.

Glücklicherweise ist nur wenig Vieh ertrunken, auf Langeness 65 Schafe und auf Hooge zwei Rinder und drei Schafe. In der Sturmflut von 1825 verlor Langeness 115 Rinder und 650 Schafe, und Hooge 50 Rinder und 140 Schafe. Die Opfer an Menschen zählten 1825 auf den Halligen Hooge, Nordmarsch und Langeness mit Butwehl insgesamt fünfzig Personen (siehe Aufs. „Gutachtliche Stellungnahme . . .", 1957). Aber sofern nur das Leben erhalten blieb, wußte jeder Mann, jede Frau und auch jedes Kind auf der Hallig, was beim Eintritt der mit Sorge erwarteten ersten Ebbe nach dem Sturm zu tun ist. Das ist der grundlegende Unterschied zu den Bewohnern hinter den Deichen des Festlandes. Der Halligbewohner stellt die Möglichkeiten der Gefahr jederzeit in Rechnung und immer respektiert er das Meer als den stärkeren Partner.

Tagelang stand das Vieh vor Durst brüllend in den Ställen vor vollen Tränken, ohne daß es von dem versalzten Wasser das ständig steigende Durstempfinden zu stillen vermochte. Infolge der aufgenommenen Chloride gab es bei den Rindern keine festen Ausscheidungen mehr. Angesichts dieser grenzenlosen Notlage wurde behördlicherseits eine bis dahin in der langen und bedrückenden Geschichte der Halligen noch nicht gekannte Aktion „Trinkwasser" spontan ins Leben gerufen und ebenso spontan zur Ausführung gebracht.

In früheren Jahrhunderten pflegten nach ähnlichen Katastrophen der König oder der Herzog auf die Halligen zu kommen, um Abgabeerleichterungen zu gewähren und hier und da vielleicht die erste Not in Form von landesherrlichen Almosen zu lindern. Nach der Sturmflut am 16. Februar 1962 waren das ganze Festland bis an Deutschlands Grenzen im Süden und Westen, und auch das Ausland sofort hilfsbereit zur Stelle und leisteten wirkliche Hilfe!

Das erste, was die bäuerliche Halligfamilie in solchen Lagen zu tun hat, ist das Entleeren der Söde und Fethinge, damit der erste Regen, der nach einer Sturmflut in der Regel einzutreten pflegt, in den entleerten Fethingen und Söden sogleich wieder aufgefangen werden kann. Nur dann kann das Leben auf der Hallig weitergehen. Aber ein bis an den Rand mit Meerwasser gefüllter Fething benötigt mehrere Tage, um durch das enge, in den Warfkörper eingebaute hölzerne Siel (vgl. Abb. 14) leerzulaufen. Zudem stellte es sich leider auf mehr als einer Warf heraus, daß die Siele nicht mehr funktionsfähig waren. Da sprang das Festland ein und schickte Motorpumpen und fachkundige Männer der Feuerwehren. Es war eine Freude zu sehen, wie die leistungsfähigen modernen Motorpumpen — die meisten zum ersten Male im Einsatz — an die Beseitigung der großen Salzwassermassen herangingen. Zuerst kamen die Söde, die Hauszisternen, an die Reihe, damit wieder Trinkwasser für die Familie gespeichert werden konnte. Auch die Spezialpumpen des Marschenbauamtes Husum und einiger privater Unternehmer standen in den kleinen, vom Meer verwüsteten, zum Teil fortgespülten Halliggärten, um den Sood zu entleeren oder auch am Rand der Fethinge (vgl. auch Abb. 23).

In wenigen Tagen war diese sonst so schwierige und zeitraubende Arbeit getan. Da die Fethinge nach dem ersten Leerpumpen noch viel nachdrängendes salziges Sickerwasser zeigten, mußte die Entleerung in Zeitabständen wiederholt werden. Hierbei half an erster Stelle die auf der Hallig heimische Feuerwehr, deren Männer in den beiden Wochen, die bis zur restlosen Behebung des Notstandes vergingen, durch ihren Einsatz Tag und Nacht Übermenschliches geleistet haben.

[6]) Die landwirtschaftliche Statistik rechnet mit einem Tränkwasserverbrauch je Großvieheinheit von 50 l täglich.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Noch bevor diese Arbeit getan war, das heißt Söde und Fethinge geleert waren, kamen die Wassertransportschiffe vom Festland und gingen draußen vor der Hallig vor Anker. Abbildung 3 auf Seite 89 zeigt den denkwürdigen Augenblick, als die AMRUM am Morgen des 17. Februar noch bei hartem Sturm die ersten 3000 Liter Wasser bei Rixwarf auf Langeness unter schwierigen technischen Umständen abgab. Die Hallig selbst war zu diesem Zeitpunkt noch landunter, da der anhaltende Sturm die Ebbe nur sehr zögernd eintreten ließ. Während

Abb. 23.
Die aus Husum und z. T. aus dem Süden Deutschlands sogleich zur Hilfeleistung herbeigeeilten Schüler (in früheren Jahren Gäste im Jugendferienlager „Hermann Paulsen") bringen eine Motorpumpe in Stellung, um den Fething der Hallig Süderoog leerzupumpen

Aufn. E. WOHLENBERG

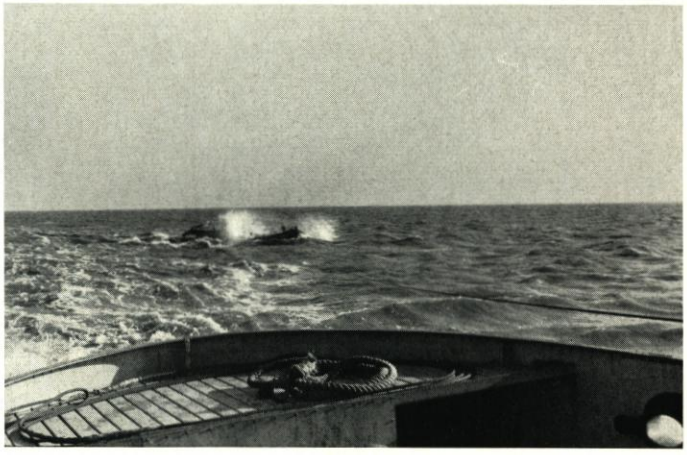


Abb. 24.
Die gefüllte Wasserschute des Marschenbauamts Husum im Schlepp des Motorbootes LANGENESS auf dem Wege von Husum nach den Halligen

Aufn. E. WOHLENBERG

der Verfasser mit dem Schlepper LANGENESS des Marschenbauamtes Husum und der 40 000 Liter fassenden Wasserschute MBA 5 auf dem Wege zur Hallig Langeness war (Abb. 24), hatte sich bereits das Wasser- und Schiffahrtsamt Tönning hilfreich eingeschaltet und seinen seetüchtigen Tonnenleger KAPITÄN MEYER mit vollen Wasserbunkern in die Halligwelt beordert und, wie bereits in der Vorbemerkung erwähnt, mit der ersten Fracht von 100 000 Litern Frischwasser die erste Lieferung von entscheidender Bedeutung auf Hallig Hooge gelöscht. Das zum selben Amt gehörende Motorboot UWE JENS LORNSEN leistete im flachen Wasser Hilfestellung, indem es bei noch grober See die Schlauchleitungen vom Tonnenleger zur Hallig hinüberbrachte.

Da die LANGENESS mit der Wasserschute einen geringeren Tiefgang als die übrigen für

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

die Wassertransporte eingesetzten Schiffe hatte, oblag ihr die Aufgabe, solche Warfen mit Wasser zu beliefern, die weitab vom Fahrwasser lagen und sonst nur über die Landwege der Hallig hätten versorgt werden können. Das erste Ziel für die Husumer Wasserschute war die Tamenswarf, in der Mitte von Langeness gelegen. Die Ebbe war nach der siebenstündigen Fahrt von Husum bis Langeness bei Ankunft vor der Hallig bereits eingetreten, so daß zunächst draußen geankert werden mußte, um die Flut abzuwarten. Dann wurden auf der Hallig die Vorbereitungen für den Abtransport des Wassers getroffen, das bei steigender Tide gegen vier Uhr morgens gelöscht werden sollte.

> Auch auf der Tamenswarf hatte die See im Haus gestanden, aber der vom Meer ins Haus hineingeschwemmte Schlick und Unrat war von den Bewohnern bereits entfernt. Wohl sah man in übernächtigte Gesichter, ganz gleich, ob es die der Erwachsenen waren oder die der Kinder, von denen jedes auf seine Art nach Kräften mit Hand angelegt hatte. Aber die Dielen waren wieder blank. Und nie habe ich die Wärme des Bileggers, den warmen Schein der Petroleumlampe und die Gastfreiheit der Warfbewohner wohltuender empfunden, als in dieser Nacht mit den ersten 40 000 Litern Süßwasser aus der Husumer Leitung.

Kurz nach drei Uhr wurden Schlepper und Schute flott, und pünktlich um vier Uhr pumpte die LANGENESS, inzwischen an die Halligkante herangekommen, ihren Wasservorrat durch die langen Schläuche, welche die Langenesser Feuerwehrmänner noch während der Nacht bis ans Halligufer verlegt hatten, auf die Tamenswarf hinauf, zuerst in den vorher gesäuberten Gartensood und dann in die Wassertanks auf den Bauernwagen, die inzwischen ebenfalls beordert worden waren, um noch in der Nacht auf die zum Teil kilometerweit entfernt liegenden Warfen das erste Trinkwasser zu bringen. Die Wassertransporte mit der Husumer Spezialschute wurden zwar pausenlos unter planmäßiger Ausnutzung der Gezeiten durchgeführt, aber mit dem geringen Fassungsvermögen von nur 40 000 Litern je Reise war die Aufgabe, die Halligen in wenigen Tagen so weit zu versorgen, daß — wie eingangs erwähnt — die Evakuierung vermieden würde, nicht zu lösen.

Schon am zweiten Tag nach der Sturmflut trat die Wasser- und Schiffahrtsdirektion in Kiel mit größeren technischen Mitteln der Westküste zur Seite, indem die beiden großen Spezialwasserschiffe DELPHIN und NEPTUN von der Ostsee beziehungsweise vom Nord-Ostsee-Kanal durch Gieselaukanal und Eider nach Tönning und Husum und — beladen mit zusammen 600 000 Litern Frischwasser — zu den Halligen entsandt wurden. Erst jetzt, durch diesen Großeinsatz, war Aussicht vorhanden, die Wasserversorgung im Sinne der anfangs gestellten Aufgabe zu bewältigen. Die DELPHIN nahm bei jeder Reise rund 250 000 Liter aus dem Hydranten des nahe gelegenen Wyker Hafens (Insel Föhr), ging an der Ostseite der Hallig Hooge auf Reede und pumpte das Frischwasser durch die im Meerwasser flutenden Wasserschläuche auf die Hallig Hooge (Abb. 25). Die NEPTUN (rund 450 000 Liter), vom Hochseeschlepper BARSCH unterstützt, nahm Frischwasser an der Mole von Steenodde auf der Insel Amrum, ankerte bei Hochwasser auf dem Watt südwestlich oder je nach Wind und Tide westlich der Hallig Langeness (Abb. 26) unter der Warf Hilligenley beziehungsweise Rixwarf und versorgte — ebenfalls durch eine einige hundert Meter lange Schlauchleitung (Abb. 27) die Hallig Langeness.

Während für die großen Wassertransporte die benachbarten Inseln Föhr (Wasserboot DELPHIN) und Amrum (NEPTUN mit dem Schlepper BARSCH) das Waser hergaben, bunkerte die Wasserschute MBA 5 am Hydranten im neuen Festlandshafen Schlüttsiel im Hauke-Haien-Koog. Bei dieser Verteilung und dank der Umsicht der Kapitäne und Mannschaften kam es zu keinerlei zeitlichen oder lokalen Überschneidungen, weder bei der Wassernahme noch beim Löschen.

War der Seetransport des Frischwassers das erste Anliegen, so erwuchs auf der Hallig

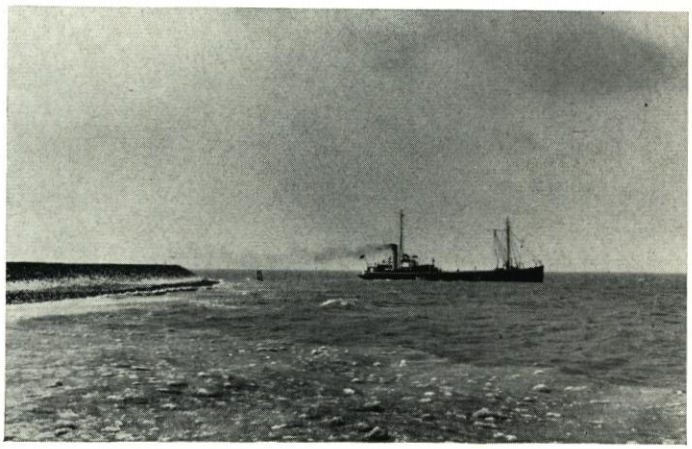


Abb. 25.
Wassertransporter DELPHIN (Wasser- u. Schiffahrtsamt Kiel) ankert mit 240 000 Litern in den Tanks im Treibeis und bei steifem Ostwind unter der Hallig Hooge und pumpt das Frischwasser auf die Backenswarf und Hanswarf

Aufn. E. WOHLENBERG

Abb. 26.
Die NEPTUN begleitet vom Schlepper BARSCH hatte mit 450 000 Liter je Fahrt den Löwenanteil an der Wasserversorgung.
Hier liegen beide Schiffe bei Ebbe hoch und trocken vor der Warf Hilligenley der Hallig Langeness und pumpen das Frischwasser durch mehrere hundert Meter lange Schlauchleitungen auf die Hallig

Aufn. E. WOHLENBERG

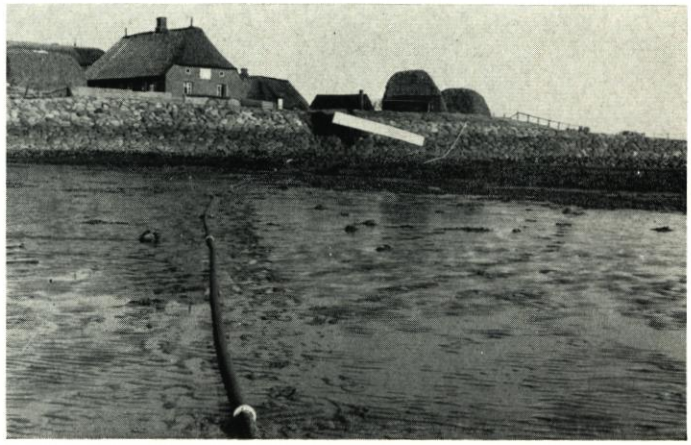


Abb. 27.
Die mit Frischwasser gefüllte Schlauchleitung läuft bei Ebbe über das Watt, bei Flut durch das Meerwasser zur Hallig. Unterhalb der beiden großen Heuklampen erkennt man den an der Steinkante aus dem Watt aufsteigenden Schlauch (vgl. weißer Pfeil)

Aufn. E. WOHLENBERG

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

die zweite, nicht weniger wichtige Aufgabe, nämlich die schnelle und gerechte, das heißt den wahren Bedürfnissen entsprechende Verteilung des Wassers vom Halligufer bis zum letzten und fernstgelegenen Sood und Fething.

Schwere Landtransporte sind auf dem Festland kein Problem, auf den Halligen dagegen waren sie nur durchführbar, weil auf Langeness und Hooge vor wenigen Jahren Beton- oder Teerstraßen (Abb. 28) angelegt worden waren. Noch vor wenigen Jahren wäre die Verteilung des Wassers trotz noch so guter Organisation der Anfuhr mit den Spezialwasserschiffen nicht möglich gewesen, weil die festen Straßen oder für Motorfahrzeuge geeignete Wege noch nicht vorhanden waren. Jetzt aber konnten die wenigen, trotz der Überflutung mit Seewasser noch intakt gebliebenen Traktoren mit den großen, in der Landwirtschaft üblichen 1000-Liter-Tanks eingesetzt werden. Da aber die größere Zahl der auf den Halligen beheimateten Trecker durch Seewassereinwirkung ausgefallen war, entsandte die Husumer Kreisverwaltung nicht nur eine Gruppe einsatzfreudiger Motorschlosser, sondern auch weitere Zugmaschinen sowie neue Wasserkessel, nachdem ihr einige Tage zuvor die Vermittlung der Feuerwehrmänner von den verschiedenen örtlichen Freiwilligen Wehren des Kreises, die mit ihren leistungsfähigen transportablen Motorpumpen Fethinge und Söde entleerten, zu verdanken war. Bei dieser vielseitigen Hilfe vom Festland setzte ein harmonisch und sinnvoll ablaufendes Zusammenspiel der verschiedenartigen technischen Hilfsmittel ein, und auch nachts — infolge der tidebedingten Anlieferung des Wassers — erfüllte der Rhythmus der ratternden Motoren die Stille der allmählich aufatmenden Hallig (Abb. 29 und 30). Natürlich gab es auch auf den Warfen und in den kleinen Hallighäusern keine Ruhepause. Dankbar wurde jeder Trecker mit seinen vollen Kesseln auf den Warfen begrüßt und — gleichgültig ob Tag oder Nacht — wurden die am Wassertransportkessel gefüllten Wassereimer von jung und alt wie in den alten Zeiten beim Brand von Hand zu Hand gereicht (Abb. 31), um wieder einen kleinen Vorrat des so Lebensnotwendigen anzulegen. Man muß die besonderen Lebensumstände auf der Hallig kennen, um diesen Schatz an Gedanken und Empfindungen in seiner ganzen Tiefe nacherleben zu können.

Kaum aber war die Organisation der Wassertransporte übers Wattenmeer und die Verteilung auf der Hallig in allen einzelnen Phasen abgestimmt und bereits einige Tage in der Durchführung begriffen, als zu allem Überfluß die Westwindlage umschlug und anstatt der sonst nach Sturmfluten in der Regel eintretenden mehr oder weniger heftigen Regenfälle trockner Nordost mit Windstärken 5 bis 7 einsetzte. Als Folge der ablandigen harten Winde entfiel für die Transporter tagelang die Lee-Lage unter der Hallig. Die DELPHIN lag unter Hallig Hooge in der Eistrift und hatte zudem Schwierigkeiten mit schlechtem Ankergrund (Abb. 25). So trat das, was die Halligbewohner und natürlich auch die Männer der Wasserversorgnug nach dem Abflauen des Sturms sehnlichst erwarteten, nicht ein. Die neue Wetterlage begann mit schneidender Kälte und Schneetreiben und eine wochenlang andauernde winterliche Trockenzeit setzte ein. Die Abbildungen 25, 29 und 34 zeigen Treibeis im Watt, verschneite Warfen und Häuser. So brachte der Monat März noch einmal den vollen Winter zurück. Unter dem Einfluß des anhaltenden ONO-Windes blieb das tägliche Hochwasser mehr als 100 cm unter dem MThw, so daß selbst der flach gehende Wattenschlepper LANGENESS mit der Wasserschute die Wasserlieferung zur Hallig für einige Tiden unterbrechen mußte. Unglücklicherweise sank das Thermometer so tief unter Null, daß die für das Löschen der Wasserschiffe so entscheidend wichtigen Schlauchleitungen und leider besonders auch die Verbindungsstücke der Schlauchenden einfroren. Um das Gewebe vor Bruch zu schützen, mußten die Schläuche sogleich nach dem Durchfließen des Wassers auseinandermontiert, vollkommen entleert und aufgerollt werden, und sei es auch nur für eine kurze zeitliche Unterbrechung bis zum Eintreffen des nächsten Wassertransporters. Danach wurden die Schlauchrollen vorsorglich in den Kuhställen der benachbarten Warf deponiert. Hier war es warm, und die Schläuche konnten am nächsten Morgen ohne Bruchstellen im Gewebe neu verlegt werden.

Während die Halligen Langeness, Hooge, Gröde, Nordstrandischmoor, Habel, Süderoog und Südfall in der oben geschilderten Art auf dem Wasserwege mit Trink- und Tränkwasser versorgt wurden, ging die Versorgung der kleinen Hallig Oland eigene Wege. Der Schienenstrang der Lorenbahn auf dem eben über MThw emporragenden Damm vom Festland (Abb. 1, S. 87) über Hallig Oland nach Langeness hatte in seinem ersten Abschnitt vom Festland bis zur Hallig Oland während der Sturmflut keinen Schaden genommen. So wurden die Lokomobilen des Marschenbauamtes aus dem Winterquartier genommen und zum Wassertransport

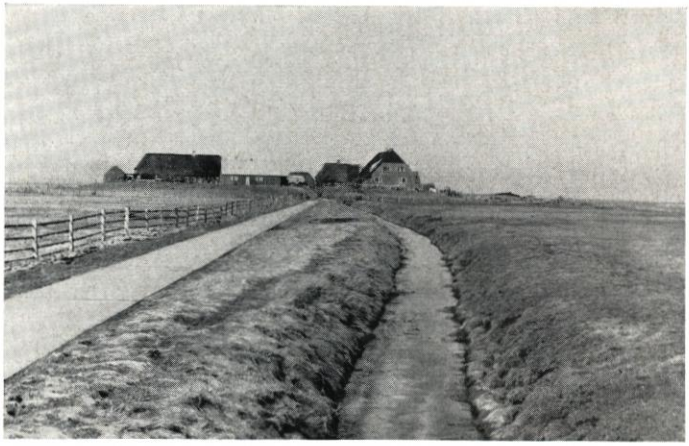


Abb. 28.
Die Versorgung der Halligwohnstätten mit Frischwasser wäre ohne die im Bild erkennbaren festen Straßen nicht durchführbar gewesen

Aufn. E. Wohlenberg

Abb. 29.
Bei der Warf Hilligenley der Hallig Langeness standen die Feuerwehr und die Bauern mit den Kesselwagen für die Verteilung des von den Schiffen herangebrachten Trinkwassers bereit

Aufn. E. Wohlenberg

Abb. 30.
Die Kesselwagen erhielten das Wasser unmittelbar aus der Schlauchleitung der vor der Hallig ankernden Wasserschiffe

Aufn. E. Wohlenberg

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

beordert. Insgesamt sind auf diesem Wege über 200 000 Liter Frischwasser aus der Wasserleitung des Festlandes zur Hallig Oland gefahren worden.

Nachdem die geschilderten Wassertransporte zehn Tage lang durchgeführt worden waren, war es an der Zeit, den Wassernotstand als beendet zu erklären, denn in den Küchen der

Abb. 31.
Bis in die späten Abendstunden reichten alt und jung einander die am Tank gefüllten Wassereimer zu, um für die nächsten Tage eine erste kleine Reserve anzulegen

Aufn. E. Wohlenberg

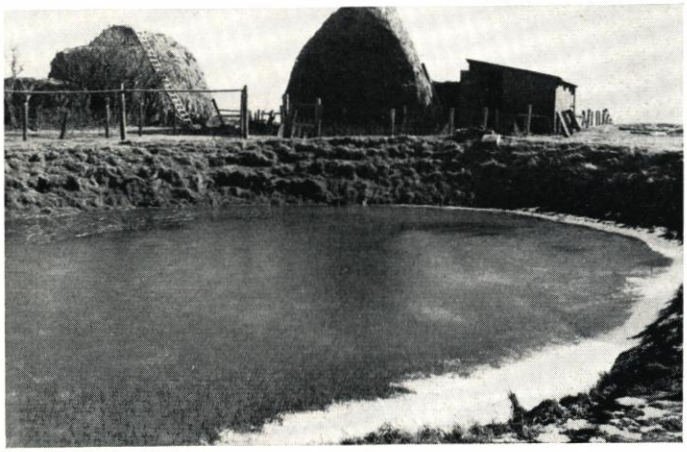


Abb. 32.
Der mit Eis bedeckte Depot-Fething auf der Warf Hilligenley im März 1962. Nach der Anlage dieses großen Vorrats war der Notstand beendet, die Transportschiffe kehrten in ihre Heimathäfen zurück

Aufn. E. Wohlenberg

Halligbauern und in ihren Söden war wieder Trinkwasser vorhanden. Das Vieh war ruhig geworden und gesundete schnell wieder nach den erlittenen Salzschäden.

III. Die Anlage von Wasserdepots als Abschluß der Wasserversorgung

Da die Wetterlage immer noch harten und kalten Wind aus ONO brachte und spürbare Niederschläge ausblieben, der Notstand aber nicht beliebig fortgesetzt werden konnte, wurde ein übriges getan, um die Wasserversorgung auch für die kommenden Wochen sicherzustellen. Der Verfasser ließ auf den beiden Halligen Langeness und Hooge mit ihrem großen Viehbestand je zwei einwandfreie Fethinge, soweit sie in Reichweite der Schlauchleitungen vom Schiff lagen, für die Aufnahme von Wasserreserven herrichten und durch die letzten Schiffs-

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Tabelle 6

Aufstellung über die Trink- und Tränkwasserversorgung der Halligen nach der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 (Liter)

1. Hallig Nordmarsch-Langeness	3 300 000
2. Hallig Hooge	2 990 000
3. Hallig Gröde	265 000
4. Hallig Süderoog	111 000
5. Hallig Nordstrandischmoor	18 000
6. Hallig Habel	45 000
7. Hallig Oland	233 000
8. Hallig Südfall	45 000
Gesamtversorgung	7 007 000 Liter

transporte vollpumpen. So verfügten beide Halligen nach wenigen Tagen über je zwei große Wasserdepots. Sie waren bis zum Rande voll besten Wassers (Abb. 32) und bildeten einen eisernen Bestand, der die Hallig bis in den Sommer hinein vom Festland unabhängig machen sollte. Diese abschließende Maßnahme in der Wasserversorgung hat sich bewährt. Aus diesen Depot-Fethingen ist bis in den frühen Herbst des Jahres 1962 hinein von den Halligbauern je nach Bedarf Wasser abgefahren worden, ohne daß der Vorrat dieser Fethinge zu Ende gegangen ist (Abb. 33).

Aufn. E. Wohlenberg

Abb. 33. Depot-Fething auf Hallig Hooge im Sommer 1962. Der im Winter vom Schiff eingebrachte Wasservorrat hat während des ganzen Jahres 1962 vorgehalten

Als die vier Depot-Fethinge gefüllt waren, konnte die am 17. Februar gestellte Aufgabe als gelöst gemeldet und die Wassertransporter in ihre Heimathäfen entlassen werden. Die Tabelle 6 gibt die Wasserlieferungen für die einzelnen Halligen wieder. Insgesamt sind über sieben Millionen Liter Süßwasser auf die Halligen gebracht worden. Keine Familie und kein Stück Vieh hat die Hallig zu verlassen brauchen. So konnten alle Hände für den Wiederaufbau der Hallig eingesetzt werden.

Noch nie hat es in der jahrhundertelangen Leidensgeschichte der Halligen einen solchen von den Institutionen des Festlandes gesteuerten Einsatz gegeben. Dank der souveränen Handhabung der See-Transporte durch Kapitäne und Besatzungen, dank der bewunderungswürdigen Ausdauer der Feuerwehrmänner bei Eis und Schneetreiben an den Hydranten, Pumpen und Leitungen und dank des Gesamteinsatzes der Halligbevölkerung aller Altersstufen wurde in reichlich zehn Tagen eine Gemeinschaftsleistung vollbracht, deren segensreiche Auswirkung auf jeder Warf und in jedem Haus zu spüren war.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

IV. Die chemische Untersuchung des Trink- und Tränkwassers nach der Sturmflut

Wenn auch nicht jede Sturmflut die Wasservorräte durch Versalzung verdirbt, so erlebt doch fast jede Halliggeneration die Wassernotlage. Und wenn nicht durch Sturmfluten verursacht, tritt doch oft genug der Wassernotstand in abnormen, hochsommerlichen Trockenzeiten ein. Das Wasser ist dann nicht etwa nur knapp, sondern das wenige, noch vorhandene ist auch salzig. Man sollte daher erwarten, daß während solcher Notzeiten — gleichgültig, ob durch Sturmfluten oder durch Trockenheit hervorgerufen — Wasseranalysen durchgeführt worden seien. Durchblättert man aber das Schrifttum über die Halligen Nordfrieslands oder auch allgemein über Sturmfluten, so sucht man vergebens einen durch Untersuchung zahlenmäßig festgelegten Salzwert im Brauchwasser der Halligleute. Wenn die Sturmflut-Chronisten des späten Mittelalters nur allgemeine Bemerkungen über das versalzte Trinkwasser machten, ist es nicht verwunderlich. Sie wußten nicht mehr. Wenn aber Sturmfluten unseres Jahrhunderts das Wasser auf den Halligen verderben, müßte erwartet werden, daß der Gesundheitsdienst einen analytisch begründeten Nachweis über den Grad der Versalzung des den Menschen auf der Hallig zeitweise zugemuteten Wassers führen würde. Das ist nicht geschehen, auch nicht nach den beiden schweren Sturmfluten im Oktober 1936. Auch dies mag ein Beispiel dafür sein, wie sehr die Halligleute durch die Jahrhunderte tatsächlich sich selbst überlassen blieben und abseits der größeren Gemeinschaft (im Gegensatz zu den heutigen Maßnahmen und Planungen) ihr Dasein schlecht und recht so gestalteten, wie es ihre eigenen Kenntnisse, Kräfte und Mittel, vor allem aber das Meer zuließen.

Abb. 34.
Das Vermessungsboot Oland des Marschbauamtes Husum fährt zwecks Entnahme der auf ihren Salzgehalt zu untersuchenden Wasserproben im Anschluß an die Sturmflut von Hallig zu Hallig

Aufn. E. Wohlenberg

In den Tagen der oben geschilderten Trinkwasseraktion übernahm der Verfasser neben der Koordinierung der Wassertransporte und deren Verteilung auf den acht Halligen auch die Überwachung und chemische Untersuchung der Söde und Fethinge. Ein Sood durfte erst dann mit Frischwasser von den Schiffen beschickt werden, wenn er restlos leergepumpt und auch gesäubert war. Diese Kontrolle und Untersuchung erfaßte jeden Sood und jeden Fething der acht bewohnten Halligen (Abb. 34). Über diese Untersuchungen sei im folgenden berichtet.

a. Der Salzgehalt im Trinkwasser der Söde

Das in den Söden der Warf gespeicherte Wasser dient ausschließlich der menschlichen Ernährung. Da sich nach dem ersten Leerpumpen nicht nur salzhaltiges Sickerwasser in den Fethingen, hier den Kuhlings (Abb. 14 und 18), sondern auch in den meisten Söden einstellte,

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

wurden die Motorpumpen der Feuerwehr in vielen Fällen zum zweiten Male angesetzt. Da dieses sekundäre Sickerwasser in den Söden in den wenigsten Fällen noch von der Sturmflut beeinflußt sein konnte, muß es als autochthon angesprochen werden. So bot sich die seltene Gelegenheit, das Wasser, das in früheren Zeiten den Halligbewohnern zunächst, das heißt bis zum Eintreten neuer Regenfälle, ausschließlich zur Verfügung stand, zu untersuchen. In der folgenden Tabelle 7 sind die Salzwerte im ersten Sickerwasser einiger Söde der Halligen Langeness, Hooge, Süderoog, Oland und Gröde zusammengestellt. Es darf nochmals betont werden, daß

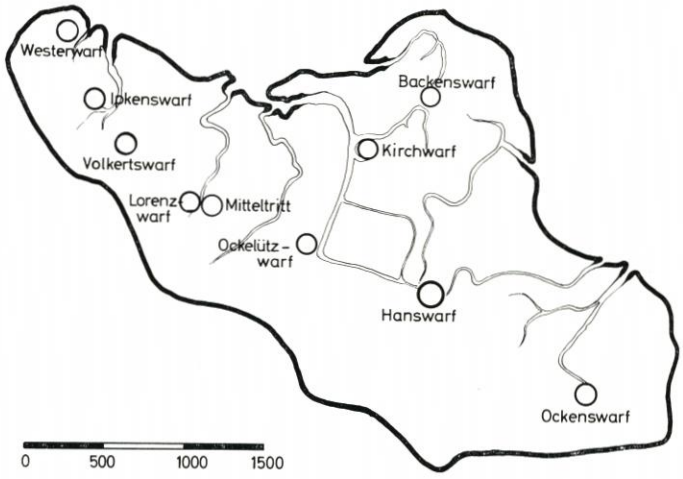


Abb. 35. Die Lage der Warfen auf der Hallig Hooge

Tabelle 7

Das Wasser in den Söden nach dem Leerpumpen und Reinigen unmittelbar nach der Sturmflut. Das erste Sickerwasser tritt aus dem tiefen Grund der Warf in den trockengemachten Sood ein

	Sickerwasser mg NaCl
A. Hallig Langeness	
1. Warf Hilligenley (Schulsood)	5070
2. Warf Treuberg (Gartensood)	2630
3. Warf Tamen (Gartensood)	3220
4. Mayens-Warf	
Südersood (Edl. Ipsen)	
leergepumpt, trocken	3190
Ostersood	5320
5. Kirchhofs Warf	
Südersood	2920
Westersood	2390
B. Hallig Hooge	
1. Ockelützwarf (Schulsood)	700
2. Warf Mitteltritt (Sood Schümann)	4380
3. Lorenzwarf (Sood Adolfsen)	5840
C. Hallig Süderoog	
Gartensood	
nach der 1. Entleerung	6820
nach der 2. Entleerung 3 cm Sickerwasser	7880
D. Hallig Oland	
Gartensood (Simon Nommensen)	2790
Sood Sönke Petersen	2880
E. Hallig Gröde	
Gartensood a. d. Kirchwarf	5720

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

aus den Söden vorher auch die Wasserreste entfernt wurden, welche die Motorpumpen nicht fassen konnten. Sie wurden anschließend von Hand „trocken" gemacht. Der Verfasser ist in vielen Fällen selbst in den Sood hinabgestiegen, um das Sickerwasser für die Untersuchung zu sammeln. Dies darf angesichts der überraschend hohen Salzwerte bemerkt werden, um etwaigen Einwänden gegen mögliche fehlerhafte Probennahme von vornherein zu begegnen.

Die in der Tabelle 7 zusammengestellten Werte können aus Raumgründen hier nicht einzeln diskutiert werden. Keiner der auf den fünf Halligen untersuchten Söde führte auch nur einigermaßen genießbares Sickerwasser! Bei den Söden auf Hilligenley (Schulsood 5070 mg NaCl), auf der Warf Treuberg (Gartensood 2630 mg NaCl) und auf Süderoog (Gartensood 6820 beziehungsweise 7880 mg NaCl) handelt es sich um „moderne" Zisternen, die alle drei aus neuzeitlichen Betonringen aufgebaut waren. Das „beste" Sickerwasser zeitigte der Schulsood (700 mg NaCl) auf Ockelützwarf der Hallig Hooge (Lageplan Abb. 35).

Der Gartensood auf der Kirch- und Schulwarf der Hallig Gröde (5720 mg NaCl) kann außerhalb der Erörterung bleiben, da — nach Auskunft der derzeitigen Lehrerin — das Wasser dieses Soodes wegen der *Nähe der Gräber* nicht gebraucht wird.

Alle Werte der Tabelle liegen nicht nur weit oberhalb der für den Menschen bestehenden Zulässigkeitsgrenze (500 mg NaCl), sondern zeigen in mehreren Fällen sogar den vielfachen Wert derselben!

> Als dann im Zuge der Wasserversorgung die leergemachten und gesäuberten Söde ganz oder teilweise mit Frischwasser gefüllt wurden, schmeckte der Tee auf einigen Warfen immer noch nicht. Da der Verfasser hin und wieder zur Kontrolle Stichproben unmittelbar aus den Schläuchen der Transportschiffe genommen und sich dieses Wasser nach der Analyse als vollkommen salzfrei erwiesen hatte, wurde zunächst vermutet, daß das kristallklare Leitungswasser für die Zunge der Halligleute allzu frei von halligeigenen Duft- bzw. Geschmackstoffen sei (keine Berührung mit dem Reetdach, mit dem Untergrund der Warf und mit dem Gischt der See oder dergleichen).

Um hier Klarheit zu schaffen, wurden die Analysen auch nach dem Füllen der Söde weiter durchgeführt, und es zeigte sich, daß tatsächlich auch jetzt noch ein zwar mäßiger aber doch noch zu hoher Salzgehalt die Ursache für die Beanstandungen war. Das Wasser aus dem gefüllten neuzeitlichen Schulsood auf der Warf Hilligenley möge hier stellvertretend für andere zur Erörterung stehen. Der Sood steht vom Tage nach der Stumflut bis heute unter der Kontrolle der Forschungsstelle Westküste. Das Sickerwasser hatte nach dem ersten Leerpumpen noch einen Salzgehalt von 5070 mg (siehe Block B auf Abb. 36). Alsdann wurde der Sood trockengelegt und mit Frischwasser direkt aus dem Schlauch vom Schiff gefüllt. Die Analyse im Husumer Laboratorium ergab immer noch 1290 mg NaCl. Da dieser Wert mehr als das Doppelte des zulässigen Salzgehaltes betrug, wurde der Sood erneut leergepumpt und wieder gefüllt. Die Entnahme der Wasserproben wurde von jetzt an differenziert gehandhabt, das heißt, für die Salzuntersuchung wurde jeweils eine Probe aus der Tiefe und eine von der Oberfläche entnommen. Gegenüber der vorigen Entnahme waren beide Werte ziemlich abgesunken (630 mg oben und 850 mg unten, Block D auf Abb. 36). Der Oberflächenwert überschritt nur unwesentlich die Zulässigkeitsgrenze und entsprechend gab es auch keine Beanstandungen. Aber nicht lange danach kamen neue kritische Äußerungen über die Qualität des Wassers, das mit der Hauspumpe und somit aus der Tiefe des Soodes entnommen wurde. Am 18. Juli 1962 wurden erneut Proben entnommen. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in Block E der Abbildung graphisch wiedergegeben. Der Oberflächenwert hatte sich mit 680 mg NaCl gegenüber der vorangegangenen Analyse vom 29. Mai nur unwesentlich verändert, aber der Tiefenwert, also das Wasser der Hauspumpe, zeigte den erschreckenden Salzwert von 2760 mg NaCl! Daraufhin wurde die Pumpe gesperrt und nur das Wasser von der Oberfläche des Soodes mittels Handschöpfung zugelassen.

Die letzten Analysen wurden nach dem Winter 1962/63 im April 1963 durchgeführt. Während der Salzgehalt des Wassers aus der Tiefe des Soodes von 2760 mg auf 1310 mg NaCl gefallen war, hatte das Oberflächenwasser mit 830 mg gegenüber 680 mg am 18. Juli 1962 eine leichte Zunahme erfahren. Beide Änderungen dürfen vielleicht auf Angleichung der Salzwerte

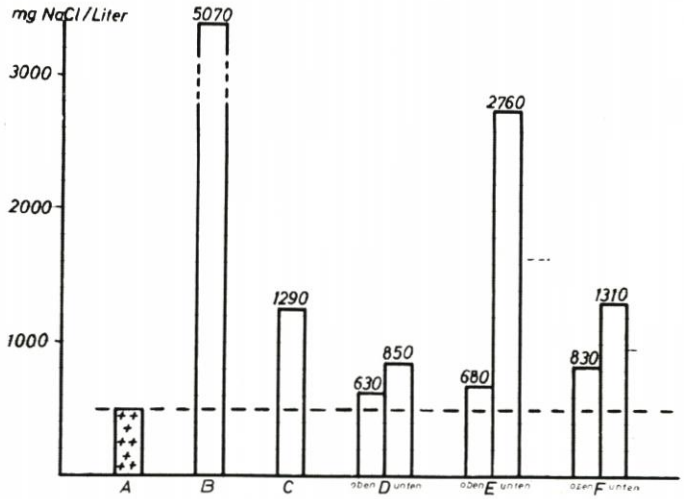


Abb. 36. Der Salzspiegel im Trinkwasser-Sood bei der Schule von Hilligenley auf der Hallig Langeness
Diagramm A . . . . . : für die menschliche Ernährung noch zulässiger Salzwert
Diagramm B, 27. 2. 1962: Sickerwasser nach dem ersten Leerpumpen und Trockenlegen
Diagramm C, 28. 2. 1962: Tiefenwasser nach dem Füllen des Soods vom Schiff
Diagramm D, 29. 5. 1962: erneutes Leerpumpen, Analyse Oberfläche links und Tiefe rechts
Diagramm E, 18. 7. 1962: Wiederholung der Analyse, Oberfläche links, Tiefe rechts
Diagramm F, 4. 1963: Wiederholung der Analyse, Oberfläche links, Tiefe rechts
(Angleichung der Salzwerte durch Konvektion)

durch Temperatur-Austausch von der Oberfläche zur Tiefe oder umgekehrt zurückgeführt werden (Konvektion).

Des besseren Vergleichs halber ist in der graphischen Darstellung der Abbildung 36 mit dem Block A (Kreuzsignatur) die Zulässigkeitsgrenze für den menschlichen Gebrauch mit dargestellt. Die gestrichelte Waagerechte dieser Abbildung zeigt an, daß alle Werte — Oberflächen- wie Tiefenwerte — dieses Soodes oberhalb der Zulässigkeitsgrenze liegen.

Daß es sich beim Schulsood Hilligenley nicht etwa um einen Sonderfall handelt, zeigt die folgende graphische Darstellung (Abb. 37). Es handelt sich um zwei Söde auf der Hunnenswarf. Die Hunnenswarf liegt im Osten der Hallig Langeness, etwa sieben Kilometer von der Warf Hilligenley entfernt (vgl. Lageplan Abb. 19 auf Seite 104).

Die Blockdiagramme der Abbildung 37 bedürfen kaum noch der Diskussion. Die Unterschiede zwischen Oberflächenwasser (460 mg) und Tiefenwasser (3010 mg) der beiden Söde B und C sind sehr groß, erschreckend groß, wenn man bedenkt, daß aus beiden Söden für den Haushalt nur das Tiefenwasser gepumpt wird. Nach dem Vorliegen der Analysen wurde die Pumpe für die Küche gesperrt und Handschöpfung von der noch einwandfreien Oberfläche empfohlen.

Natürlich bietet eine solche „Empfehlung" keine ausreichende Sicherung gegen falsche Wasserentnahme. Die Analysenwerte lassen eindeutig erkennen, daß die zur Zeit übliche

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

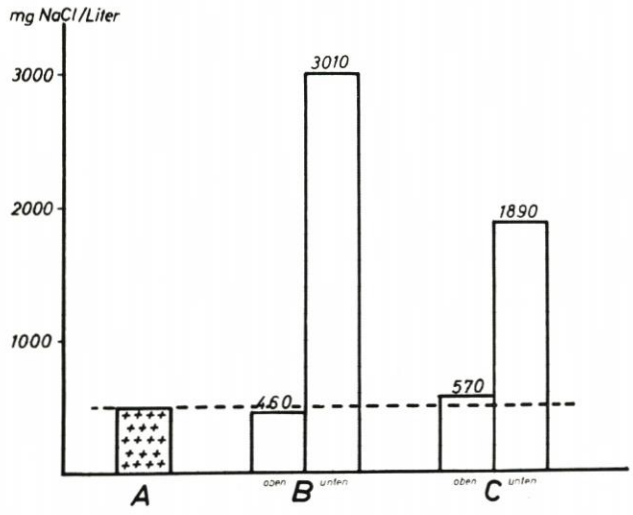


Abb. 37. Der Salzspiegel in zwei Trinkwasser-Söden auf Hunnenswarf im Sommer 1962 (Hallig Langeness)
Diagramm A: für die menschliche Ernährung noch zulässiger Salzwert
Diagramm B: Oberflächenwasser links, Tiefenwasser rechts
Diagramm C: Oberflächenwasser links, Tiefenwasser rechts

Wasserentnahme, nämlich aus der Tiefe der Wassersammler, falsch ist. Die früher vor der Einführung der Hand- oder Motorpumpen geübte Handschöpfung war besser (vgl. Text zu Abb. 13), weil durch sie das problematische Tiefenwasser unberührt blieb.

Das Entnahmerohr der Pumpenanlage darf zum Beispiel nicht starr in den tiefsten Teil von Sood oder Fething führen, sondern müßte von einem Schwimmer flutend an der Oberfläche gehalten werden. Dann könnten die Pumpen weiter im Gebrauch bleiben[6]).

b. Der Salzgehalt im Tränkwasser der Fethinge

1. Die Fethinge auf der Hallig Nordmarsch-Langeness

Auf der größten unserer Halligen wurden auf 14 Warfen insgesamt 16 Fethinge untersucht. Die Entnahme der Wasserproben wurde in einem Zeitraum vom Februar (Sturmflut) bis zum September des Jahres 1962 eigenhändig vom Verfasser durchgeführt. Das Wasser aus der Tiefe wurde mit Hilfe der bekannten MEYERschen Schöpfflasche entnommen. Vom März ab, der zweiten Entnahmeserie, umfaßte die Untersuchung das Oberflächen- und das Tiefenwasser. Der Raum verbietet es, die festgestellten Werte der Tabelle 8 im einzelnen zu diskutieren.

Bis auf den Fething von Neu-Peters-Warf (Nr. 14 der Tabelle) wurden alle Wasserproben nach dem Leerpumpen der Fethinge entnommen. Trotzdem zeigen die Fethinge von

[6]) Es wird nicht an Stimmen fehlen, die diese Gedanken im Hinblick auf die geplante zentrale Wasserversorgung für überflüssig halten werden; aber ob und wann alle Halligen versorgt sein werden, vermögen selbst die Planer nicht zu sagen.

Tabelle 8

Oberflächen- und Tiefenwasser
der Fethinge auf 14 Warfen der Hallig Nordmarsch-Langeness

(mit Ausnahme der Depot-Fethinge, vgl. Tabelle 10 und 11)

Bei den Analysen vom 28. 2. 1962 handelt es sich um das erste Sickerwasser in den Kuhlings der Fethinge nach dem Leerpumpen im Anschluß an die Sturmflut

Warf	Entnahme	28. 2. 1962 mg NaCl/l	14. 3. 1962 mg NaCl/l	20. 7. 1962 mg NaCl/l	26. 9. 1962 mg NaCl/l
1. Süderhörn	Oberfläche*)	5 250	—	7 590	8 460
Fething Andreas Lorenzen	Tiefe	—	—	—	9 020
2. Treuberg	Oberfläche	—	5 450	7 340	6 200
	Tiefe	—	5 630	—	6 260
3. Nörderhörn	Oberfläche	—	4 470	2 950	2 810
	Tiefe	—	4 520	—	2 920
4. Tamenswarf	Oberfläche	22 290	3 460	—	2 180
	Tiefe	24 250	4 980	3 660	2 180
5. Christianswarf					
Gr. Fething	Oberfläche	—	—	—	7 680
	Tiefe	—	2 480	11 740	7 950
Kl. Fething	Oberfläche	—	15 730	—	8 640
	Tiefe	—	22 430	17 630	9 400
6. Ketelswarf					
Süden, Gr. Fething	Oberfläche	—	3 030	2 950	4 020
	Tiefe	—	3 410	2 990	4 020
Norden, Kl. Fething	Oberfläche	—	4 220	1 830	3 600
	Tiefe	—	—	—	3 620
7. Tadenswarf	Oberfläche	—	—	5 910	870
	Tiefe	—	—	—	3 150
8. Honkenswarf	Oberfläche	5 610	3 190	—	—
	Tiefe	—	3 980	13 750	—
9. Neuwarf	Oberfläche	—	—	1 770	2 900
	Tiefe	—	—	—	2 900
10. Peterswarf	Oberfläche	7 210	7 270	—	710
	Tiefe	—	—	—	3 130
11. Peterhaitzwarf	Oberfläche	7 250	—	3 820	810
	Tiefe	—	—	—	920
12. Bandixwarf	Oberfläche	5 430	—	5 550	—
	Tiefe	—	—	—	—
13. Hunnenswarf	Oberfläche	—	—	5 520	—
	Tiefe	—	—	5 520	—
14. Neu-Peters-Warf**)	Oberfläche	27 770	—	—	—

*) Am 22. 2. 1962: 17 380 mg NaCl/l.

**) Fething nicht leergepumpt, da Haus am 16. 2. 1962 zerstört (vgl. Abb. 20).

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Süderhörn (Lageplan Abb. 19 und Abb. 38) und von der Tamenswarf Salzwerte, die fast den Chloridgehalt des Meerwassers erreichen (Tabelle 8, Warf 1 und 4).

Trotz der oben geschilderten Frischwasserlieferungen war es in den ersten Tagen nach der Sturmflut natürlich nicht auf jeder Warf möglich, das Vieh gleich restlos mit reinem Süßwasser zu tränken. Je nach der verfügbaren Anlieferung wurde dem Vieh Mischwasser gegeben, bis bei weiterer Entspannung vom fünften Tag an nach der Flut in jedem Stall einwandfreies Tränkwasser verabreicht werden konnte.

Besonders erwähnenswert sind die Märzwerte aus den Fethingen der Christianswarf. Der Süderfething, der kleinere von beiden, hatte nicht nur den größten Salzwert überhaupt, sondern auch der Unterschied zwischen der Versalzung der Oberfläche (15730 mg NaCl) und der Tiefe (22430 mg NaCl) war mit fast 7000 mg NaCl von einer überraschenden, kaum glaubhaften Größenordnung (Tabelle 8, Warf 5).

Sehr ungleich verhielten sich die Salzwerte der Fethinge der Hallig Langeness mit der Annäherung an die hochsommerliche Wetterlage. So zeigte die Entnahme im Juli 1962 eine besonders starke Zunahme des Salzgehaltes im großen Fething der Christianswarf, nämlich eine Erhöhung des Tiefenwassers von 2480 mg NaCl im März auf 11740 mg im Juli. Der kleine Fething dagegen ließ für die gleiche Zeit ein Absinken von 22430 mg NaCl auf 17630 mg erkennen.

Im Fething der Honkenswarf stieg das Tiefenwasser von 3980 mg NaCl im März auf 13750 mg im Juli an.

Die weitere Entwicklung des Salzspiegels zum Herbst hin ist, wie die Tabelle zeigt, uneinheitlich. Mit zwei Ausnahmen (Tadenswarf, Tabelle 8, Warf 7) und Peterswarf (Tabelle 8, Warf 10) haben sich die Oberflächenwerte als Folge der Niederschläge im Sommer und Herbst einander weitgehend genähert. Nur Tadenswarf und Peterswarf weichen hierin von der Mehrzahl der Fethinge ab. In ihnen weist der Salzwert auf eine immer noch extreme Schichtung des Wasserkörpers hin. Bei gleichzeitiger Entnahme hat das Oberflächenwasser Tadenswarf 870 mg NaCl und das darunterliegende Wasser 3150 mg. Denselben Befund zeigt die Peterswarf mit 710 mg an der Oberfläche und 3130 mg in der Tiefe. Würde man also das Vieh mit dem Wasser der Oberfläche tränken, etwa durch Verbindung der Pumpenleitung mit einem schwimmenden Saugkorb, so würde der Bauer seinem Vieh einen großen Dienst erweisen. Leider geschieht das nicht.

Soweit eine zusammenfassende Betrachtung der Werte in der Tabelle 8 möglich ist, muß man sich auf die Feststellung beschränken, daß zum Herbst hin in der Regel eine Angleichung der Oberflächenwerte an die der Tiefe erkennbar ist. Im März ist das Tiefenwasser im allgemeinen salzreicher als an der Oberfläche. Weitere Gesetzmäßigkeiten aus den Tabellenwerten abzuleiten, ist nicht möglich, sondern abschließend nur die Feststellung, daß jeder Fething sein Eigenleben zu führen scheint.

2. Der Tränkwassersood unter dem Maifeld bei Süderhörn

Unter Hinweis auf die beiden schematischen Abbildungen 38 und 39 und die Werte der für Langeness aufgestellten Tabelle 8, Warf Nr. 1 bedarf die Wasserversorgung auf Süderhörn der besonderen Betrachtung. Abbildung 38 gibt den Grundriß der Warf mit der Verteilung der Gebäude wieder[7]). Im Nordwesten liegt der Fething, an der Südseite der beiden Wohnungen (unter einem Dach) liegen im Garten vier Söde. Abweichend von allen übrigen

[7]) Die Zahlenangaben des Grundrisses geben die Höhen in m an, bezogen auf NN.

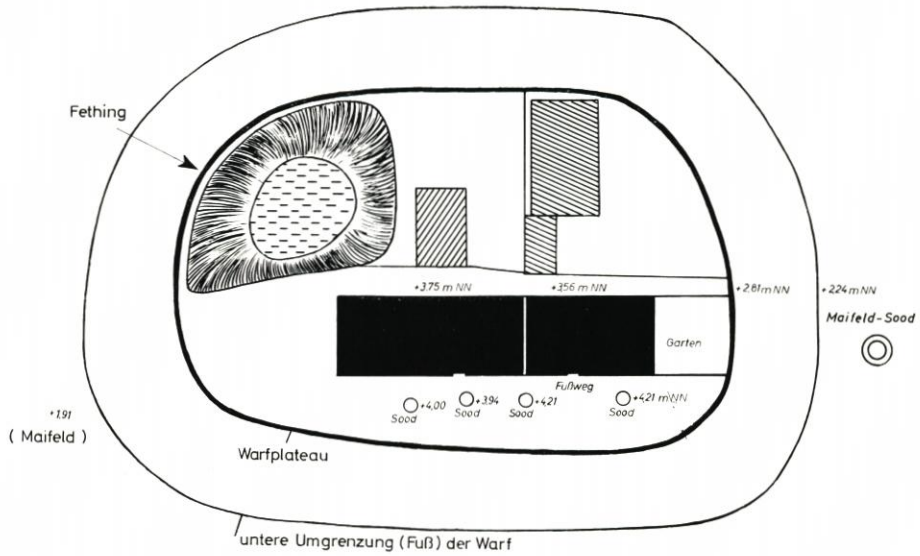


Abb. 38. Der Grundriß der Warf Süderhörn auf Hallig Langeness zeigt die Anordnung des Fethings zu den Gebäuden, die Verteilung der Söde im Garten und deren Höhenlage auf NN bezogen. Das zweiteilige Wohnhaus ist voll schwarz, die Stallgebäude gestrichelt gezeichnet.
Am östlichen Rand der Warf befindet sich 50 cm unter der Maifeldoberfläche ein Tränkwassersood, der einzige seiner Art im Bereich aller Halligen. Die folgende schematische Abbildung 39 zeigt die Anordnung im Schnitt

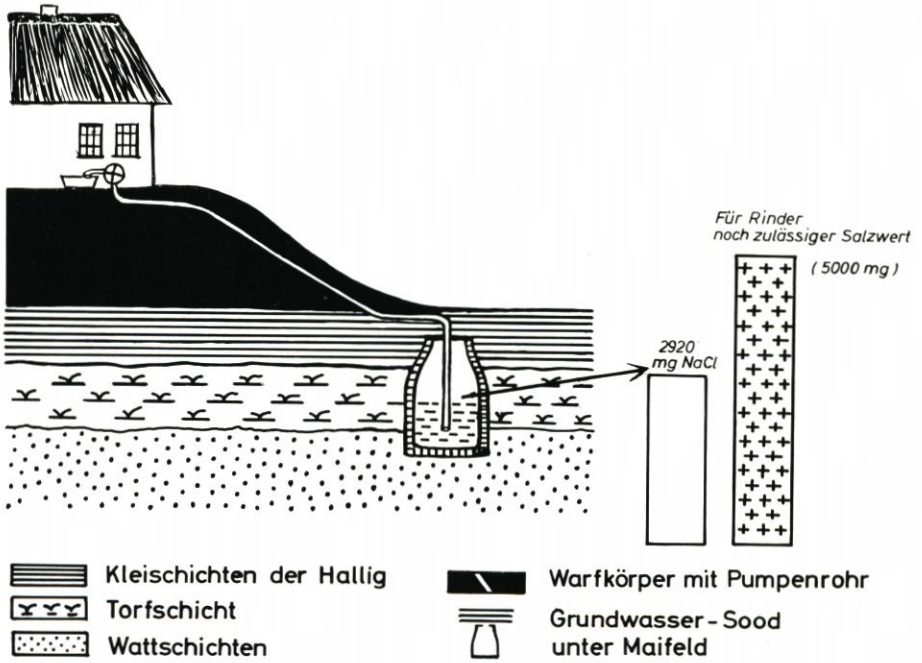


Abb. 39. Schematische Darstellung des östlichen Teiles der Warf Süderhörn mit dem Maifeld-Sood am Fuß der Warf. Die danebenstehenden Diagramme zeigen den Salzwert im Sood im Vergleich mit der Zulässigkeitsgrenze für Tränkwasser

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Halligen und Warfen befindet sich nicht weit vom Fuß der Warf, unter dem Maifeld verborgen, ein von außen unerkennbarer Tränkwassersood (doppelte Kreissignatur auf Abb. 38). Dieser „Maifeldsood" ist knapp hundert Jahre alt. Der Sood ist in der alten Weise noch in Rasensoden (Anwachssoden) aufgesetzt. Die erste Anlage wurde vom jetzigen Besitzer (Ludwig Andresen) vor rund vierzig Jahren durch eine neue ersetzt und dabei der Sooddurchmesser von etwa 1,00 m auf 2,50 m erweitert. Der Hohlraum verjüngt sich flaschenförmig nach oben (Abb. 39). Als Abschluß des Halses dient die ausgediente Eisenplatte eines Bileggers. Diese Platte ist überdeckt mit etwa 50 cm Halligboden und nur für die Pumpenleitung durchbrochen. In diesen Sood kann auf direktem Wege weder Seewasser noch Regenwasser einfließen. Er wird nur von oberflächennahem Grundwasser gespeist.

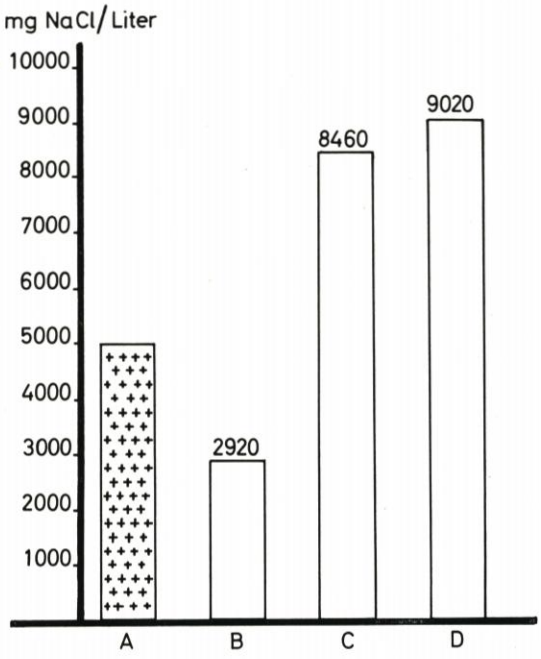


Abb. 40. Salzwerte der Warf Süderhörn, Hallig Langeness (vgl. Abb. 19 und 38) am 26. 9. 1962
Diagramm A: Zulässigkeitsgrenze für Rinder
Diagramm B: Salzwert im Wasser des Maifeld-Soodes
Diagramm C: Salzwert im Fething, Oberfläche
Diagramm D: Salzwert im Fething, Tiefe

Bemerkenswert ist, daß dieser Sood stets — auch in Trockenzeiten — ausreichendes Tränkwasser führt. Vor allem aber muß hervorgehoben werden, daß der Salzgehalt nicht nur konstant, sondern mit nur 2920 mg NaCl auch sehr niedrig liegt und sich — als drittes Merkmal — nach der Sturmflut keine Erhöhung im Salzgehalt nachweisen ließ. Der auf der anderen Seite der Warf liegende Fething, dessen Kuhling etwa 100 cm tiefer in den Halliggrund hinabreicht als der „Maifeldsood", hatte an denselben Untersuchungstagen weit höhere Salzwerte, nämlich nach Tabelle 8 (Warf 1) über 5000, 7000 und 8000 mg NaCl. Das Blockdiagramm auf Abbildung 40 veranschaulicht deutlich die Überlegenheit des Maifeldsoods (Block B) gegenüber den Oberflächen- und Tiefenwerten des Fethings derselben Warf (Block C und D).

Wir haben somit den „Maifeldsood" von Süderhörn, ähnlich wie den zentralen Fethingssood auf der Peterhaitzwarf, als ideale Tränkwasserversorgung zu bewerten[8])!

3. Der Fething auf Hallig Gröde

Aus dem auf dieser Hallig vorhandenen Fething wurde die erste Probe unmittelbar nach der Sturmflut entnommen, als der Verfasser mit Hilfe des Hubschraubers die ersten Erkundungen über die Wasserlage auf den verschiedenen Halligen einholte. Zu dem Zeitpunkt war

[8]) Was für die Wasserverhältnisse der Marsch in der Regel gilt, daß nämlich das oberflächennahe Grundwasser stets besser ist als das erbohrte Tiefenwasser, das gilt somit auch für die Hallig Langeness.

der Fething noch nicht leergepumpt. Die Hälfte seines Inhalts war inzwischen durch Öffnen des hölzernen Abflußrohrs selbsttätig abgelaufen. Die verbliebene andere Hälfte hatte noch einen Salzgehalt von 19500 mg NaCl (Block B auf Abb. 41). Als er dann ganz leergepumpt wurde, sammelte sich im Kuhling neues Sickerwasser von 12000 mg (siehe Abb. 41, Block C). Da die für das Vieh zumutbare Grenze bei 5000 mg liegt, wurde der Fething zum zweiten Male leergepumpt und zeigte im erneut zulaufenden Sickerwasser den immer noch viel zu hohen Salzwert von 8000 mg (Block D).

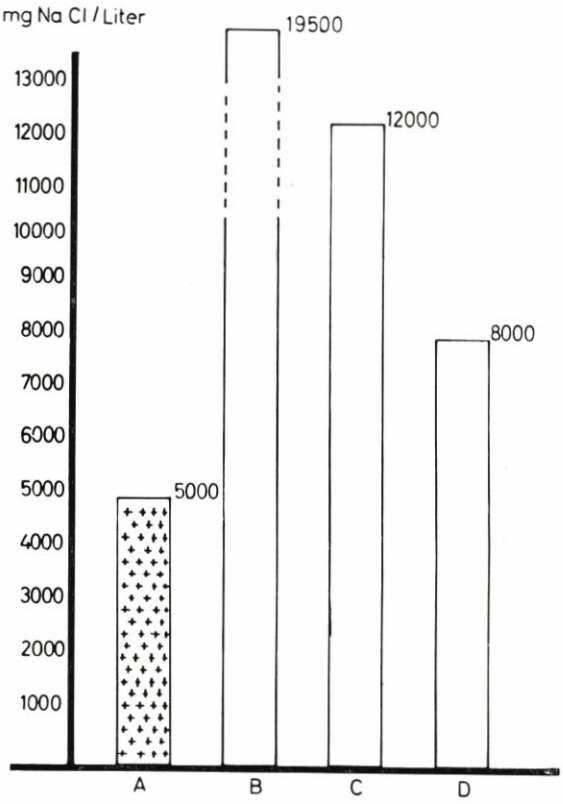


Abb. 41. Salzwerte im Fething der Knudswarf auf Hallig Gröde
Diagramm A: Zulässigkeitsgrenze für Rinder
Diagramm B: Fethingwasser nach der Sturmflut (Probe 23. 2. 1962)
Diagramm C: Sickerwasser im Kuhling nach dem ersten Leerpumpen des Fethings
Diagramm D: Sickerwasser im Kuhling nach dem zweiten Leerpumpen des Fethings

Wenn hierzu das tiefe Grundwasser von Gröde aus dem gebohrten Rohrbrunnen von rund 30 m Tiefe in Beziehung gesetzt und die graphische Darstellung der Abbildung 8 auf Seite 95 zum Vergleich herangezogen wird, so sind die genannten Fethingwerte dem Wasser des Rohrbrunnens trotz seines Salzwertes von rund 6000 mg erheblich unterlegen. Der Gröder Fething kann also erst nach dem Auffangen neuer Niederschläge zum Tränken des Viehs verwendet werden.

4. Die Fethinge auf Hallig Hooge

Auf der Hallig Hooge (Lageplan Abb. 35) wurden im gleichen Zeitraum wie auf Langeness auf sieben Warfen neun Fethinge untersucht. Die nachfolgende Tabelle 9 gibt die Analysen der Wasserentnahmen vom Februar, März, Juli und September des Sturmflutjahres wieder.

Der Vergleich dieser Werte mit der Tabelle 8 zeigt bereits auf den ersten Blick, daß die Mehrzahl der Salzwerte niedriger liegt als die aus den Fethingen der Hallig Langeness.

Die schlechtesten Werte wurden auf der Lorenzwarf, der Ipkenswarf und auf Mitteltritt festgestellt, worunter das Tiefenwasser im Fething der Ipkenswarf mit 9450 mg NaCl den absolut höchsten Wert darstellt. Da das Vieh bis dahin aus der Pumpe, d. h. also mit dem Tiefenwasser, getränkt worden war, vermischte man zur Schonung der Kühe Oberflächenwasser mit dem vom Schiff herangefahrenen Frischwasser.

Aus dem Vergleich beider Tabellen erhellt weiter, daß der Wasserkörper der Hooger Fethinge als Ganzes nicht nur besser ist, sondern auch weit homogener aufgebaut zu sein scheint als auf Langeness. Große Salzgehaltsunterschiede zwischen dem Oberflächen- und dem Tiefenwasser wurden nur für den Fething auf Ipkenswarf und nur bei der Märzentnahme auf

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Backenswarf nachgewiesen, in geringerem Grade beim Fething der Ockelützwarf und Lorenzwarf (Sept. 1962). In den übrigen Fethingen der Hallig sind die Oberflächenwerte mit den Tiefenwerten fast identisch.

Tabelle 9

Oberflächen- und Tiefenwasser
der Fethinge auf sieben Warfen der Hallig Hooge (Abb. 35)
(mit Ausnahme der Depot-Fethinge, vgl. Tabelle 10 und 11)

Warf	Entnahme	28. 2. 1962 mg NaCl/l	14. 3. 1962 mg NaCl/l	20. 7. 1962 mg NaCl/l	26. 9. 1962 mg NaCl/l
1. Backenswarf	Oberfläche	3 190	1 100	2 120	2 290
Norderfething	Tiefe	3 860	4 180	2 180	2 320
2. Hanswarf					
Gr. Fething	Oberfläche	—	—	—	—
	Tiefe	4 540	—	—	—
3. Ockelützwarf	Oberfläche	3 240	3 210	1 930	1 960
	Tiefe	4 270	3 370	1 930	2 020
4. Lorenzwarf	Oberfläche	6 890	5 540	4 430	4 540
	Tiefe	—	—	4 520	5 680
5. Ipkenswarf	Oberfläche	5 120	3 510	4 800	3 590
	Tiefe	9 450	6 170	4 810	3 620
6. Mitteltritt	Oberfläche	6 730	5 300	—	1 910
	Tiefe	—	—	—	1 930
7. Ockenwarf					
Fething Mextorf	Oberfläche	3 010	2 290	2 470	2 630
	Tiefe	—	2 340	2 970	2 610
Fething Boyens	Oberfläche	5 120	—	2 720	2 320
	Tiefe	—	—	2 880	2 410
Fething David Hansen	Oberfläche	4 130	3 220	3 510	3 080
- Diedrichsen -	Tiefe	—	3 300	3 500	3 100

*) Bei den Analysen vom 28. 2. 1962 handelt es sich um das erste Sickerwasser im Kuhling der Fethinge nach dem ersten, in mehreren Fällen zweiten Leerpumpen gleich nach der Sturmflut.

c. Die Salzgehaltsverteilung in den Depot-Fethingen

1. Die Depot-Fethinge auf Hallig Hooge

Im Abschnitt C, III, auf Seite 113 ist über die Anlage von Frischwasserdepots als Reserve nach der Sturmflut berichtet worden (vgl. Abb. 32 und 33).

Die Tabelle 10 enthält die auf der Backenswarf und Hanswarf in den Wasservorräten gemessenen Salzwerte. Alle Werte, auch die Salzgehalte in der Tiefe der Fethinge, liegen weit unterhalb der Zulässigkeitsgrenze. Die beiden Depots lieferten also einwandfreies Tränkwasser. Bei der Februarentnahme war das Wasser noch inhomogen. Die starke Abkühlung von der

Tabelle 10

Der Salzgehalt im Tränkwasser der Depot-Fethinge auf der Hallig Hooge in mg NaCl/l

1. 1. Depot-Fething auf der Backenswarf (nach dem Füllen vom Schiff aus):

28. 2. 1962		20. 7. 1962		26. 9. 1962	
Oberfläche	Tiefe	Oberfläche	Tiefe	Oberfläche	Tiefe
700	1510	1220	1270	1490	2020

2. 2. Depot-Fething auf der Hanswarf (nach dem Füllen vom Schiff aus):

28. 2. 1962		14. 3. 1962		20. 7. 1962		26. 9. 1962	
Oberfläche	Tiefe	Oberfläche	Tiefe	Oberfläche	Tiefe	Oberfläche	Tiefe
1240	1790	3100	3100	1420	2340	1190	1870

Oberfläche her durch den noch weit in den März hineinreichenden Frost (vgl. die Eisdecke auf dem Depot-Fething der Hallig Langeness, Abb. 32) wird (besonders deutlich im März auf der Hanswarf) durch Schwereaustausch einen Ausgleich zwischen Oberfläche und Tiefe bewirkt haben. Im Juli allerdings tritt dann wieder ein stärkerer Unterschied auf, so daß es schwer ist, eine Gesetzmäßigkeit zu finden. Auch hier liegen von Fething zu Fething individuelle Veränderungen vor, die mit dem vorliegenden Zahlenmaterial noch nicht erklärt werden können.

2. Die Depot-Fethinge auf Hallig Nordmarsch — Langeness

Auf der Hallig Langeness konnten die Frischwasserdepots wegen des Tiefgangs der großen Wassertransportschiffe nur im Westen der Hallig, auf der Warf Hilligenley angelegt werden.

Glücklicherweise befanden sich die beiden Fethinge dieser Warf in einem guten Zustand. Die Tabelle 11 beginnt mit der ersten Analyse gleich im Anschluß an die Sturmflut, nachdem beide Fethinge leergepumpt waren. Obwohl beide einander unmittelbar benachbart sind, unterschied sich das erste Sickerwasser in ihnen mit 1240 mg bzw. 5320 mg wesentlich. Ob dies auf die größere Ufernähe des zweiten Fethings (Süderfething) zurückzuführen ist, kann nicht gesagt werden. Größere Unterschiede im Salzgehalt zwischen Oberfläche und Tiefe können nur noch bis zum März nachgewiesen werden, danach geht in beiden Fethingen die Angleichung im Salzgehalt vor sich. Hiernach bewegen sich die Salzwerte der Depot-Fethinge von Langeness in der gleichen Größenordnung wie auf Hallig Hooge. Auch hier konnte das Vieh der Hallig monatelang aus den Depots mit einwandfreiem Tränkwasser versorgt werden.

Zur Veranschaulichung des Angleichungsvorganges zwischen Oberflächen- und Tiefensalzgehalt sind die gemessenen Werte in der Abbildung 42 graphisch aufgetragen worden. Die Kurven zeigen, daß der Salzaustausch zwischen oben und unten im Mai 1962 vollzogen war. Ob und wie lange die Angleichung auch noch während des folgenden Winters und später tatsächlich gedauert hat, ist nicht zu sagen; auch nicht, ob dieser Nachweis für jeden Fething geführt werden kann. Da auf Grund der hier besprochenen Salzwerte als erwiesen gelten kann, daß

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Tabelle 11

Der Salzgehalt im Tränkwasser in den Depot-Fethingen auf der Hallig Nordmarsch-Langeness in mg NaCl/l

Warf Hilligenley

1. 1. Depot-Fething: Schule — Schumacher
(21. 2. = Werte im Sickerwasser, alle übrigen Werte nach dem Füllen von Schiff aus):

21. 2. 1962	2. 3. 1962		15. 3. 1962		29. 5. 1962		18. 7. 1962		24. 9. 1962	
Oberfl.	Oberfl.	Tiefe	Oberfl.	Tiefe	Oberfl.	Tiefe	Oberfl.	Tiefe	Oberfl.	Tiefe
1240	850	3500	1010	3620	2210	2200	2410	2470	2480	2500

2. 2. Depot-Fething: Johannsen — Petersen
(nach dem Füllen vom Schiff aus):

21. 2. 1962	15. 3. 1962		29. 5. 1962		18. 7. 1962		24. 11. 1962	
Oberfläche	Oberfläche	Tiefe	Oberfläche	Tiefe	Oberfläche	Tiefe	Oberfläche	Tiefe
5320	1260	3120	1720	2020	2160	2180	2210	2230

3. 3. Mayenswarf

920	1 630	—	—	—	—	—	—	

kein Sood oder Fething dem andern gleicht, sollte das graphische Bild der Abbildung 42 nicht für Verallgemeinerungen und weitergehende Schlußfolgerungen verwandt werden. Die Ursachen für diese Ungleichheiten dürften vorwiegend im örtlich wechselnden Schichtenaufbau unter der Hallig zu suchen sein. Die indirekten Kontakte zwischen Sood bzw. Fething zum umgebenden Meer bleiben uns verborgen. Es ist nicht anzunehmen, daß diese für jede Warf und auf jeder Hallig die gleichen sind.

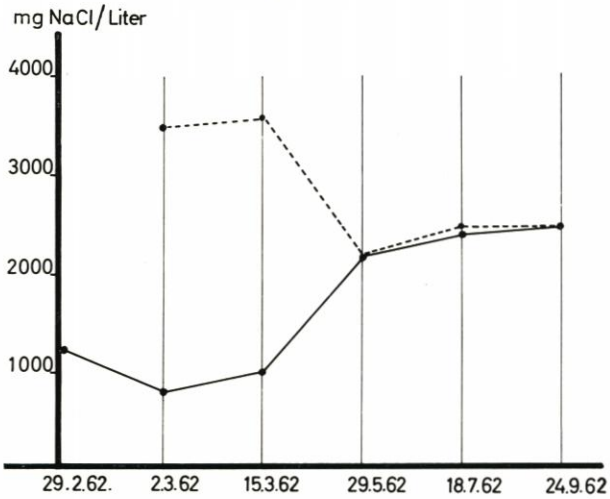


Abb. 42. Die Angleichung der Oberflächen- und Tiefensalzwerte im Depot-Fething Hilligenley (Schule) in der Zeit vom 29. 2. 1962 bis zum 24. 9. 1962
ausgezogene Kurve: Oberflächenwerte
gestrichelte Kurve: Tiefenwerte
Der Ausgleich zwischen oben und unten ist bis Ende Mai 1962 durch Anstieg der Salzwerte im Oberflächenwasser von 850 mg NaCl auf 2200 mg und durch Abfall der Salzwerte im Tiefenwasser von 3400 mg NaCl auf 2200 mg vollzogen. Von Mai an decken sich beide Kurven

d. Der Salzgehalt im Eis des Wattenmeeres

Wie oben (Seite 111) bereits dargelegt, setzte abweichend von der Regel gleich im Anschluß an die Sturmflut kaltes Winterwetter ein mit Temperaturen um minus 5 bis 10° C, mit etwas Schneefall, Treibeis und steifen nordöstlichen Winden. Es kam jedoch nicht mehr zu einer festen Eisdecke, und auch der Schnee reichte nicht aus, um durch Aufschmelzen die äußerste Härte der Trinkwassernot zu mildern.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Genau ein Jahr später — im Februar 1963 — wurden die Halligen durch eine extreme Frostperiode zunächst ganz vom Festland abgeschlossen. Die Eisbildung nahm im Wattenmeer ein Ausmaß an, wie es an der Westküste Schleswig-Holsteins nur sehr selten vorkommt. Aus grundsätzlichen Erwägungen mag diese ungewöhnliche Eislage hinsichtlich ihrer etwaigen späteren Bedeutung für die Trinkwasserversorgung der Halligen im äußersten Notstand hier kurz erörtert werden. Da die Windlage mehrere Wochen hindurch nicht nur ablandig, sondern

Abb. 43.
Die zusammenhängende Eisdecke im nordfriesischen Wattenmeer im Februar 1963
Aufn. E. Wohlenberg

auch richtungsbeständig war und somit keine wechselnd hohen Wasserstände vor der Küste herbeiführte, kam es nicht zu Eisverdriftungen und Überschiebungen, sondern es bildete sich von den Festlandsdeichen bis über die innere Halligkette hinaus eine nahezu tischebene Eisfläche von homogenem Aufbau. Diese nahm an Stärke ständig zu und ermöglichte schließlich den Wagen- und Autoverkehr vom Festland zu den Halligen Oland, Langeness, Gröde und Nordstrandischmoor (Abb. 43). Durch diesen Umstand verwandelte sich die anfänglich bedrohlich aussehende Versorgungslage der Halligen in eine außerordentlich günstige. Die stabile Lage der Eisfläche ermöglichte sogar den Transport schwerster Lastzüge, welche die noch nicht dagewesene Gelegenheit zum Transport von Baustoffen (Steinen, Sand, Zement) ausnutzten.

Das Eis hatte eine Stärke bis zu 70 cm erreicht. Da mit dem Gefrieren von Meerwasser ein Entsalzungsvorgang einhergeht (Schott 1924), wurden zum Nachweis an verschiedenen Stellen der Westküste von der Oberfläche, der Mitte und der Tiefe der Eisdecke sowie — zur Kontrolle — aus dem darunter befindlichen Wasser Proben für die Salzanalysen entnommen. Die erhaltenen Werte werden im Rahmen des hier behandelten Problems „Trink- und Tränkwasser" und im Hinblick auf die unter Umständen notdürftigste Versorgung in künftigen Katastrophenfällen mitgeteilt:

Tabelle 12

Eis- und Wasserproben westlich der Insel Nordstrand
in mg NaCl/l

1. Hafen Strucklahnungshörn		2. Freies Watt	
Eisscholle: 0—10 cm	110	Eisscholle: 0—10 cm	570
40—50 cm	1 220	40—50 cm	680
70—80 cm	2 940	70—80 cm	1 440
Wasser:		Wasser:	33 360
(Einfluß der Schleuse)	23 390		

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Tabelle 13

Eis- und Wasserproben an der Westseite des Hauke-Haien-Kooges
in mg NaCl/l

1. Hafen Schlüttsiel			2. Freies Watt		
Eisscholle	0—10 cm	130	Eisscholle:	0—10 cm	70
	40—50 cm	180		40—50 cm	700
Wasser:			Wasser:		21 760
(Einfluß der Schleuse)		920			

Beide Tabellen zeigen deutlich, daß der Salzgehalt im Wattenmeerwasser durch den Gefrierungsvorgang so weit absinkt, daß die oberflächennahen Schichten des Eises im Notfall sogar für die menschliche Ernährung gebraucht werden können. Noch in 40 bis 50 cm Tiefe der Eisdecke lassen sich Salzwerte nachweisen, die — verglichen mit der Notlage nach der Sturmflut 1962 (Tabelle 7 und 8) — wesentlich günstiger liegen als das Wasser der besprochenen Trinkwassersöde. Und die Salzgehalte der unteren Eisschichten bewegen sich mit 1440 bzw. 2940 mg NaCl immerhin noch in einer Größenordnung, die dem Vieh in den Ställen der Hallig nach der Februarflut gestattet hätte, das Eiswasser begierig und ohne Gefährdung durch Chloride aufzunehmen. Allein, diese Überlegung hat nur theoretischen Wert, da eine Kuh einen täglichen Wasserbedarf von rund 50 Litern hat und das Aufschmelzen des die Hallig bei entsprechendem Frostwetter in unbeschränkten Mengen umlagernden Eises in solchem Umfang in der Praxis natürlich nicht durchführbar ist.

Für die häusliche Küche jedoch wäre dieser Ausweg durchaus zu verwirklichen gewesen.

D. Das Sanierungsprogramm für die Halligen

I. Hausbau und Wasserleitung

In den vergangenen Jahrhunderten hat man nach jeder Sturmflut, sofern sie die Existenz der Halligbevölkerung in Frage gestellt hat, als erstes die Wiederherstellung der Gebäude und der Wasserversorgung betrieben, beides jedoch in der jahrhundertelang geübten Weise. Das Gesicht der Hallig blieb bewahrt. Auch nach der Sturmflut des Jahres 1825, als die Halligbewohner als notwendigste Maßnahme die Erhöhung ihrer Warfen (z. T. um mehr als einen Meter) vornahmen, erstanden die Wohn- und Stallgebäude in der alten Weise.

Das schon vor dem Sturmflutereignis 1962 für die Halligen in einzelnen Fällen als Teil des bekannten „Programm Nord“ angelaufene Sanierungsprogramm erfuhr nunmehr, gesteuert von der auf den Halligen eingetretenen Notlage, erneute Impulse. Die alten Halligh äuser werden jetzt abgebrochen und an ihre Stelle treten moderne landwirtschaftliche Gebäude von Typ und Größe der neuen Siedlungen des schleswigschen Festlandes. Abbildung 44 gibt zum Beispiel eine neue Halligsiedlung auf der Hallig Nordstrandischmoor wieder. Auch der Laie erkennt unschwer, daß die Warf — an sich das primäre Element der Sicherheit für eine Halligsiedlung — diese ihre vom Meer bisher vorgeschriebene Aufgabe, allein von der Masse, her gesehen, offenbar an die mächtigen Gebäude abgetreten hat. Die Warfen erfahren zwar eine Abflachung der Böschungen, jedoch keine den hydrographischen Gegebenheiten entsprechende Erhöhung. Der eigentliche Wohnhorizont liegt innerhalb der neuen Gebäude gegenüber

den alten Häusern glücklicherweise einige Dezimeter höher, so daß man das neue Hallighaus im Wohnteil von außen über zwei oder drei Stufen betritt. Die Schwelle der Haustür lag bis dahin mit dem Plateau der Warf in einer Ebene (vgl. Nivellement, Tabelle 3). Als Ausweg für die unterbliebene Erhöhung der Warf ist die Einrichtung von besonders stark fundierten und hochgelegenen Schutzräumen beschritten worden. Ihre Funktion beschränkt sich auf die Sicherung des Lebens der Halligbewohner selbst. Wohnung, Vieh, Inventar bleiben in Zukunft ihrem Sturmflutschicksal überlassen.

Die neuen Häuser erhalten harte Bedachung (Pfannen oder Eternit) und die Zisternen liegen künftig nicht mehr wie die althergebrachten Söde frei im Garten, sondern im Innern der

Abb. 44.
Das neue Hallighaus auf der Westerwarf der Hallig Nordstrandischmoor
Aufn. E. Wohlenberg

Gebäude, so daß eine Versalzung während der Sturmflut künftig weitgehend verhindert wird. Für das Vieh dagegen ist keine Sicherung des Tränkwassers vorgesehen. Etwaige, durch neue Überflutungen hereinbrechende Notlagen müssen durch Sondermaßnahmen vom Festland her — wie oben für 1962 dargestellt — behoben werden, es sei denn, daß Wasserleitungen vom Festland zu den Halligen geführt werden. Die Vorarbeiten für den Bau einer Wasserleitung vom Festland nach den Halligen Oland und Langeness sind bereits im Gange, und es besteht Aussicht, daß im Herbst des Jahres 1963 das erste Festlandwasser auf den beiden Halligen entnommen werden kann. Die zentrale Wasserversorgung der übrigen Halligen ist in technischer Hinsicht mit ungleich größeren Schwierigkeiten verbunden.

Angesichts der hohen Salzwerte in dem Rohrbrunnen der Hallig Nordstrandischmoor (11 000 mg NaCl, vgl. Tabelle 2 und Abb. 12) steht und fällt die Viehhaltung auf der Westerwarf (Abb. 12, D, E) mit der ständigen Versorgung mit Leitungswasser vom Festland. Diese erscheint um so dringender, als bei dem Neubau der Häuser keine Wasserspeicher für das Vieh und bei der Abflachung der Warfen auch keine Behelfs-Fethinge angelegt wurden. Die nur 12 cbm fassende Betonzisterne im neuen Gebäude der Westerwarf reicht lediglich für die Versorgung der Hausbewohner. Die neuen großen Dachflächen liefern zwar ein Vielfaches an Regenwassermenge, aber es ist kein Fething zum Speichern vorhanden, und das so dringend benötigte Süßwasser läuft von den Dächern frei die Warfböschung hinunter und ist somit für das Tränken des Viehs nicht verfügbar (vgl. Seite 96). Hier kann also, da der Bau von Fethingen unterblieben ist, nur noch die zentrale Wasserversorgung vom Festland her Wandel schaffen. Erst dann ist eine gesunde Viehhaltung und eine einwandfreie Milchwirtschaft auch auf der Westerwarf möglich.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

II. Sood und Fething trotz Wasserleitung?

Die oben gemachten Ausführungen über die durch Sturmfluten immer wieder eintretende Versalzung des Trink- und Tränkwassers zeigen eindringlich, welche fundamentale und segensreiche Bedeutung die risikolose Versorgung mit Süßwasser in Zukunft haben wird. Bei dieser Vorausschau erhebt sich die naheliegende Frage: Was soll alsdann mit den auf jeder Warf vorhandenen Söden und Fethingen geschehen? Da der Wirtschaftsplatz auf den Warfen naturgemäß beschränkt und nach der Errichtung der Neubauten praktisch vergeben ist, werden sich genügend Stimmen melden, die für eine Verfüllung der Fethinge, also ihre Beseitigung als herkömmliche Wassersammler eintreten. Das gleiche wird man mit den Söden vorhaben, sobald der Wasserhahn in der Halligküche betätigt werden kann.

Eine im Wattenmeer verlegte Wasserleitung ist jedoch größeren Gefahren und Beanspruchungen ausgesetzt als auf dem Festland, und bei einer etwaigen Störung würde eine Notlage entstehen, die schwerer wiegen würde als die Sturmflut-Notlage vom Februar 1962! Wer das Wattenmeer und seine natürliche, willkürliche Tendenz zu lokalen Veränderungen und Substanzverlagerungen kennt, wird es daher nicht als einen Einbruch in das Vertrauen auf die moderne Technik, hier Wasserleitung, ansehen, wenn auf jeder Warf mindestens ein Fething und für jeden Haushalt ein Sood funktionsfähig und als eiserne Reserve erhalten bleiben. Der Gefahr, daß außer Funktion gesetzte Fethinge zu Abfallgruben degradiert werden und somit die Hygiene auf der Warf in Frage stellen, sollte man von vornherein mit der Aufstellung eines entsprechenden Statuts begegnen. Die Verwirklichung und Beachtung dieses Statuts sollte einigen gewählten Vertretern der Halligbewohner übertragen werden.

III. Das Hallig-Statut als Organ der Ordnung, Hygiene und Sicherheit

Auf den beiden größten Halligen Hooge und Langeness sind bekanntlich seit 1938 Reformen im Gange. Die oft als Allmende angesprochene Nutzung der Ländereien ist mittels Landumlegung durch Eigenbesitz ersetzt worden, und die Anlage eines Grabensystems als Einteilung und zur besseren Entwässerung der Flur sowie die Anlage von festen Betonstraßen haben die Hallig als frei gewachsene Landschaft bereits wesentlich verändert. Trotz all dieser Veränderungen und trotz der jetzt im Entstehen begriffenen modernen Neubauten sowie der kommenden zentralen Wasserversorgung bleibt der Halligbetrieb der extensiv ausgerichteten Wirtschaftsform auch in Zukunft verhaftet. Das gute Wasser vom Festland wird zwar die Hygiene im Haus, die Milch- und Butterwirtschaft sowie die Aufzucht des Viehs verbessern, aber einer landwirtschaftlichen Intensivierung bleibt auch in Zukunft vom Meer die Grenze gesetzt.

Dem Fremdenverkehr wird im Rahmen der Halligsanierung des „Programms Nord" durch die Errichtung der Neubauten als kommende Wirtschaftshilfe eine zunehmende Bedeutung beigemessen. Der Feriengast auf der Hallig aber möchte nicht bei jeder Warf oder in den alten Prielen der Hallig oder gar am Halligufer nicht weit vom Badeplatz ungeregelte Abladeplätze von Zivilisationsschutt (Blech, Plastik, Papier, Düngerhaufen usw.) sehen. Mit anderen Worten, das Hallig-Statut wird diese üblen, den Fremdenverkehr in Frage stellenden Erscheinungen unterbinden müssen.

Doch das sei nur am Rande bemerkt. Viel wichtiger erscheint die Erhaltung und Pflege der Abwehrkraft der Warf, denn ihr muß auch in aller Zukunft die grundlegende Aufgabe für die Sicherheit der Bewohner zugeschrieben werden. Was auf dem Festland die amtliche Deichschau bedeutet, das sollte für die Halligen in Zukunft die „Schau" von Halligufer, Warf und

Fething übernehmen. Entsprechend der jahrhundertelang bewährten Ordnung und Pflege des Deichwesens an der Küste sollte die Warf- und Fethingschau zum ersten Punkt des zu schaffenden Hallig-Statuts erklärt werden. Wer die nach der Sturmflut neu geböschten und neu besodeten Warfen gesehen hat, wird verstehen, daß der durch staatliche Hilfe erreichte Zustand durch halligeigene Maßnahmen nicht gefährdet werden darf, sondern durch richtige Beweidung und Pflege ständig verbessert werden sollte. Die Beseitigung der bisher geübten Willkür in der Nutzung und Gestaltung der Warf bedeutet nicht etwa einen Eingriff in die persönliche Freiheit des Halligbewohners, sondern eine Erhöhung der Abwehrkraft seiner Warf gegen den Angriff der Sturmflut und damit die Stärkung seiner Existenz und schließlich den Fortfall der Hilfsmaßnahmen des Staates.

E. Zusammenfassung

1. Durch die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 wurden nicht nur die Deiche der Westküste Schleswig-Holsteins, sondern auch die bekanntlich ohne Deichschutz im Wattenmeer liegenden Halligen besonders schwer betroffen. Wenn auch keine Menschenleben der Flut zum Opfer fielen, schwebten doch einige Halligbewohner in schwerster Lebensgefahr. Die Schäden blieben glücklicherweise auf Sachwerte begrenzt. Zu diesen zählen als Werte von elementarer Bedeutung sämtliche Wasservorräte. Alles Trink- und Tränkwasser war durch die Überflutung unbrauchbar geworden. Diese Notlage auf dem schnellsten Wege zu beheben, war die erste und dringendste Aufgabe. Sie umfaßte sämtliche Halligen.
2. Nach einleitenden Ausführungen über Entstehung und Aufbau der Hallig wurden die im tieferen Untergrund (30 Meter) der Halligen Gröde, Hamburger Hallig und Nordstrandischmoor angetroffenen Salzwerte einander gegenübergestellt. Trinkbares Grundwasser führt allein der Untergrund der Hamburger Hallig.
3. Da auch in größeren Tiefen kein brauchbares Grundwasser anzutreffen ist — auf Hallig Oland Sondierung bis in 420 m Tiefe — sind die Halligen auf das im Jahresgang gesammelte Regenwasser angewiesen. Sood und Fething werden nach Lage, Bau und Funktion beschrieben.
4. Die absolute Höhenlage der Wohnhorizonte auf den Warfen der Hallig Nordmarsch (westlicher Teil der Hallig Langeneß) wird erstmalig veröffentlicht.
5. Hauptgegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Durchführung der Behebung des Wassernotstandes. Er wurde mit Hilfe von Wassertransportschiffen in zehn Tagen beseitigt. Auf diese Weise brauchte die in den ersten Tagen nach der Sturmflut ernstlich drohende Evakuierung der Halligbevölkerung und der großen Viehbestände nach dem Festland nicht durchgeführt zu werden.
6. Anläßlich der Koordinierung der Versorgung aller bewohnten Halligen wurden aus allen Söden (Trinkwasser) und sämtlichen Fethingen (Tränkwasser) Wasserproben für die Salzanalysen entnommen. Somit konnte in der entsagungsvollen Geschichte und in der naturbedingten Notlage der Halligen endlich der Nachweis darüber geführt werden, was der Halligbevölkerung und auch dem Vieh nach solchen Sturmflutkatastrophen an gesundheitsschädlichem Wasser tatsächlich zugemutet wird.
7. Die Salzwerte sowohl im Wasser der Söde als auch der Fethinge gehen ursächlich jedoch nicht allein auf die Sturmflut zurück, sondern auch auf den von der Sturmflut nicht unmittelbar betroffenen Untergrund wenige Meter unter der Oberfläche des Halligplateaus.
8. Nicht wenige Söde zeigten nach der Entleerung des während der Sturmflut eingedrungenen Meerwassers und nach ihrer Wiederauffüllung mit einwandfreiem Frischwasser so hohe Salzwerte in der Tiefe, daß die für die menschliche Ernährung maßgebliche Zuträglichkeitsgrenze um einige hundert Prozent überstiegen wurde. Daraufhin wurden die Entnahmen aus den bis in die Tiefe der Söde reichenden Hauspumpen untersagt und nur das von der Oberfläche der Söde von Hand geschöpfte Wasser für den Gebrauch in der Hausküche empfohlen, da der Salzgehalt an der Oberfläche stets bedeutend niedriger war.
9. Als Abschluß der Wasserversorgung wurden auf den beiden größten Halligen Langeneß und Hooge umfangreiche Tränkwasserreserven angelegt. Diese vier Depot-Fethinge machten die beiden Halligen von weiteren festländischen Hilfslieferungen während des ganzen Jahres 1962 unabhängig.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

10. Da die schwersten Sturmfluten während der Wintermonate aufzutreten pflegen, wurde das Eis des Wattenmeeres auf seinen Salzgehalt untersucht. Durch den beim Gefrieren des Meerwassers bis weit unter die Zuträglichkeitsgrenze absinkenden Salzgehalt des Eises konnten die Eisfelder als mögliche Helfer in der äußersten Not herausgestellt werden.
11. Als Abschluß wird das für die Halligen bereits angelaufene Sanierungsprogramm unter Beschränkung auf das Problem „Trinkwasser" erörtert.
    Die im vorliegenden Bericht mitgeteilten Salzwerte dürften den planenden Dienststellen verläßliche Unterlagen für die unumgänglich notwendige Versorgung der Halligen durch eine Wasserleitung vom Festland an die Hand geben.
12. Sood und Fething sollten auch nach Einführung der zentralen Wasserversorgung als Reserve in Notzeiten in beschränkter Zahl funktionsfähig erhalten bleiben.
13. Die Aufstellung eines „Hallig-Statuts" als Organ der Ordnung, Hygiene und Sicherheit wird empfohlen und begründet.

F. Schriftenverzeichnis

Andresen, L.: Kulturspuren im Watt bei der Hallig Langeneß-Nordmarsch. Föhrer Heimat-Bücher, 22 1937.

Bantelmann, A.: Das nordfriesische Wattenmeer, eine Kulturlandschaft der Vergangenheit. Westküste 2, H. 1, 1939.

Bantelmann, A.: Forschungsergebnisse der Marschenarchäologie zur Frage der Niveauveränderungen an der schleswig-holsteinischen Westküste, 8, 1960.

Busch, A.: Die Entdeckung der letzten Spuren Rungholts. Nordfries. Jahrb. 10, 1923.

Busch, A.: Die heutige Hallig Südfall und die letzten Spuren Rungholts. Die Heimat 64, 1957.

Delff, Chr.: Nordfrieslands Werden und Vergehen. Nordelbingen 10, 1934.

Dittmer, E.: Mittelalterliche Verfehnung in Nordfriesland. Die Heimat 57, H. 4, 1950.

Dittmer, E.: Zur Geschichte der Landschaft und der Warften Nordfrieslands. Jaarverslag van de Vereeniging vor Terponderzoek. Groningen 1954.

Dittmer, E.: Die Versalzung des Grundwassers an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste 5, 1956.

Dittmer, E.: Neue Beobachtungen und kritische Bemerkungen zur Frage der „Küstensenkung". Die Küste 8, 1960.

Ernst, O.: Geologie des Salztorfes. Föhrer Heimatbücher 18, 1934.

Grund, E.: Dr. Eugen Traeger, ein Vorkämpfer für die Erhaltung der Halligen und die Landeskulturarbeiten an der schleswig-holsteinischen Westküste. Westküste 2, H. 2/3, 1940.

Haeberlin, C.: Die Halligwohnstätte. Dtsch. Volkskunde 4, H. 1, 1912.

Haeberlin, C.: Die Nordfriesischen Salzsieder. Föhrer Heimatbücher 18, 1934.

Heck, H.-L.: Das Grundwasser im Zusammenhang mit dem geologischen Bau Schleswig-Holsteins. Berlin 1932.

Koehn, H.: Die nordfriesischen Inseln. Hamburg 1954.

Küstenausschuss Nord- und Ostsee: Gutachtliche Stellungnahme zur Anpassung der Warfen auf den nordfriesischen Halligen an die heute möglichen Sturmfluthöhen. Die Küste 6, H. 1, 1957.

Lorenzen, J. M.: 25 Jahre Forschung im Dienst des Küstenschutzes. Die Küste 8, 1960.

Meiborg, R.: Das Bauernhaus im Herzogtum Schleswig. Schleswig 1896.

Meyn, L.: Geognostische Beschreibung der Insel Sylt und ihrer Umgebung. Berlin 1876.

Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste 10, H. 1, 1962.

Möller, Th.: Die Welt der Halligen. Kiel 1924.

Müller, F.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste, Teil I — Die Halligen. Berlin 1917.

Schott, G.: Physische Meereskunde. Sammlung Göschen 112. Leipzig 1924.

Schott, K.: Die Westküste Schleswig-Holsteins. Probleme der Küstensenkung. Schr. Geogr. Inst. Univ. Kiel, Kiel 1950.

Schulz, B.: Die deutsche Nordsee, ihre Küsten und Inseln. Monograph. z. Erdkunde 39. Leipzig 1937.

Schütte, H.: Die Wurten als Urkunden der Küstengeschichte. Natur und Museum 70, H. 6, 1933.

Traeger, E.: Die Halligen der Nordsee. Stuttgart 1892.

Veen, J. van: Die Versalzung der niederländischen Marschen und ihre Bekämpfung. Die Küste 5, 1956.

Wegener, Th.: Verlorenes Land. Föhrer Heimatbücher 22, 1937.

Wohlenberg, E.: Ruinen im Wattenmeer. Natur und Museum 62, H. 1, 1932.

Wohlenberg, E.: Das Andelpolster und die Entstehung einer charakteristischen Abrasionsform im Wattenmeer. Helgol. Wiss. Meeresunters. 19, H. 4, 1933.

Wohlenberg, E.: Das Watt schreibt unsere Geschichte. Zeitsch. Ostfries. Landschaft 3, 1955.

Wohlenberg, E.: Die Versalzung im Gotteskoog (Nordfriesland) nach biologischen und chemischen Untersuchungen. Die Küste 5, 1956.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Der maßgebende Sturmflutseegang und Wellenauflauf an den Deichen

Ergebnisbericht 1

Küstenausschuß Nord- und Ostsee
Arbeitsgruppe Sturmfluten

Durch die Schäden der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 sind umfangreiche Baumaßnahmen zur Sicherung unserer Küsten notwendig geworden. Die Arbeitsgruppe Sturmfluten stellt zur Frage des Wellenauflaufes folgendes fest:

1. Für das Deichbestick ist die Kenntnis der Seegangselemente bei einer Sturmflut (wie Wellenhöhe, -länge, -periode und -richtung) unmittelbar am Deich erforderlich. Genaue Angaben darüber liegen für die deutsche Nordseeküste nicht im ausreichenden Maße vor. Überdies ist die Abhängigkeit des Seeganges unmittelbar am Deich von dem Seegang auf dem Watt und auf dem tieferen Wasser nicht bekannt.
2. Außer wissenschaftlichen Werken stehen für die Entwurfspraxis zur Wiederherstellung und Verstärkung der Deiche bisher nur die von den Niederländern im Rahmen der Arbeiten des Deltaplanes entwickelten Bemessungsunterlagen oder die beim Franzius-Institut der Technischen Hochschule Hannover erzielten Ergebnisse von Modellversuchen zur Verfügung. Die Arbeitsgruppe Sturmfluten verweist hierzu auf die beiden Aufsätze von Dipl.-Ing. Hundt in diesem Heft:

   „Beitrag zur Frage des maßgebenden Sturmflutseegangs vor einem Deich am Watt. Beispiel Büsum“ und

   „Der maßgebende Sturmflutseegang und Wellenauflauf für das Deichbestick der deutschen Nordseeküste auf Grund der Sturmflut vom 16. Februar 1962.“

   Die Arbeitsgruppe stimmt mit Herrn Hundt darin überein, daß die bisher dem Deichbestick zugrunde gelegten Seegangswerte sehr wahrscheinlich erhöht werden müssen, da die bisher angenommenen Werte am 16./17. Februar 1962 unter meteorologischen Bedingungen und bei Wasserständen beobachtet wurden, die durchaus noch übertroffen werden können.
3. Da die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 den Mangel an genauen Kenntnissen über den Seegang in der Deutschen Bucht besonders deutlich gemacht hat, ist die Arbeitsgruppe Sturmfluten der Auffassung, daß im Bereich der Deutschen Bucht, insbesondere im Gebiet des Überganges zu den Wattgebieten und auf den Watten selbst, eine intensive Seegangsforschung betrieben werden muß. Diese soll umfassende Meßwerte mit selbstschreibenden Wellenmeßgeräten schaffen und daran anknüpfend die Ausarbeitung geeigneter Verfahren zur Ermittlung des maßgebenden Seeganges und Wellenauflaufes unter verschiedenen meteorologischen, hydrographischen und morphologischen Verhältnissen ermöglichen. Außerdem sollen damit eingehende hydrodynamische Untersuchungen angestellt werden.

Hamburg, den 29. August 1962

Defant	Hensen	Rodewald
Habich	Hundt	Tomczak
Hansen	Liese	Walden

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Beitrag zur Frage des maßgebenden Sturmflutseegangs vor einem Deich am Watt. Beispiel Büsum

Von Claus Hundt

Inhalt

1. Anlaß und Absicht 136
2. Grundwerte 140
3. Vorausberechnung des maßgebenden Sturmflutseegangs vor dem Deich 141
4. Schriftenverzeichnis 145

1. Anlaß und Absicht[1])

Bei der Sturmflut vom 16. Februar hat der Wellenauflauf an entscheidenden Deichstrecken tatsächlich schon diejenige Höhe erreicht, die nach den 1954 aufgestellten Vorausberechnungen (HUNDT 1955, Tab. 7) erst bei Eintritt der als maßgebend erachteten Sturmflutwasserstände zu erwarten sein sollte.

An zwölf repräsentativen Deichstationen relativ starker Gefährdung betrug der Wellenauflauf am 16. Februar 1962 im Mittel/Maximum/Minimum

$$A_{62}\ (\text{mitt./max/min}) = 2{,}6/3{,}3/1{,}9\ \text{m},$$

lotrecht gemessen vom Ruhewasserstand bis zu den jeweils höchsten Wellenspitzen (BOTHMANN u. HUNDT 1962), dargestellt durch die nachträglich einnivellierte Flutkante (Treibselkante). Die vor acht Jahren für dieselben Punkte als maßgebend vorausberechneten Auflaufhöhen betrugen vergleichsweise

$$A_{massg.\,54}\ (\text{mitt./max/min}) = 2{,}7/3{,}5/2{,}0\ \text{m},$$

praktisch also dasselbe.

Hierbei alarmierten die beiden Umstände,

a) daß der maßgebende Sturmflutwasserstand bei Büsum rund 0,4 m höher liegt als am 16. Februar 1962,

b) daß der Küstenwind während einer maßgebenden Orkanflut wesentlich stärker erwartet werden muß als er am 16. Februar 1962 tatsächlich auftrat, nämlich mindestens 30 bis 32 m/s mittlere Windgeschwindigkeit anstelle des am 16. Februar 1962 gemessenen geringen Wertes 20 m/s, vergleiche die Abbildungen 1a und 1b sowie (HUNDT 1955)! In bezug auf die stau- und wellenwirksame Windkraft, die sich im Quadrat der Windgeschwindigkeit ausdrückt, ist demnach noch eine Steigerung auf den etwa 2,2fachen Wert zu erwarten im Vergleich zum 16. Februar 1962.

Offenbar haben also die 1954 angestellten Wellenermittlungen untertrieben. Diese hatten sich gestützt auf folgende Unterlagen:

c) Analyse örtlicher Einflußfaktoren wie Wassertiefen, Luvstellung der Deichachse, Streich-

[1]) Dieser Aufsatz wurde im Juni 1962 terminbedingt als Grundlage für befristet aufzustellende Deichbestick-Entwürfe niedergeschrieben. Er behandelt in vorläufiger Weise aus dem Gesamtproblem Seegang und Wellenform nur die Teilfrage des Seegangs vor dem Deich an einem ausgewählten örtlichen Beispiel.

Abb. 1a

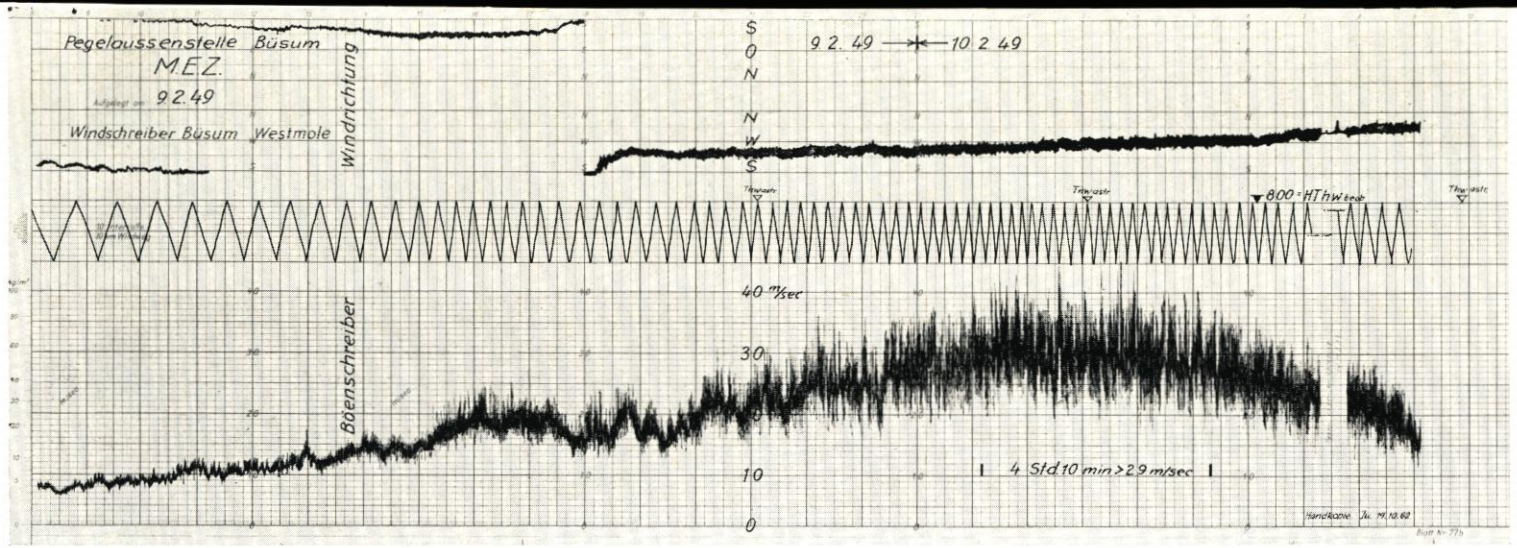


Abb. 1b

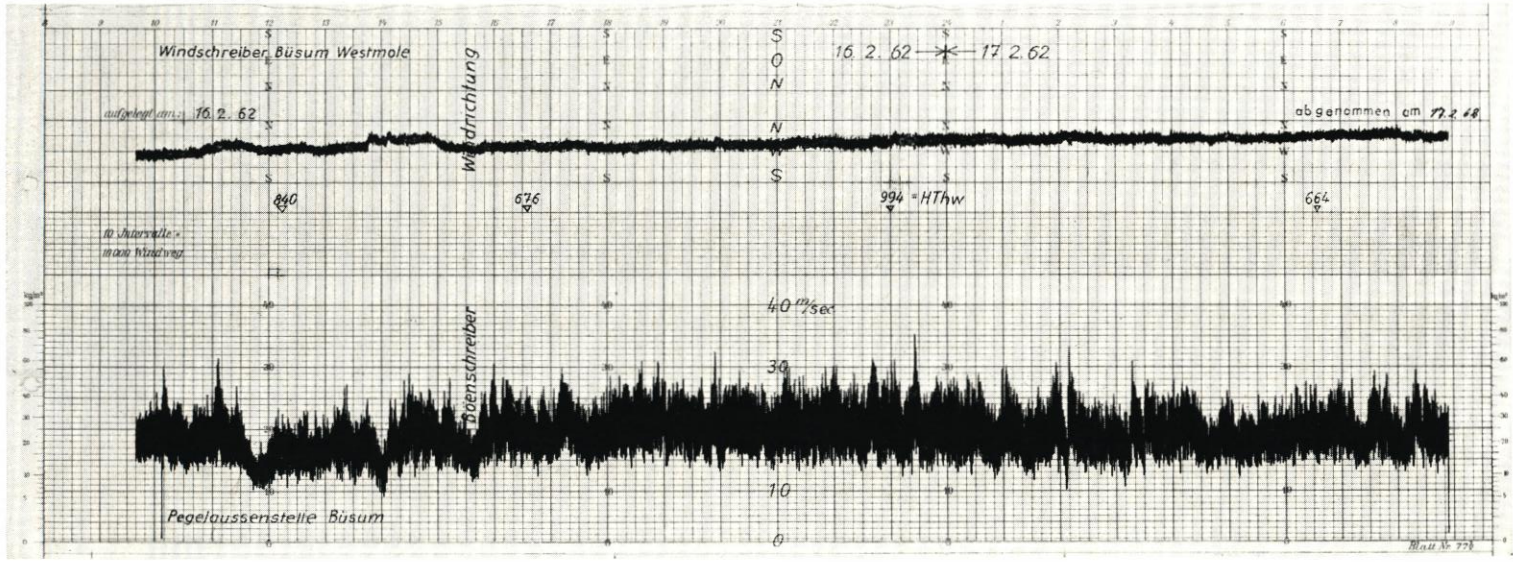


Abb. 1a. Windschrieb Büsum-Westmole am 9./10. Februar 1949
Sog. „Niedrigwasserorkan". Sturmdauer ≧ 20 m/s etwa 17 Stunden. Orkandauer ≧ 29 m/s etwa vier Stunden. Maximale „wirksame Windgeschwindigkeit" = Stundenmittel 1.30 bis 2.30 Uhr am 17. Februar aus mittl. Windgeschw. (u = 32) und oberem Böenmittel ohne die zehn höchsten ($u_{Böen}$ = 36,5): U_{mx} = (32 + 36,5) ½ = 34,2 m/s

Abb. 1b. Windschrieb Büsum-Westmole am 16./17. Februar 1962
„Februarsturmflut 1962". Sturmdauer ≧ 20 m/s etwa 24 Stunden, kein Orkan. „Wirksame Windgeschwindigkeit" U_{mx} 24 m/s fünf Stunden lang von 18.00 bis 23.00 Uhr am 16. Februar 1962

länge des Windes u. a. auf Grund örtlicher Erhebungen bei einigen hohen Sturmfluten seit 1936, einschließlich 1. Februar 1953 in Holland (HUNDT 1955, S. 128).

d) Einzelne wenige Handmessungen über Wellenperioden und Wellenauflauf bei der Sturmflut am 16. Januar 1954 in Dithmarschen, Eiderstedt und Nordfriesland.

e) Modellversuche 1954/55 über Wellenauflauf an einem Deich-Normalprofil konkaven Typs hinter einem auf NN gelegenen Wattstreifen, seewärts unbeschränkt anschließendes Tiefwasser auf Sohle —10 m NN (HENSEN 1954, 1955).

Stark idealisierend handelt es sich hier um windfreie Tiefwasser-Dünung, die durch Brandung am Wattsaum umgeformt wird, sodann mit geschwächter Energie aber gleicher Periode an den Deichfuß gelangt und schließlich am Deich aufläuft. Die absoluten Ergebnisse konnten also nicht naturähnlich sein, denn der Seegang vor den schleswig-holsteinischen Deichen ist fast ausnahmslos eine selbständige ortseigene Windsee, die mit den Wellenelementen der offenen See wenig zu tun hat. Darüber hinaus mußte auch der Anteil des Windschubs während des eigentlichen Wellenauflaufs am Deich in den Versuchen fehlen.

Gleichwohl erlauben die Versuche relative Rückschlüsse auf die Beziehungen zwischen Wassertiefe, Wellenperioden u. a. und Wellenauflauf.

Gegenüber dem Stand von 1954 gibt es nunmehr vollständigere Ermittlungsgrundlagen wie folgt:

f) Systematische Handmessungen über Wellenauflauf und Perioden während mehrerer Sturmfluten von 1954 bis zum 12. Februar 1962 an zwölf repräsentativen Deichstationen, mittels Taschenuhr und meterweise am Außendeich verteilten Höhenmarken; sechs Beobachtungstermine in der Stunde zu je zwei Minuten Beobachtungsdauer (s. Abb. 2a sowie PEGELAUSSENSTELLE BÜSUM 1962).

g) Flutkantennivellement nach der Sturmflut vom 16. Februar 1962 in Eiderstedt und Dithmarschen (BOTHMANN u. HUNDT 1962). Die übrigen schleswig-holsteinischen Deichstrecken sind zur Zeit noch nicht ausgewertet[2]).

h) Während der schweren Sturmflut am 16. Februar 1962 Wellenbeobachtungen wie unter f) an drei Stationen, darunter Büsum-West. Alle anderen Stationen fielen angesichts der Katastrophengefahr aus, siehe Abbildung 2b.

i) Zusätzlich zu h) einzelne Schätzungen von Wellenhöhen und Längen auf dem Watt vor Büsum-West durch HUNDT am 16. Februar als einzige bisher bekanntgewordene Erfahrungswerte über extreme Verhältnisse. Beobachtung ermöglicht durch seitliche Einsicht in die arenaartige Wattbucht.

k) Niederländische Untersuchungs- und Versuchsergebnisse (DELTACOMMISSIE 1960, besonders Bijlage V. 1—2.0.2), zusammengefaßt in Abbildung 3A—C.

Die Fragestellung dieser Teilbearbeitung lautet:

Wie groß können äußerstenfalls
die praktisch wirksame Wellenhöhe H,
die praktisch wirksame Wellenperiode T,
daneben
die Wellenlänge L und
die Wellenschnelligkeit C

vor dem Deichfuß bei Büsum-West werden, sobald der maßgebende Sturmflutwasserstand $HHW_{massg.} = + 5{,}3$ NN zugleich mit einer örtlichen mittleren Windgeschwindigkeit u = 32 m/s aus der gefährlichsten Richtung West auftritt (Bezeichnungen wie im Wellenfunktionsdigramm Abb. 3).

[2]) Inzwischen veröffentlicht durch ZITSCHER (1962).

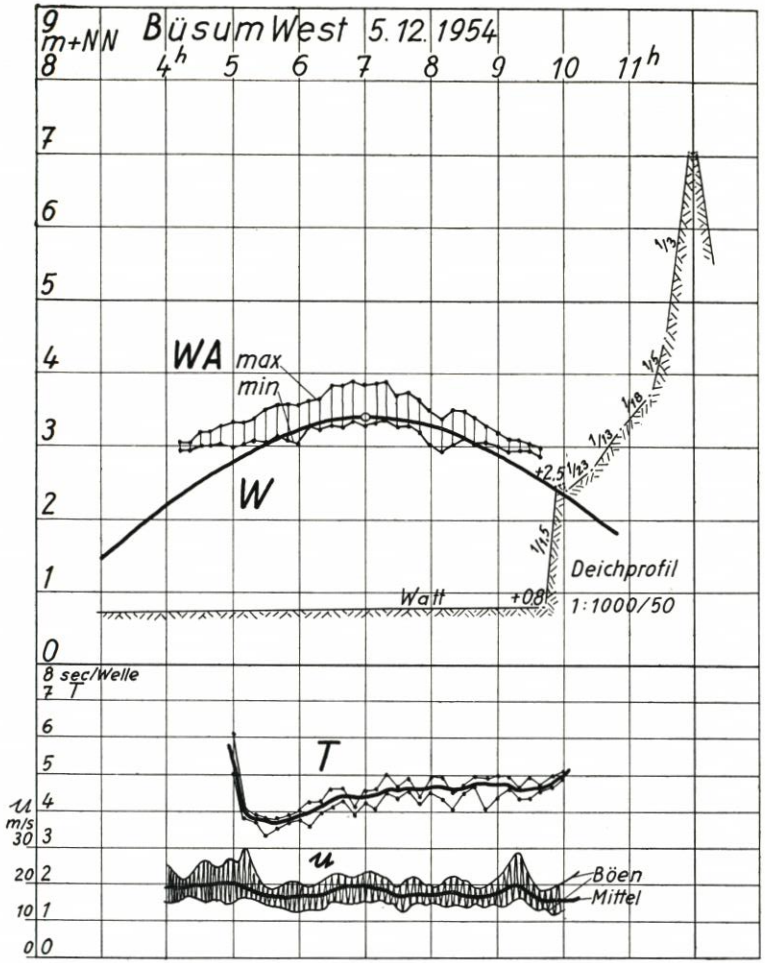


Abb. 2a. Sturmflut am 5. Dezember 1954

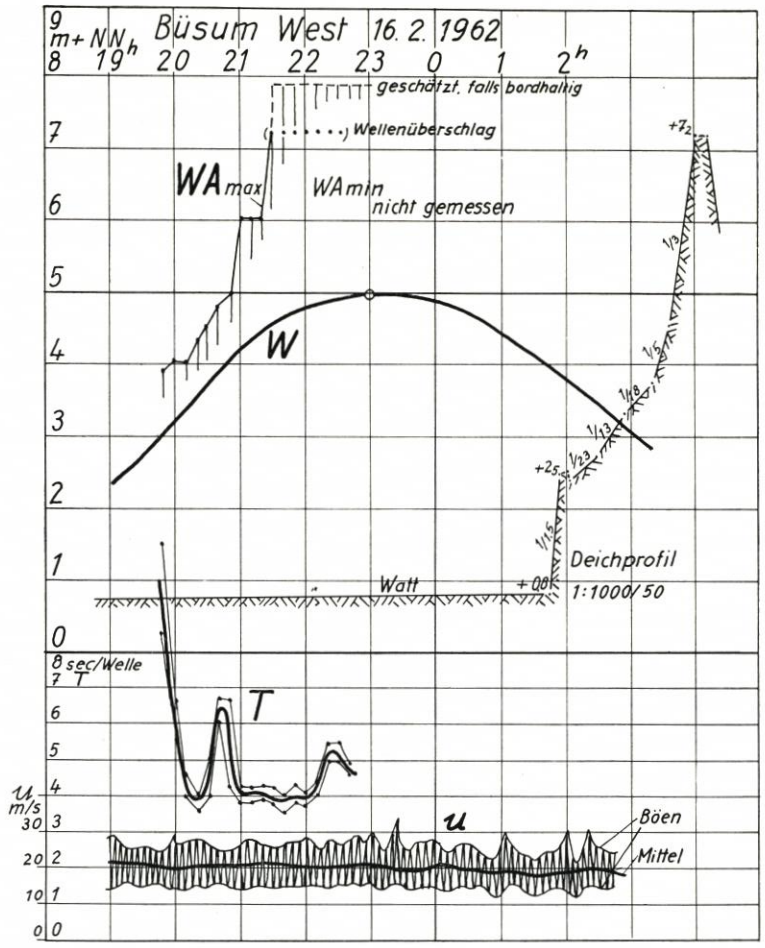


Abb. 2b. Sturmflut am 16. Februar 1962

Wellenperiode, Wellenauflauf und Wasserstand am Schardeich in Büsum-West (Meßstation W5)

WA = Wellenauflauf der Wellenzungen, Höchst- und Niedrigstwert aus 2 Minuten Beobachtungsdauer, 10-Minuten-Termine, Augenbeobachtung an meterweise an der Böschung gestaffelten Höhenmarken. W = Wasserstand, T = Wellenperiode, 2-Minuten-Mittel, Termine wie oben. u = Windgeschwindigkeit nach Windschreiber Büsum-Westmole.

2. Grundwerte

Die Wellenmeßstation Büsum-West liegt an einem Schardeich, vor dem sich westwärts, d. h. sturmwärts, auf rund 1 km ein fast ebenes Watt von mittlerer Sohlenhöhe + 0,5 m NN erstreckt. Weiter hinaus folgen Senken bis —1,5 m NN und Flachrücken bis + 0,8 m NN aufeinander. Die Westachse mündet schließlich nach rund 2 km schräge in den bis 20 m tiefen Wattstrom „Piep" (Lageplan s. Abb. 4).

Am 16. Februar 1962, bei Sturmrichtung NWzW, kann die Meßstation schwach in Leeschutz der gegen Norden abschirmenden Seedeichstrecke gelegen haben, ohne daß allerdings

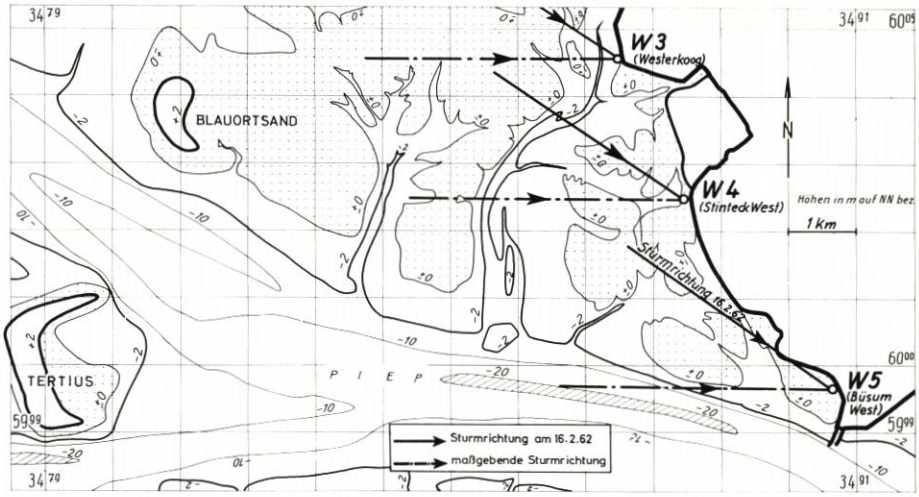


Abb. 4. Übersichtsplan des Wattgebiets westlich Büsum

dieser Sondereinfluß an den bisherigen Beobachtungen aufgefallen wäre. Doch ist dieser Umstand insofern im Auge zu behalten, als andererseits bei der Vorausberechnung auf Westorkan der wirksame Windstreichraum vollkommen frei vorzustellen ist. Ob dann außerdem noch die im Vergleich zum 16. Februar 1962 nähere Lage des Tiefwassers der Piep eine verschärfende Rolle spielen kann, darf auf Grund der Hannoverschen Modellversuche bezweifelt werden. Nach den dortigen Anlagen 22 und 23 verlischt selbst sehr starker Tiefwasserseegang spätestens 200 m nach seinem Übergang auf Flachwasser völlig durch Brandung. Auf feinere Modifikationen, etwa Diffraktion auf ansteigendem Grund, sei nur hingewiesen.

Beobachtete Wellenelemente

Bei fünf Sturmflutscheiteln betrugen an Station Büsum-West die Zweiminutenmittel der Wellenperioden 4 bis 4½ s, im ganzen gesehen ziemlich gleichartig trotz verschiedener Wasserstände, vgl. Abbildungen 2a, b. Genauere Analyse steht noch aus.

Am 16. Februar 1962 wurden eine Stunde lang vor Hochwasser im Mittel beobachtet:

$$T_m \text{ beob.} = 4 \text{ bis } 5 \text{ s.}$$

Es ist jetzt zu ermitteln, wieweit sich die Periode unter extremen Verhältnissen steigern kann. Vergleichsweise wiesen Nachbarstationen, ebenfalls an Schardeichen, größere Perioden

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

(um 5 s) auf als Büsum; das Watt liegt dort etwas tiefer. Demgegenüber betrugen die Wellenperioden vor Deichen mit Vorland, das 1 bis 2 m höher liegt als Watt, nur 2 bis $3^1/_2$ s.

Wellenhöhen und Längen vor dem Deich sind nirgends beobachtet worden außer am 16. Februar 1962 bei Büsum-West. Nach Augenmaß betrugen zur Hochwasserzeit

die größten Wellenhöhen H_{mx} beob. = 1,8 bis 2,2 m
die größten Wellenlängen L_{mx} beob. = 12 bis 18 m.

Diese Schätzungen waren zwar bei bedecktem Nachthimmel angestellt worden, sie wurden aber durch Klarwetter und Mondschein sowie durch die Möglichkeit seitlicher Einsicht erleichtert.

Gemessene Windgeschwindigkeiten

Der Windmesser Büsum liegt auf Höhe + 18 m NN frei gegen das westliche Wattenmeer, von wo der Wind ohne Hindernis heranstreicht.

Am 16. Februar 1962 bei Hochwasser betrug die mittlere Windgeschwindigkeit 20 m/s, wie Abbildung 1b ausweist. Man hat indessen, zumal angesichts der über sechs Stunden dauernden stetigen Vorwirkung, die wellenwirksame Windgeschwindigkeit nicht im Windmittel, sondern mehr in Nähe der häufigeren Böenstöße zu suchen, also laut Windblatt bei etwa

$$U_B = 24 \text{ m/s}.$$

Sinngemäß sind für die Vorausberechnungen nicht die äußerst erwarteten mittleren Windgeschwindigkeiten 30 bis 32 m/s einzusetzen, sondern eine „wirksame" Windgeschwindigkeit (Abb. 1a als Beispiel) von

$$U_{B\ massg.} = \text{rund } 35 \text{ m/s}.$$

Obige Verwendung der „wirksamen" Windgeschwindigkeit geschieht freihändig, u. a. auf Grund persönlicher Erfahrung auf den Watten. Anderweitige Untersuchungen sind nicht bekannt geworden.

U_B wird gesetzt als Stundenmittel aus: Mittlerer Windgeschwindigkeit und Mittel der oberen Böenspitzen ohne die zehn höchsten.

3. Vorausberechnung des maßgebenden Sturmflutseegangs vor dem Deich

Das als Abbildung 3 beigegebene Delfter Seegangsdiagramm zeigt die Wellenelemente in Abhängigkeit von ihren Erzeugenden: Wassertiefe, Wind und Streichlänge. Für Seichtwasserverhältnisse bietet dies vom Wasserbaulaboratorium Delft aufgestellt Diagramm offenbar die bisher zuverlässigste Einsicht. Neuerdings wurden die Werte bestätigt durch Wellenmessungen im IJsselmeer 1960 (Roest 1961). Sie beruhen sowohl auf umfangreichen Seegangsbeobachtungen und Messungen als auch ergänzenden Modellversuchen (Gerritsen 1956).

Die Möglichkeit, das Diagramm auf die Meßstation Büsum mindestens annähernd zu „eichen", boten die im Abschnitt 1 genannten eigenen Beobachtungen.

Folgendes war dabei zu beachten:

a) Die Windkraft wird laut Abschnitt 2 durch ein Böenmittel repräsentiert, welches größer als die mittlere Windgeschwindigkeit ist.

b) Diagramm- und Beobachtungswerte der Wellenhöhen sind beide auf die sogenannte „kennzeichnende Wellenhöhe" $H_{1/3}$[3]) zu reduzieren, um vergleichsfähig zu sein. Deshalb sind die

[3]) $H_{1/3}$ bedeutet den Mittelwert aus dem höchsten Drittel aller Beobachtungen.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Tabelle 1

Ermittlung des maßgebenden Seegangs vor dem Deich Büsum-West

1	2		3	4	5	6	7	8	9
	Bezeichnung, Formel	Dimension	Symbol	Nachrechng. 16. 2. 1962 Rechng. (Beob.)	Wie 16. 1. 1954 Vorm. Rechng. (Beob.)	Voraus-berechnung maßg. Sturmfl.	Wie 6. Jedoch W_B = 20 m/s	Wie 6. Jedoch F = 5000 m	Tiefwasser Schema
1	Höhe der Windbeob.	+ m NN	B	+ 16	+ 16	+ 16	+ 16	+ 16	+ 16
2	Mittl. Watthöhe[1])	+ m NN	OK Watt	+ 0,5	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	— 12,7
3	Tidehochwasserstand	+ m NN	Thw	+ 4,9	+ 3,8	+ 5,3	+ 5,3	+ 5,3	+ 5,3
4	Beob. Windgeschw. Böenmittel[2])	m/s	U_B	24 NWzW	20 West	35 West	20 West	35 West	35 West
5									
6	Höhe d. Windbeob. über Wasserspg.	m	h_B	11,1	12,2	10,7	10,7	10,7	10,7
7	$50 \cdot h_B$	—	$5g\,h_B$	555	610	535	535	535	535
8			$(5gh_B)^{0,2}$	3,54	3,6	3,51	3,51	3,51	3,51
9			$U_B^{1,4}$	88	66	145	66	145	145
10	$U_B^{1,4} : (5gh_B)^{0,2}$ [6])	m/s	U_R	24,8	18,4	41,3	18,8	41,3	41,3
11									
12		1/m	g/U_R^2	1/62	1/34	1/171	1/35	1/171	1/171
13	Windstreichlänge[3])	m	F	10 000	10 000	10 000	10 000	5 000	10 000
14	Wassertiefe Thw — OK Watt	m	d	4,4	3,6	5,1	5,1	5,1	18
15	Abszisse zu F Diagramm (Abb. 3A)	—	$g/U_R^2 \cdot F$	161	295	58,5	283	29,2	58,3
16	Parameter zu d Diagramm	—	$g/U_R^2 \cdot d$	0,071	0,122	0,03	0,14	0,03	0,11
17	Ordinate aus H Diagramm	—	$g/U_R^2 \cdot H$	0,019	0,03	0,009	0,035	0,008	0,021
18	Ordinate aus r Diagramm	—	$g/U_R^2 \cdot r$	0,044	0,063	0,023	0,068	0,022	0,043
19	Kennz. Wellenhöhe = Zl. $7 \times U_R^2/g$	m	$H(^1/_3)$ [4])	1,2 (1,22) [5])	1,02	1,55	1,24	1,37	*3,6*
20	Rollkreis = Zl. $8 \times U_R^2/g$	m	r	2,7	2,14	3,96	2,40	3,75	7,4
21									
22		—	d/r	1,61	1,68	1,29	2,1	1,36	2,4
23	Tang. hyperbolicus	—	th(d/r)	0,92	0,93	0,86	0,97	0,88	0,99
24			g·r·th(d/r)	24,8	19,9	34	23,3	33	73

Fortsetzung Tabelle 1

25	Wellenschnelligkeit	$\sqrt{g \cdot r \cdot th(d/r)}$	m/s	C	5,0	4,5	5,8	4,8	5,8	8,5
26	Wellenlänge	$2\pi r$	m	L	17 (12—18)	13,4	24,9	15	23,5	48
27	Wellenperiode	L/C	s	T	3,4 (4)	3,0 (3,8?)	4,3	3,1	4,05	5,6
28										
29		$U_R^2/5g$	m	h_R	12,4	6,8	34,1	7,0	34,1	34,1

[1]) Etwa 1 km seewärts gemittelt.
[2]) Als wellenwirksam wird angenommen das Stundenmittel aus der mittleren Windgeschwindigkeit und dem Mittel der oberen Böenspitzen ohne die zehn höchsten.
[3]) Längs F soll das Watt nirgends OK Watt lt. Zeile 2 überragen.
[4]) Mittel des höchsten Drittels aller Beobachtungen = H (1/3), H (1/3) = 1,8 H_m = 0,55 H_{mx}.
[5]) H (1/3) = 0,55. H_{mx} beob. = 0,55 · 2,2 = 1,22 m.
[6]) g = Erdbeschleunigung = 10 m/s².

Tabelle 2

Ergebnisse der „Ermittlung des maßgebenden Seegangs vor dem Deich Büsum-West“
(Beobachtungen sind in Klammern gesetzt)

				Vorausberechnet für HHW$_{massg.}$			
		16. 1. 1954	16. 2. 1962				Schema Tiefw.
Spalte d. Ermittlg. Tabelle		5	4	7	6	8	9
Wasserstd. Thw	m NN	+ 3,8	+ 4,9	+ 5,3	+ 5,3	+ 5,3	+ 5,3
Mittlere Bodenhöhe	m NN	+ 0,2	+ 0,5	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	— 12,7
Wind U_B [1])	m/s	20 W	24 NWzW	20 W	35 W	35 W	35 W
Streichlg. F	km	10	10	10	10	5	10
Wirks. Wa-Tiefe d	m	3,6	4,4	5,1	5,1	5,1	18
Wellen-Höhe $H_{1/3}$ [2])	m	1,0	1,2	1,2	1,6	1,4	3,6
Höhe H_{mx}	m		2,2 (2,2)	2,2	3,0	2,6	5,0
Länge L_m	m	13,4	17 (12—18)	15	25	24	48
Schnelligkeit C	m/s	4,5	5,0	4,8	5,8	5,8	8,5
Periode T_m	s	3,0 (~3,8)	3,4 (4,0)	3,1	5,2 [3])	4,0	5,6

[1]) Wirksame Windgeschwindigkeit.
[2]) „Kennzeichnende W-Höhe“ $H_{1/3}$ = 1/1,8 H_{mx}
[3]) 5,2 = Diagrammwert, 4,3 × 1,2, analog dem Verhältnis Beobachtung z. Diagrammwert am 16. 2. 1962: 4,0 : 3,4 = 1,2.

am 16. Februar 1962 bei Büsum als Höchstwert H_{mx} beobachteten Wellenhöhen umzurechnen:

$$H_{1/3} \sim H_{mx} / 1{,}8 \sim 0{,}55\ H_{mx}.$$

Diese Beziehung hat sich aus Theorie und Messungen über Wellenspektren ergeben (vgl. auch WEMELSFELDER 1954). Neuere Untersuchungen, u. a. von BRETSCHNEIDER (1954), ergaben für Flachwasser niedrigere Werte: 1,3 bis 1,6. Diese sind hier noch nicht berücksichtigt.

Die auf Tabelle 1 durchgeführte Ermittlung führt auf die Ergebnisse der Tabelle 2.

Die Übereinstimmung von Rechnung und Beobachtung kann an der Sturmflut des 16. Februar 1962, Spalte 4, nachgeprüft werden. Sie ist in Wellenhöhe und -länge recht gut, dagegen sind die gerechneten Wellenperioden kleiner als beobachtet. Da aber bei den mit ungeschultem Personal und unter härtesten Umständen durchgeführten Beobachtungen gewisser Verdacht auf Unterdrückung einzelner kleinerer Wellen(aufläufe) und somit auf zu lange Perioden besteht, bleibt zur Zeit noch ungewiß, bei wem oder ob bei beiden ein systematischer Fehler liegt.

Für die Beantwortung der Frage, inwiefern sich die Perioden — als wirksamer Einfluß auf den Wellenauflauf — ändern können, kommt es in erster Linie auf deren Relativänderungen an. Hierüber geben die weiteren Spalten ausreichende Auskunft.

Die Windstreichlänge F spielt — auch bei Sturmwind — keine überragende Rolle, wie aus den Spalten 6 und 8 zu erkennen ist. Man verfolge auch die verschiedenen Funktionslinien der Abbildung 3; der Einfluß des Arguments F nähert sich jeweils bald einer Konstanten (horizontale Asymptote). Die Wahl einer zutreffenden Streichlänge ist demnach eine verhältnismäßig unempfindliche Angelegenheit, womit die Operation im ganzen an Zuverlässigkeit gewinnt.

Schließlich können aus Spalte 6 der obigen Tabelle die eingangs gestellten Fragen beantwortet werden:

Vor dem Deich bei Büsum-West, bei dem maßgebenden Sturmflutwasserstand $HHW_{massg.} = + 5{,}3$ m NN und bei 32 m/s mittlerer Windgeschwindigkeit (= 35 m/s wirksame Windgeschwindigkeit) aus Richtung West, gemessen am Windmesser Büsum-Westmole, sind zu erwarten:

Kennzeichnende Wellenhöhen	$H_{1/3}$	= etwa 1,6	m,
Maximale Wellenhöhen, vereinzelt	H_{mx}	= etwa 3	m,
Wellenperioden	T_m	= etwa 5,2	s,
Wellenlängen	L_m	= etwa 25	m.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

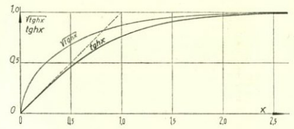
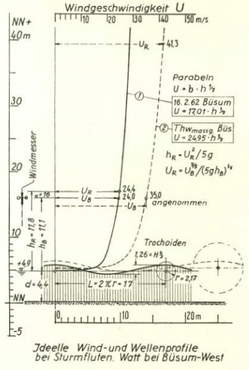


Abb. 3B. Diagramm der Werte tgh x
für die Formel der Wellenschnelligkeit $C = \sqrt{g\,r\,\mathrm{tgh}\,(d/r)}$



Ideelle Wind- und Wellenprofile
bei Sturmfluten, Watt bei Büsum-West

Abb. 3C. Ideelle Wind- und Wellenprofile bei Sturmflut

Zwei Beispiele vom Watt vor Büsum-West
1. Sturmflut 16. Februar 1962. Nach Rechnung und Delfter Diagramm. Hauptgrößen des Seegangs durch Beobachtung etwa bestätigt
2. Bei maßgebendem Sturmflutwasserstand, berechnet

Zeichenerklärung:

g	(m/s²)	Erdbeschleunigung 10 m/s²
h_B	(m)	Höhe der Windbeobachtung U_B über Wasserspiegel oder freiem Gelände
U_B	(m/s)	Wirksame Windgeschwindigkeit, beobachtet. Als schubwirksam angenommen das Stundenmittel aus: Mittlere Windgeschwindigkeit und Mittel der oberen Böenspitzen ohne die 10 höchsten Werte
U_R	(m/s)	Reduzierte Windgeschwindigkeit, d. i. die schubproportionale Windgeschwindigkeit, berechnet oder gemessen in Höhe h_R über Wasserspiegel
h_R	(m)	Reduzierte Höhenlage der Windbeobachtung über Wasserspiegel
F	(m)	Streichlänge des Windes
d	(m)	Wirksame Wassertiefe längs F
r	(m)	Rollkreisradius des als Trochoide angenommenen Wellenprofils
H	(m)	Kennzeichnende (signifikante) Wellenhöhe = Mittel des höchsten Drittels aller Beobachtungen (= „$H_{1/3}$“)
H_{mx}	(m)	Größte Einzelwellen, in Flach- bis Tiefwasser H_{mx} = 1,3 bis 1,8 H
L	(m)	Mittlere Wellenlänge
C	(m/s)	Mittlere Wellenschnelligkeit (Fortpflanzungsgeschwindigkeit)
T	(s)	Mittlere Wellenperiode

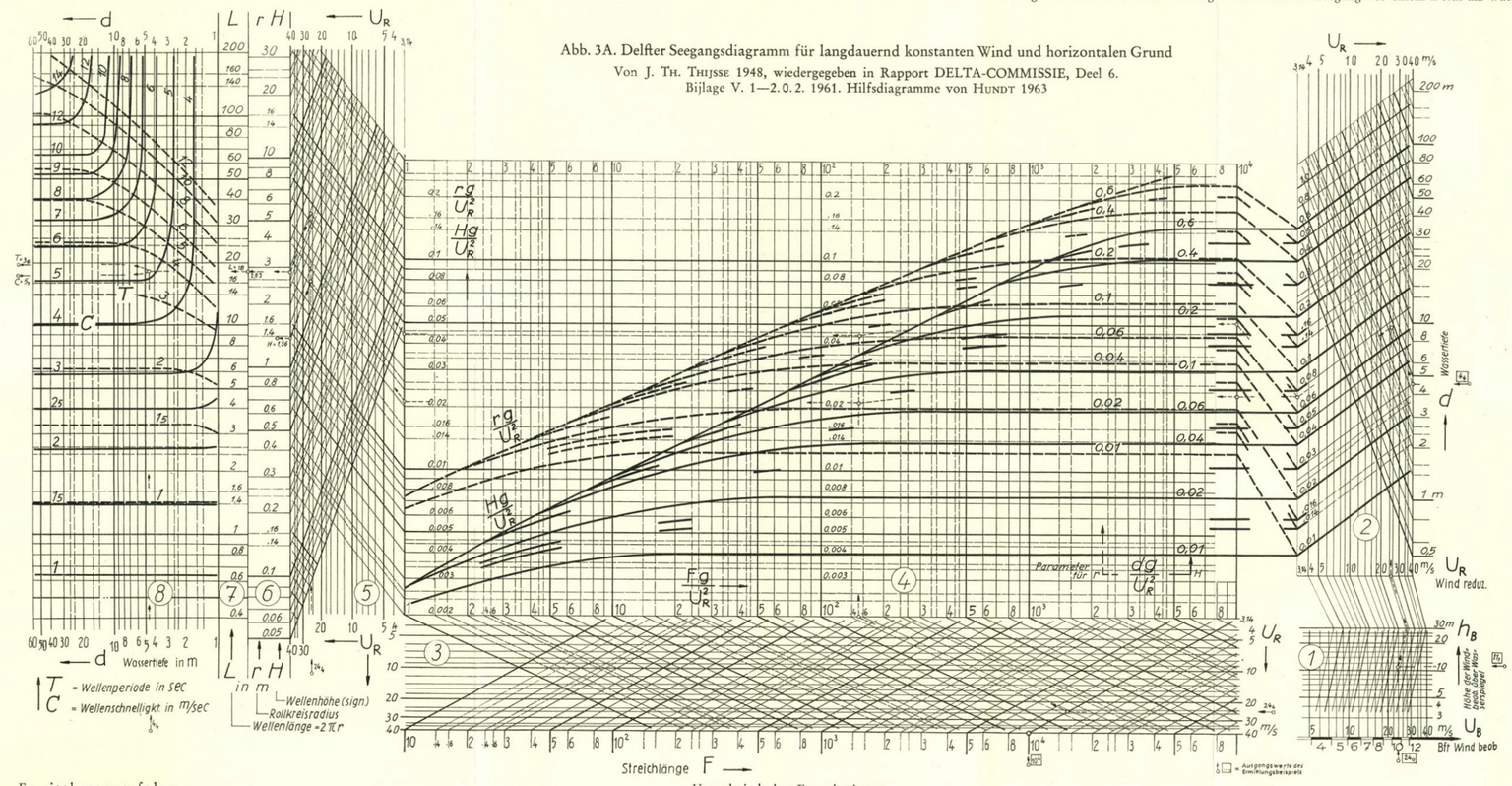
Formeln:

1. $U_R = U_R^{2/5} : (5g\,h_B)^{1/5}$ aus den bedingenden Annahmen (s. Abb. 3C): 1. Vertikale Windverteilung parabolisch $U = b \cdot h^{1/7}$, worin b eine durch die in Höhe h_B festgestellte Windgeschwindigkeit U_B gegebene Konstante ist. 2. Höhenlage $h_R = U_R^2 : 5g$
2. $L = 2\pi r$
3. $C = \sqrt{g\,r\,\mathrm{tgh}(d/r)}$, tgh = Tangens hyperbolicus, Werte siehe Diagramm Abb. 3B
   Für „Tiefwasser“ (d>L/2) wird $C = \sqrt{\frac{2L}{g\pi}}$
   Für „Flachwasser“ (d<L/25) wird $C = \sqrt{gd}$
4. $T = L : C$

Grundlagen und Gültigkeit des Delfter Diagramms, Abb. 3A:

Aufgestellt von THIJSSE 1948 auf Grund von Naturbeobachtungen sowie von Modellversuchen in DELFT. Gültig für konstanten Wind und horizontalen Grund.
Diagrammwerte H bei U≦ 15 m/s und d ∼ 4 m bis 30 % zu groß (ROEST 1960, Messungen IJsselmeer), bei Sturm etwas zu klein oder richtig (Einzelbeob. 16. Februar 1962 bei d ∼ 4,5 m von HUNDT). Diagrammwerte T bei Sturm und Flachwasser etwas zu klein (HUNDT 1962).
Insgesamt: Diagrammergebnisse zwar nicht von absoluter Einzelgenauigkeit, jedoch zuverlässig in Größenordnung und Tendenzen.
Das Verhältnis der maximalen zur kennzeichnenden Wellenhöhe wird durchschnittlich angenommen zu: $H_{mx} : H_{1/3} =$
1. 1,3 bis 1,6 in Flachwasser d<L/2 und Wind U<20 m/s
2. bis 1,8 in Flachwasser d<L/2 und Sturm U>20 m/s
3. 1,8 in Tiefwasser d>L/2

Abb. 3A. Delfter Seegangsdiagramm für langdauernd konstanten Wind und horizontalen Grund
Von J. TH. THIJSSE 1948, wiedergegeben in Rapport DELTA-COMMISSIE, Deel 6.
Bijlage V. 1—2.0.2. 1961. Hilfsdiagramme von HUNDT 1963



Ermittlungsverfahren.
Grafisch für die durch die Diagramme erfaßten Bereiche der Ausgangsgrößen U_B, h_B, d und F: siehe eingetragenes Beispiel vom 16. Februar 1962 Büsum Watt westlich Büsum.
Rechnerisch außerhalb der Diagrammbereiche mittels der o. g. Formeln und des Hauptdiagramms (4).
Beispiel (16. Februar 1962 Watt westlich Büsum)

Gegeben:	U_B	h_B	d	F	g
	m/s	m	m	m	m/s²
	24	11,1	4,4	10^4	10

U_R = 24,4 m/s nach Formel 1), U_R^2/g = 60. Mit den Eingangswerten Fg/U_R^2 = 166, dg/U_R^2 = 0,073 ergibt das Hauptdiagramm (4) Hg/U_R^2 = 0,021 und rg/U_R^2 = 0,045, voraus H = 0,021 · 60 = 1,26 m und r = 2,70 m, sowie L = 2πr = 17 m, C = √10 · 2,7 · tgh (4,4/2,7) = 5,2 · √tgh 1,63 = 5,2 · 0,962 = 5,00 m/s und T = 17 : 5 = 3,4 s nach Formel 2 bis 4.

Vergleich der Ergebnisse:

16. 2. 1962	H m	r m	L m	C m/s	T s	H_{mx} m
Rechnung	1,26	2,7	17	5,0	3,4	
Grafik	1,36	2,8	18	5,1	3,6	
Beobachtg.	1,22*)		12..18	3..4,5	4	2,2*)

*) H aus beob. H_{mx}! H = H_{mx} : 1,8 = 2,2 : 1,8 = 1,22

Abb. 3. Ermittlung der Windseegrößen in Tief- und Flachwasser bei horizontalem Grund

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

4. Schriftenverzeichnis

Bothmann, W. und Hundt, Cl.: Entwurf der Deichsollhöhen in Eiderstedt und Dithmarschen auf Grund der Sturmflut am 16. Februar 1962.
Dienstb. Marschenbauamt Heide, Pegelaußenstelle Büsum vom 5. Juni 1962.

Bretschneider, C. L.: Generation of wind waves over a shallow bottom.
Beach Eros. Board, Techn. Mem. Nr. 51. 1954

Deltacommissie: Rapport Deltacommissie, Deel 6.
's-Gravenhage 1960.

Gerritsen, F.: De betekenis van het meten van golven voor de waterbouwkunde.
De Ing. H. 51, S. 228 ff. 1956.

Groen, P.: Zeegolfen. — 's-Gravenhage 1950.

Hensen, W.: Modellversuche über den Wellenauflauf an Seedeichen im Wattgebiet.
Mitt. Hannov. Versuchsanst. H. 5. 1954.

Hensen, W.: Modellversuche zur Bestimmung des Einflusses der Form eines Seedeiches auf die Höhe des Seedeiches. — Mitt. Hannov. Versuchsanst. H. 7. 1955.

Hundt, C.: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste. — Die Küste 4, H. 1/2. 1955.

Min. f. Ernährung, Landwirtsch. u. Forsten Schleswig-Holstein: Erlaß betr. Überprüfung des Deichbesticks. Erlaß III 22-WaWi 10772 vom 19. März 1954.

Pegelaußenstelle Büsum: Belegsammlung über Wellenbeobachtungen. Akte 3722, Mai u. Juni 1962.

Pilon, J. J.: Wellenbremsende Konstruktionen bei Uferdeckwerken in Asphaltbauweise in Holland und ihre wirtschaftliche Bedeutung. — Bitumen 3, S. 57 ff. 1960.

Roest, P. W.: Wave recording on the IJsselmeer.
Proc. VII. Conf. Coastal Eng. 1960, Kap. 3, S. 53. Den Haag 1961.

Roll, H. U.: Über die Ausbreitung der Meereswellen unter der Wirkung des Windes, auf Grund von Messungen im Wattenmeer. — Dtsch. Hydrogr. Z. 2, H. 6. 1949.

Sverdrup, H. U. und Munk, H. W.: Empirical and theoretical relations between wind, sea and swell. — Transact. Americ. Geophys. Union 27, S. 823—827. 1946.

Sverdrup, H. U. und Munk, H. W.: Theoretical and empirical relations in forecasting breakers and surf. — Transact. Americ. Geophy. Union 27, S. 828—836. 1946.

Thijsse, J. Th.: Dimensions of wind-generated waves.
Rapport Gen. Assembly Int. Assoc. Phys. Oceanogr. Ref. 2, 80/81. Oslo 1948.

Wemelsfelder, P. J.: De Integrator als golfmeetapparatur. — De Ing. H. 19, S. 53 ff. 1954.

Zitscher, F. F.: Analyse zur Bemessung von Außenböschungen scharliegender Seedeiche gegen Wellenbeanspruchung. — Wasser u. Boden 14, H. 10, S. 337—349, 1962.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Der maßgebende Sturmflutseegang und Wellenauflauf für das Deichbestick der deutschen Nordseeküste auf Grund der Sturmflut vom 16. Februar 1962*)

Von Claus Hundt

Inhalt

1. Allgemeines 146
2. Maßgebender Wind 147
3. Maßgebender Sturmflutwasserstand 147
4. Maßgebender Seegang vor dem Deich 148
5. Maßgebender Wellenauflauf am Deich 149
6. Schriftenverzeichnis 152

1. Allgemeines

Die Deichschäden und Deichbrüche des 16./17. Februar 1962 sind an der Seeküste überwiegend als Zeichen der unzureichenden Profilgebung und Konstruktion gegenüber der Seegangsbelastung anzusehen und weniger als unmittelbare Folge des übermäßigen Wasserstandes.

Not- und zeitgedrungen hat sich inzwischen die Entwurfspraxis für die Wiederherstellung, die Verstärkung und den Neubau der Deiche vielfach lediglich herkömmlicher Bemessungsverfahren bedienen müssen, die sich auf bisherige praktische Erfahrung stützen, weil exaktere Belastungsangaben nicht greifbar sind. Dort, wo moderne, nach der Hollandsturmflut 1953 errichtete Deiche am 16. Februar 1962 schadlos widerstanden haben, bildet bevorzugt deren Bauart das Muster für weitere, meist geringfügige Verbesserungen in Form gewisser Profilabflachungen und Kronenerhöhungen u. a.

Aus Fachbesprechungen, aus Berichten und Entwürfen und aus Äußerungen von Küstenbewohnern gewinnt man mehrfach den Eindruck, der Seegang in der Sturmflutnacht des 16. Februar 1962 werde nicht nur für außergewöhnlich, sondern auch für unübertrefflich gehalten. Auch ist zum Beispiel die mehrfach geäußerte Auffassung, die 1954 in Schleswig-Holstein durchgeführte Vorausberechnung des maßgebenden Wellenauflaufs sei richtig gewesen, weil die am 16. Februar 1962 beobachteten Werte dazu „paßten", in Wirklichkeit ein Trugschluß. Tatsächlich lagen am 16. Februar Wasserstand und Windstärke unter den seinerzeit angesetzten maßgebenden Werten, so daß die damalige, schon für Extremverhältnisse gedachte Vorausberechnung wesentlich zu niedrig gegriffen war. Die vorausberechneten Größen für den Wellenauflauf sind vielmehr erheblich nach oben zu revidieren.

In der Sorge, daß derartige Trugschlüsse in der Entwurfspraxis Platz greifen und behalten, glaubt der Berichterstatter Hinweise geben zu sollen über das wirkliche Ausmaß der Gefahr, die bei der in Betracht zu nehmenden maßgebenden Orkanflut vom Seegang und Wellenauflauf her droht.

Die folgenden Zahlenangaben stehen unter gewissem Vorbehalt, da die Seegangskunde im Flachwasser wie auch am Deich noch unvollkommen ist. Die überragende praktische Bedeutung der Angelegenheit mag es angesichts der drängenden Bautermine indessen rechtfertigen, daß das Ergebnis weiterführender Messungen und Untersuchungen nicht erst abgewartet wird.

*) Dem Küstenausschuß, Arbeitsgruppe Sturmfluten, vorgelegt am 7. Aug. 1962.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

2. Maßgebender Wind

Bis zum Zeitpunkt des Sturmfluthochwassers an der deutschen Nordseeküste, am 16./17. Februar 1962, nachts zwischen 21.30 und 0.30 Uhr, hat rund zehn Stunden lang über der ganzen Nordsee ein Windfeld von ungewöhnlich dauerhafter und einheitlicher Streichrichtung aus West bis Westnordwest gelegen, bedingt durch die weit im Norden befindliche Kernbahn und die große Ausdehnung des Sturmtiefs. Dabei haben die mittleren Windgeschwindigkeiten in der Deutschen Bucht während sechs Stunden vor Hochwasser etwa 20 m/s (9 Beaufort) und nur vereinzelt bis etwa 25 m/s (10 Bft.) betragen.

Der Windstärke nach hat es sich im Küstengebiet also nicht etwa um „Orkan" (30 m/s und mehr), sondern nur um „Sturm", vereinzelt um „schweren Sturm", gehandelt.

In der offenen Nordsee wurde ausgereifter Seegang von beträchtlicher Periode, Höhe und Länge beobachtet, nach einer Schiffsmeldung („Meerkatze") nordwestlich der Doggerbank vereinzelt auch außergewöhnlich hoher Seegang bis zu 9 m Höhe.

Dagegen gibt es Anzeichen, daß der Seegang über den Watten bis zum Deich hin ziemlich unabhängig vom Seegang der offenen See verläuft, weil dieser auf der Linie der Inseln, Platen und Sände mehr oder weniger durch Brandung gelöscht wird. Der Wind wird zwischen seewärtiger Wattgrenze und Deich also einen eigenständigen Seegang erzeugen, dessen Elemente durch die morphologischen Merkmale dieses begrenzten Gebietes geprägt sind. Die Wellenperioden z. B. betrugen während der Sturmflutnacht des 16. Februar 1962 an den Wetter- und Feuerschiffen der Deutschen Bucht 6 bis 10 Sekunden, an den Schardeichen Norderdithmarschens nur 4 bis 6 Sekunden und an den vorlandgeschützten Deichen Süderdithmarschens etwa 3 Sekunden.

Fragt man jetzt nach dem möglichen Seegang bei einer maßgebenden Orkanflut, so erlauben und verlangen meteorologische Überlegungen die Annahme einer äußersten Windstärkekonzentration über dem begrenzten Küstengebiet, also vollen Orkan über dem ganzen Watt, ein Fall wie er am 9. Februar 1949 an der deutschen Nordseeküste schon aufgetreten ist. Nach Beobachtungen, u. a. auch während der Hollandsturmflut vom 1. Februar 1953, sowie nach meteorologischen Überlegungen muß für die Deutsche Bucht mit der Möglichkeit von hinreichend ausgebreiteten Orkanfeldern gerechnet werden, deren wirksame Windgeschwindigkeit[1]) bei 35 m/s liegt.

Bei Seegangsvorausberechnungen im deichnahen Küstengebiet ist also für die maßgebende Orkanflut mindestens dieser Wert von 35 m/s zugrunde zu legen. Er bedeutet, verglichen mit dem entsprechenden Wert 24 m/s, eine Steigerung auf das $1^1/_2$fache dessen, was am 16. Februar 1962 beobachtet wurde. In bezug auf die wellen- und stauwirksame Windkraft, die etwa dem Quadrat der Windgeschwindigkeit folgt, geht die Steigerung sogar auf das 2,2fache!

Der Berichterstatter sieht Veranlassung, auf diese Zusammhänge nachdrücklich hinzuweisen, da sie weder der Öffentlichkeit noch den Fachkreisen hinreichend bewußt sind.

3. Maßgebender Sturmflutwasserstand

Nächst dem Wind richtet sich Seegang und Wellenauflauf nach der wirksamen Wassertiefe.

Von Norderney bis Husum lag der Sturmflutscheitel des 16. Februar 1962 auf 4,1 bis 5,2 m über NN. Der maßgebende Sturmflutwasserstand war festgesetzt auf 4,5 m in Norderney bis 5,9 m über NN in Husum; mithin 0,4 bis 0,7 m höher als am 16. Februar 1962 eingetreten.

[1]) Definition siehe Tabelle 2.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Darüber hinaus sind bei äußerst ungünstigem, wenn auch sehr seltenem Zusammentreffen einzeln beobachteter Größtwerte von Wind und Gezeit weitere Steigerungen vorstellbar, die im Elbmündungsraum auf etwa 6,5 m über NN führen könnten, rund 1,5 m mehr als am 16. Februar 1962. Die Zahlen beruhen auf der Annahme einer wirksamen Windgeschwindigkeit von 35 m/s.

Angenommen, die mittlere Wassertiefe auf dem Watt betrage am 16. Februar 1962: 4,5 m und bei einer Orkanflut 5,5 m, so beeinflußt nach der Seegangskunde diese Steigerung um 1 m den Seegang merklich. Wesentlicher ist, daß dann nach Ausweis von Modellversuchen der Wellenauflauf eines scharliegenden konkavförmigen Deiches um 50 bis 60 v. H. ansteigen würde, weil insbesondere längere Perioden ins Spiel kommen.

Zusammengefaßt folgt hieraus, daß der entwerfende Ingenieur nicht nur die Windstärken, sondern ebenso sorgfältig die Wasserstände berücksichtigen soll, wenn er die Wellenbeanspruchung eines Seedeiches durch eine Orkanflut zu ermitteln hat.

4. Maßgebender Seegang vor dem Deich

Da deutscherseits die Anwendung der Seegangskunde auf Bauten am Flachwasser noch nicht so geläufig ist wie z. B. in den Niederlanden, erscheint es zweckmäßig, die Vorausberechnung des maßgebenden Sturmflutseegangs am Beispiel eines Schardeiches vor Büsum[2]) zu zeigen.

Soweit veröffentlicht, können die dort verzeichneten Quellen beim Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247, entliehen werden.

Als Hauptstütze der Ermittlung dient das „Delfter Seegangsdiagramm“[3]), das auf Modellversuchen wie auch auf Naturbeobachtungen beruht. Ein generalisierendes Diagramm kann naturgemäß im Einzelfall nur Annäherungswerte erbringen. Einzelbeobachtungen während der Sturmflut am 16. Februar 1962 in Büsum, wie u. a. auch Dauermessungen 1960 im ähnlich flachen IJsselmmer, bestätigen die Diagrammwerte hinreichend.

Das Hauptergebnis für das Beispiel Büsum zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1

Seegangsgrößen vor dem Schardeich Büsum-West bei Westorkan und maßgebendem Sturmflutwasserstand

			Vorausberechnung	Beob. 16. 2. 1962
Wasserstand		m NN	+ 5,3	+ 4,9
Wirksame Windgeschwindigkeit*)		m/s	35 W	24 NWzW
Wirksame Wassertiefe, bis 1 km windwärts des Deiches	d_m	m	5,1	4,4
Kennzeichnende Wellenhöhe	$H_{1/3}$	m	1,6	1,2
Größte Wellenhöhe, vereinzelt	H_{mx}**)	m	3	2,2
Mittlere Wellenlänge	L_m	m	25	16
Mittlere Wellenperiode	T_m	s	5,2	4,0

*) Als stauwirksam wurde angenommen das Stundenmittel aus: Mittl. Windgeschwindigkeit und Mittel aus den oberen Böenspitzen ohne die zehn höchsten.

**) $H_{mx} = 1{,}8 \cdot H_{1/3}$.

[2]) S. Beitrag auf S. 136.

[3]) S. Abb. 3 des Beitrags auf S. 136.

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Abgesehen von der Wellenhöhe, nach deren Quadratwert sich die Größe der Wellenenergie richtet, verlangen die höheren Werte der Wellenlänge und der Wellenperiode Beachtung. Diese vor allem sind es, die im Zusammenspiel mit den Deichabmessungen die mehr oder weniger folgenschwere Mechanik des Wellenauflaufs bestimmen. Ausgehend vom Beispiel Büsum-West seien noch einige Werte mitgeteilt, die auf Grund von Sturmflut-Periodenmessungen an mehreren Deichstationen Dithmarschens geschätzt wurden, also nur als grobe Orientierung gelten sollen.

Tabelle 2

Orientierende Seegangsgrößen vor dem Deich bei maßgebendem Sturmflutwasserstand und Wattorkan für verschiedene Küstentypen

Küstentyp	Wirksame Wassertiefe m	Wellen-Periode T_m s	Wellen-Länge L_m m	Wellen-Höhe*) $H^1/_3$ m
1. Watt, mind. 500 m breites Vorland + 0,5 m MThw, Deich	3,5	3 bis 5	15 bis 25	1,2 bis 1,7
2. Watt, kein Vorland, Schardeich	5	5 bis 6	25 bis 30	1,5 bis 2
3. Tieferes Wasser (See, große Priele) schmale Wattzone 0 bis 150 m, Schardeich	> 10	6 bis 9	30 bis 50	2 bis 2,5

*) $H_{1/3}$ = „kennzeichnende Wellenhöhe". Höchste Einzelwellen $H_{mx} = 1{,}8 \cdot H_{1/3}$. Der Faktor 1,8 gilt nach Bretschneider (1954) nur für Tiefwasserwellen und nimmt für Flachwasser ab bis auf 1,3 (Nachträglicher Hinweis von Dr. Walden).

5. Maßgebender Wellenauflauf am Deich

Vorbemerkung: Unter „maßgebender Wellenauflauf" wird der lotrecht gemessene Höhenunterschied zwischen der auf die Deichböschung aufgelaufenen höchsten Wellenzungen (in Natur durch die Flutkante angedeutet) und dem anderweitig bestimmten maßgebenden Sturmflutwasserstand im ausgespiegelten Zustand verstanden. Den Ausgangszustand bildet der in Abschnitt 4 ermittelte maßgebende Sturmflutseegang vor dem Deich.

Drei Verfahren zur Ermittlung des Wellenauflaufs A stehen zur Zeit zur Verfügung:

a) die holländische Formel

$$A = 8 \cdot H_{1/3} \cdot \operatorname{tg} \alpha \, (\cos \beta - B/L)$$

worin $H_{1/3}$ = kennzeichnende Wellenhöhe vor dem Deich
α = Böschungswinkel oberhalb des Ruhewasserspiegels
β = Winkel zwischen Anlaufrichtung der Wellen und der Deichnormalen
B = Breite einer Berme, etwa in Höhe des Ruhewasserspiegels gelegen
L = Wellenlänge.

Vorausgesetzt ist eine Böschungsrauhigkeit wie bei Basaltpflaster oder Grasnarbe.

Die Formel vernachlässigt eine Reihe von Einflußfaktoren wie Wellenperiode und Wassertiefe und kann daher nur Anhaltswerte liefern (Erläuterungen und Kritik siehe Schriftenverzeichnis des Beitrags auf S. 136, Deltacommissie 1960, Pilon 1960).

b) Unmittelbare Übernahme der Modellversuchsergebnisse des Franzius-Instituts, Hannover, über Wellenauflauf an Seedeichen 1954 und 1955. (Schriftenverzeichnis des Beitrags auf S. 136, Hensen 1954 und 1955.)

Stark idealisiert handelt es sich um Grundsatzversuche mit windfreier Tiefwasserdünung aus Wassertiefen um 15 m, die über einer 600 m breiten Wattzone bis zum Deich hin um-

geformt wird. Die Auflaufwerte des Modells sind Mittelwerte A_m eines Kollektivs, während z. B. Naturbeobachtungen meist Maximalwerte A_{mx} in Form der einnivellierten Flutkante liefern. Der Einfluß des Welleneinfallwinkels wurde nicht untersucht.

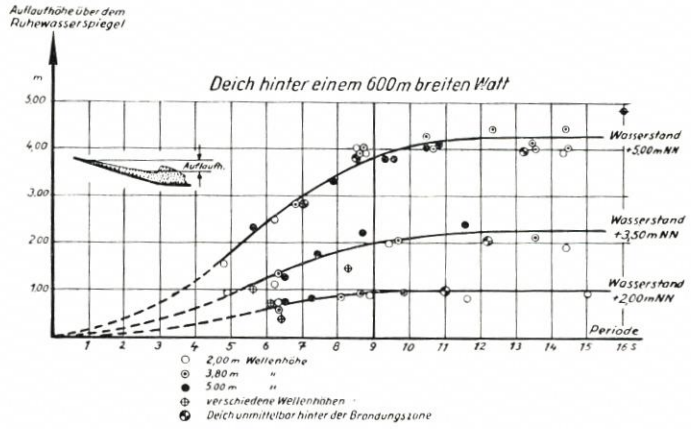


Abb. 1. Auflaufhöhe in Abhängigkeit von der Periode, Konkavprofil
(Aus Hensen 1954)

Die Modellergebnisse lassen sich daher nur mittelbar mit den meist als Flutkante beobachteten Naturwerten vergleichen. Eines der Hauptergebnisse zeigt Abbildung 1.

c) Proportionale Übernahme der Hannoverschen Modellergebnisse

Man darf unterstellen, daß die relativen Beziehungen des Modells vom Wellenauflauf zu den Einflußfaktoren Wellenhöhe, Wassertiefe und Periode naturgerecht sind.

Sind sodann an einer Deichstation die Absolutwerte aller Größen für einen bestimmten Naturfall bekannt, gewinnt man einen Maßstab, und die Änderung jedes einzelnen Einflußfaktors kann nunmehr absolut bestimmt werden.

Z. B. wurde an der Deichstation W5 (s. Lageplan, Abb. 4 des Beitrags auf Seite 136) am 16. Februar 1962 gemessen:

$$\text{Wassertiefe } d_{62} = 4{,}4$$
$$\text{Periode } T_{62} = 4{,}0 \text{ s}$$
$$\text{Auflauf } A_{62} = 2{,}9 \text{ m}$$

Das Modelldiagramm (s. Abb. 1) ergibt jedoch

$$A_{Mod} = 1{,}0 \text{ m}$$

Für die vorauszuberechnende Orkanflut waren als maßgebend bestimmt worden:

$$d_{mg} = 5{,}1 \text{ m}$$
$$T_{mg} = 5{,}2 \text{ s}$$

dafür laut Diagramm in Abbildung 1:

$$A'_{Mod} = 2 \text{ m}$$

Der gesuchte maßgebende Wellenauflauf wird sodann:

$$A_{mg} = A'_{Mod} \cdot \frac{A_{62}}{A_{Mod}} = 2 \cdot \frac{2{,}9}{1{,}0} = 5{,}8 \text{ m}$$

Es wird empfohlen, möglichst das Verfahren c) zu benutzen. Hat man keine Naturmessungen als Ausgangsbasis zur Verfügung, wird am zweckmäßigsten nach a) vorgegangen. Immer aber ist die Kenntnis der zu erwartenden Seegangselemente Voraussetzung aller Verfahren.

Zweifellos lassen sich die vielfältigen Naturbedingungen mit diesen, heute greifbaren Verfahren nur unscharf erfassen. Jedoch läßt sich eine der vordringlichsten Aufgaben lösen, die Größenordnung des zukünftigen Wellenauflaufs zu erkennen, wie folgendes Beispiel veranschaulichen mag:

An zwölf längs der Eiderstedt-Dithmarscher Seeküste verteilten Deichstationen von relativ starker Gefährdung beträgt:

Die Küste, 10 Heft 1 (1962), 1-152

Tabelle 3

Wellenauflauf an zwölf Stationen Eiderstedt und Dithmarschen		Mittel	Max.	Min.
		m	m	m
1. Der gemessene Wellenauflauf am 16. Februar 1962	A_{62}	2,6	3,3	1,9
2. Der berechnete maßgebende Wellenauflauf	A_{mg}	4,2	5,0	3,3
3. Der Mehrbetrag	$A_{mg} - A_{62}$	1,6	1,7	1,4
4. Das Verhältnis	$A_{mg} : A_{62}$	1,6	1,5	1,7fach

Die volle Bedeutung einer derartigen Steigerung kommt aber erst zutage, wenn Wasserstand und Wellenauflauf summiert werden zur „maßgebenden Sturmfluthöhe" SFH_{mg}.

Für die genannten zwölf Deichstationen ergibt sich dann beispielsweise im Mittel rund:

Tabelle 4

Durchschnittliche Sturmfluthöhe Eiderstedt und Dithmarschen

Sturmfluthöhe, 1962 gemessen,	SFH_{62}	+ 5,1 m NN	+	2,6	=	7,7 NN
Sturmfluthöhe, maßgebend,	SFH_{mg}	+ 5,5 m NN	+	4,2	=	9,7 NN
Mehrbetrag der Sturmfluthöhe		0,4	+	1,6	=	2,0 m

Bem.: Auch die Wasserstandswerte 5,1 und 5,5 m NN sind Mittelwerte der zwölf Stationen.

Der Durchschnitt für die ganze deutsche Nordseeküste wird ähnlich sein.

Sieht man einmal von den unvermeidlichen Mängeln der Verfahren ab, u. a. von der Tatsache, daß sich die Rechnung nur auf das traditionelle Konkavprofil bezieht, dann verkörpert sich in dem durchschnittlichen Mehrbetrag von 2 m die potentielle Beanspruchung, denen sich der deutsche Deichbau an der Seeküste im Vergleich zum 16. Februar 1962 zusätzlich ausgesetzt sieht, falls es einmal zu einer Orkanflut mit den als möglich festgestellten „maßgebenden" Werten des Wasserstandes und Wellenauflaufs kommen würde. Abbildung 2 veranschaulicht einen schweren Seegang bei Pellworm-West bei einem Wasserstand, der etwa 1,6 m niedriger lag als bei einer maßgebenden Orkanflut.

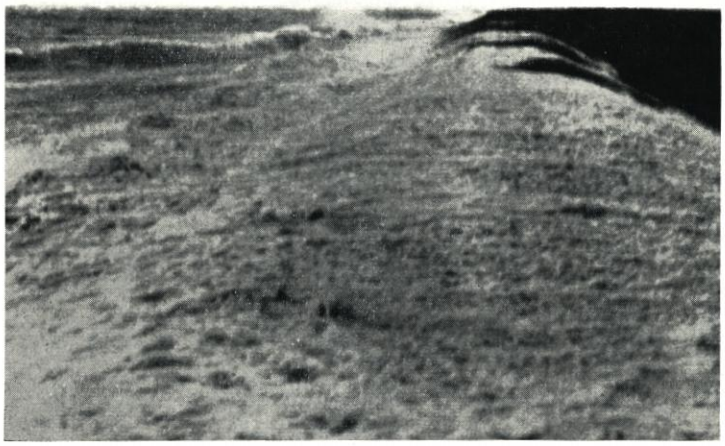


Abb. 2. Wellenüberschwall Pellworm-Südwest, Hölle.
27. Oktober 1936, etwa 10 Uhr
HThw = + 3,8 m NN, Deichkrone + 6,20 m NN
Wind W 11 Bft. Deichrichtung O ... W. Blick gegen West
$HThw_{massg.}$ = rd. + 5,4 m NN
(Aus Hundt, 1955)

Die praktischen Folgerungen, wie überschlagduldende erste Deichlinie, zweite Deichlinie u. a., begann man bereits zu ziehen. Sie sind nicht mehr Sache dieser Ausführungen[4]).

6. Schriftenverzeichnis

BRETSCHNEIDER, C. L.: Generation of Wind waves over a shallow bottom. Beach Eros. Board, Techn. Mem. Nr. 51. 1954.

HENSEN, W.: Modellversuche über den Wellenauflauf an Seedeichen im Wattengebiet. Mitt. Franzius-Institut Hannover, H. 5, 1954.

HUNDT, CL.: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste 4, H. 1/2, 1955.

ZITSCHER, F. F.: Analyse zur Bemessung von Außenböschungen scharliegender Seedeiche gegen Wellenbeanspruchung. — Wasser u. Boden 14, H. 10, S. 337—349. 1962.

[4]) Inzwischen hat F. ZITSCHER (1962) eine „Analyse zur Bemessung von Außenböschungen scharliegender Seedeiche gegen Wellenbeanspruchung" angestellt, die aus idealisierenden Hypothesen über Brandungsdynamik zu einfachen Kennwerten der Stoß- und Strömungsbeanspruchung der Böschungen gelangt. Die zahlreichen Deichschäden Nordfrieslands wurden gründlich ausgewertet. Die Aufgabe, für den Entwurf bruch- und überflutungssicherer Deiche ein übersichtliches Berechnungsverfahren zu finden, ist damit der Lösung nähergerückt, obwohl die „Analyse" noch Widersprüche zur Wellentheorie und besonders zur Natur enthält.