

Zur Entstehungsgeschichte von Sturmflut-Wetterlagen in der Nordsee

Von Martin Rodewald

Inhalt

Einleitung	1
1. Die Auswahl der Sturmflut-Wetterlagen	1
2. Zur Frage des Geltungsbereichs der Auswahl	3
3. Zur Festsetzung der „Vorbereitungszeit“ von Sturmflut-Wetterlagen	4
4. Das benutzte Wetterkarten-Material	5
5. Die Ausgangslage, zwei Tage vor der Sturmflut-Wetterlage	6
6. Die Typisierung der Ausgangslagen	9
7. Die Entwicklung von Sturmflut-Wetterlagen nach Lagetypen des Azorenhochs	11
8. Die Entwicklung von Wetterlagen mit schwerer Sturmflut	42
9. Einige Grundzüge der „Vorbereitung“ sturmfluterzeugender Nordsee-Stürme	46
10. Das durchschnittliche Verhalten der Sturmwirbel	48
11. Das Verhalten der Sturmwirbel nach „individueller“ Mittelbildung	49
12. Typische Einzelfälle der Entwicklung von Sturmflut-Wetterlagen	51
Schlußbemerkung	60
Schriftenverzeichnis	60

Einleitung

Die an dieser Stelle (4)¹⁾ erschienene Monographie über die Entstehungsgeschichte der Sturmflut-Wetterlagen in der Nordsee im Februar 1962 legte den Versuch nahe, eine größere Zahl von Sturmflut-Wetterlagen auf ihre Entwicklung hin zu untersuchen. Die statistische Betrachtung könnte erweisen, ob und wie weit die Befunde jener Studie sich verallgemeinern lassen und wie groß der Spielraum im Zuschnitt jener Wetterlagen ist, die zu stauwirksamen Nordsee-Stürmen führen.

Wie die Behandlung der Nordseestürme aus der 2. Februar-Dekade 1962 nicht ihrem Abrollen in der Nordsee selbst galt, sondern ihrem (nordatlantischen) Ursprung und Anlaufstadium, so sollen auch in der folgenden Untersuchung die Bedingungen des Werdens der Stürme im Blickfelde stehen. Es soll geprüft werden, ob es in der Morphologie der Ausgangs-Wetterlagen gemeinsame oder ähnliche Grundzüge gibt, welche Typen man unterscheiden kann und wie — im großen gesehen — die Entwicklung zu den sturmflutbringenden Wetterlagen vonstatten geht. Wir beschränken uns dabei auf Bodenkarten, da für die Fälle des betrachteten Zeitraumes (ab 1901) zuverlässige Höhenkarten erst in jüngerer Zeit vorliegen.

1. Die Auswahl der Sturmflut-Wetterlagen

Als Unterlage diente ein von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel, Wasser- und Schifffahrtsamt Tönning, am 17. Juli 1958 in Tönning aufgestelltes und am 9. August 1962 in Kiel ergänztes Verzeichnis „Sturmfluten von 1901—1962 im Amtsbezirk Tönning“. Diese Liste enthält 87 Sturmfluten. Eine Anzahl davon sind Mehrfach-Fluten im Zuge ein und derselben

¹⁾ Siehe Schriftenverzeichnis am Schluß.

Sturmflut-Wetterlage. Bei ihrer Zusammenfassung — nach der Hauptsturmflut — verbleiben 74 Sturmflut-Wetterlagen.

Die folgende Tabelle 1 enthält die Zusammenstellung der Sturmfluten nach der erwähnten Tönninger Quelle, allerdings mit den Hochwasserstands-Angaben nur für eine Station, Husum, zur Orientierung über die Eintrittszeit (nach MEZ) und die Höhe (bezogen auf PN = NN — 5,00 m). Es sei noch erwähnt, daß zum Originalverzeichnis erklärt ist: „Als Sturmfluten sind alle Hochwasserstände angeführt, die an mindestens einem der Sturmflutmeldepegel (M) das auf 10 cm gerundete MHThw der Jahresreihe 1896/1950 erreicht oder überschritten

Tabelle 1
Übersicht der für die Wetterlagen-Untersuchung benutzten Sturmfluten

Nr.	Datum	Husum		Nr.	Datum	Husum	
		Uhrzeit	Höhe (cm)			Uhrzeit	Höhe (cm)
1	26. 1. 02	15.20	863	40	23. 9. 34	13.58	862
2	15. 1. 04	12.30	877 ×	41	3. 2. 35	01.12	821
3	6. 4. 04	17.45	825	42	17. 9. 35	17.18	831
4	9. 11. 04	01.50	871 ×	43	19. 10. 35	19.08	894 ×
5	12. 3. 06	13.51	882 ×	44	30. 10. 35	03.14	863
	13.	02.40	919 ×	45	18. 10. 36	(15.30)	(975) ×
6	3. 12. 09	19.32	867	46	27. 10. 36	11.35	975 ×
	4.	05.38	802			21.53	869
7	6. 11. 11	01.40	957 ×	47	1. 12. 36	03.10	895 ×
		13.20	889 ×			15.17	910 ×
8	9. 4. 12	04.32	857	48	5. 12. 36	05.50	820
9	19. 11. 13	05.14	867	49	30. 1. 38	00.04	877 ×
10	18. 9. 14	10.42	840	50	3. 4. 38	16.11	873 ×
11	12. 11. 14	07.50	891 ×	51	24. 11. 38	01.54	970 ×
12	13. 1. 16	19.15	927 ×	52	27. 11. 39	01.07	880 ×
13	16. 2. 16	23.45	1001 ×	53	13. 11. 40	12.00	841
14	24. 12. 16	01.52	932 ×	54	19. 10. 41	00.09	846
15	25. 10. 17	19.40	901 ×	55	8. 12. 41	03.16	863
16	2. 12. 17	15.54	929 ×	56	16. 10. 42	05.09	840
17	24. 12. 18	05.47	927 ×	57	6. 4. 43	15.14	833
18	16. 11. 20	17.02	754	58	26. 1. 44	13.45	842
19	2. 11. 21	03.00	884 ×	59	2. 3. 45	03.39	874 ×
20	18. 12. 21	15.32	835	60	10. 2. 49	03.34	909 ×
21	21. 12. 21	05.50	876 ×	61	24. 10. 49	13.40	922 ×
22	31. 12. 21	15.17	856	62	16. 1. 54	09.45	911 ×
23	3. 1. 22	04.48	858			23.16	892 ×
24	30. 8. 23	17.44	915 ×	63	5. 12. 54	06.43	871 ×
25	4. 11. 23	10.22	826	64	22. 12. 54	10.52	892 ×
26	16. 11. 23	09.37	718	65	23. 12. 54	14.42	893 ×
27	18. 12. 23	23.20	895 ×		24.	00.18	803
28	6. 2. 24	02.11	852	66	13. 1. 55	04.51	886 ×
29	2. 1. 25	06.53	818	67	29. 12. 55	13.24	877 ×
30	10. 10. 26	14.35	928 ×	68	19. 1. 56	04.38	871 ×
31	12. 10. 26	16.00	913 ×	69	21. 1. 56	06.59	888 ×
32	29. 10. 27	15.10	866	70	4. 12. 60	(14.24)	(869)
33	17. 11. 28	04.30	898 ×		5.	(02.40)	(842)
34	24. 11. 28	09.58	907 ×	71	5. 12. 61	23.59	844
35	26. 11. 28	12.25	830	72	13. 1. 62	07.50	884 ×
36	12. 12. 29	22.00	821	73	12. 2. 62	19.01	885 ×
37	13. 1. 30	11.03	842	74	16. 2. 62	11.49	864
38	23. 11. 30	15.21	922 ×			23.38	1021 ×
39	7. 1. 32	03.00	867	17.		11.52	840

haben (gem. Erlaß BMV v. 30. Januar 1956 — W 6 — 4555).“ Die Numerierung ist im folgenden anders wegen der Einfachzählung von Mehrfachfluten.

Die Sturmfluten, die das MHTw (1896—1950) von Husum = 870 cm erreichten oder überschritten, sind in der Tabelle durch ein $\times$ markiert. Die zugehörigen 42 Sturmflut-Wetterlagen dürfen im allgemeinen als die wichtigeren gelten, da in ihnen alle jene Fälle enthalten sind, die ein mehr als lokales starkes Hochwasser brachten.

Ein nachträglicher Vergleich aller 74 Fälle mit einem Verzeichnis „Eintrittszeiten und Höhen von Sturmfluten in der Elbe ab 1901“, aufgestellt von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg, Dezernat für Gewässerkunde, ergab, daß der weit überwiegende Teil dieser Sturmflut-Wetterlagen, nämlich 67 von den 74 (= 90,5%), zugleich Sturmfluten in der Elbe brachte. Im übrigen enthält diese Liste wegen anderer Zählweise bzw. Definition eine wesentlich größere Zahl von Sturmfluten. Da es bei der vorliegenden Untersuchung aber nur auf die Erfassung einer sowohl genügenden wie begrenzten Zahl von „Gefahrenlagen für die Deutsche Bucht“ ankam, so wurde an der Auswahl gemäß dem ersten Verzeichnis für die Westküste Schleswig-Holsteins festgehalten.

2. Zur Frage des Geltungsbereichs der Auswahl

Genau genommen wird also die Entwicklung von Nordsee-Wetterlagen betrachtet, die der Westküste Schleswig-Holsteins Sturmfluten brachten — nicht allgemein den Küsten der Deutschen Bucht. Es erhebt sich dabei die Frage, wie weit diese Auswahl auch repräsentativ ist für die Nordseeküste zwischen Elbe und Ems. Daß die niederländische Küste eine äußerst schwere Sturmflut erfahren kann, ohne daß die Küsten der Deutschen Bucht in Mit leidenschaft gezogen werden, dafür ist die katastrophale Hollandflut vom 1. Februar 1953 das krasseste Beispiel (3).

So ist auch von vornherein zu erwarten, daß eine Wetterlagen-Auswahl nach den Sturmfluten, die an der Nordseeküste Niedersachsens auftraten, von der schleswig-holsteinischen Serie gewisse Abweichungen zeigen wird.

Wegen des etwa 90° betragenden Winkels im allgemeinen Küstenverlauf zwischen dem Süden und Osten der Deutschen Bucht ist ja

- | | |
|--------------|--|
| ein WSW-Wind | etwa küstenparallel für die niedersächsische Küste, |
| | stärkstens aufländig für die Westküste Schleswig-Holsteins — |
| ein NNW-Wind | etwa küstenparallel für die Westküste Schleswig-Holsteins, |
| | stärkstens aufländig für die niedersächsische Küste. |

Wenn dieser Unterschied auch im Wasserstau nur beschränkt zum Tragen kommt (u. a. wegen der Bucht-Begrenzung und der „normalen“ Winddrehung beim Sturmtief), so wird man doch annehmen dürfen, daß ein „niedersächsisches Kollektiv“ von Sturmflut-Wetterlagen im Durchschnitt eine etwas größere Nord-Komponente des Windes aufweist als das „schleswig-holsteinische Kollektiv“.

Zu der Frage, in welchem Maße die Sturmfluten in den Mündungsgebieten von Elbe, Weser und Ems durch das „schleswig-holsteinische Kollektiv“ (Tabelle 1) erfaßt sind, mag ein kurzer Vergleich am Platze sein. Die „meldepflichtigen“ Sturmfluten, um die es sich für den Amtsbezirk Tönning handelt, sind nach ähnlichem Verfahren auch für die Bereiche der Wasser- und Schifffahrtsdirektionen Hamburg, Bremen und Aurich ermittelt worden²⁾.

²⁾ Für die Überlassung der Daten ist der Autor dem Küstenausschuß Nord- und Ostsee (Herrn Regierungsbaudirektor i. R. C. HENSEN) und der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg (Herrn Oberregierungsbaurat Dr.-Ing. KLEIN) zu Dank verpflichtet.

Wir beschränken uns hier auf einen Vergleich mit jenen an den Pegelstationen Cuxhaven, Brake und Norddeich im Zeitraum 1901—1962 aufgetretenen Sturmfluten, die das MHTw 1896/1950 der betreffenden Station erreichten oder überschritten. Man zählt dann

für Cuxhaven	43 Sturmflut-Wetterlagen
für Brake	42 Sturmflut-Wetterlagen
für Norddeich	31 Sturmflut-Wetterlagen

Von diesen waren im „schleswig-holsteinischen Kollektiv“ (gemäß Tabelle 1) datumsmäßig enthalten

von Cuxhaven	38 Fälle = 88 %
von Brake	30 Fälle = 71 %
von Norddeich	24 Fälle = 77 %

Wie zu erwarten, nimmt mit wachsender Entfernung vom Amtsbezirk Tönning die Zahl hoher, nach Datum identischer Sturmfluten ab.

In Cuxhaven kamen nur 5 über seinem MHTw (1896—1950) liegende Sturmfluten (= 12 %) vor, die nicht in Tabelle 1 enthalten sind; die entsprechenden Zahlen für Brake und Norddeich sind 12 bzw. 7 Fälle.

Es wird später gezeigt werden (Abschnitt 5), daß die durchschnittlichen Ausgangs-Wetterlagen für diese „niedersächsischen“ Sturmfluten denjenigen für die schleswig-holsteinische Auswahl ganz ähnlich sind, weshalb es erlaubt erscheint, die Entwicklungsgeschichte für das schleswig-holsteinische Kollektiv (Tabelle 1) als repräsentativ für die Sturmfluten im Gesamtgebiet der Deutschen Bucht anzusehen.

Die Differenzierung in Sturmfluten, die mehr diesen oder jenen Küstenabschnitt in Mitleidenschaft ziehen oder auch die gesamte deutsche Nordseeküste etwa gleichmäßig betreffen, erfolgt erst in der letzten Phase der Entwicklung der Wetterlage, sie ist vom Ablauf der Dinge über der Nordsee abhängig. Die Untersuchung dieser Abläufe, bei denen zum Beispiel die sogenannte Trogbildung [(1), (3) und (7)] eine besondere Rolle spielt, muß einer besonderen Studie vorbehalten bleiben.

3. Zur Festsetzung der „Vorbereitungszeit“ von Sturmflut-Wetterlagen

Voraussetzung einer Sturmflut an den Küsten der Deutschen Bucht ist ein Sturmtief, dessen Zentrum nördlich von ihr vorbeizieht. Bei den Sturmtiefs unserer Breiten handelt es sich gewöhnlich um okkludierende oder (eben) okkludierte Frontalzyklonen, die aus einer kleinen Störung oder „Welle“ an der Grenze verschieden warmer Luftmassen — normalerweise der Frontalzone zwischen Tropikluft und Polarluft — hervorgegangen sind. Das Stadium der jungen Frontalzyklone von der Wellen- bzw. Warmsektor-Bildung bis zur einsetzenden Okklusion dauert in der Regel nur 12 bis 24 Stunden, während das okkludierte Tief länger lebt.

Es wird daher genügen, als „Vorbereitungszeit“ von Sturmflut-Wetterlagen die 48 Stunden = 2 Tage vor der Sturmflut zu betrachten, mag der Keim zur Entwicklung der Gefahrenlage im Einzelfalle auch früheren Datums sein. Zu bedenken ist ferner: Über 48 Stunden geht im praktischen Wetterdienst die Vorausschau kaum hinaus, mit der Vorhersage (forecast) für 24 Stunden und den weiteren Aussichten (further outlook) für die anschließenden 24 Stunden. Fixieren wir also als Ausgangslage die Wetterlage zwei Tage vor der Sturmflut, so wird das im ganzen sowohl der Entstehungsgeschichte der Gefahrenlagen gerecht als auch der Möglichkeit, Gedächtnisbilder für die früheste Vorausschau von Sturmflut-Wetterlagen bereitzustellen.

4. Das benutzte Wetterkarten-Material

Als Wetterkarten-Katalog boten sich die vom U.S. Weather Bureau, Washington, herausgegebenen „Daily Synoptic Series, Historical Weather Maps, Northern Hemisphere Sea Level“ an. Sie haben den Vorzug, über den gesamten Zeitraum (nahezu) einheitlich zu sein in Format, Maßstab, Kartentermin, Isobarenwiedergabe nach Millibar und Frontenanalyse. Von dem einheitlichen Kartentermin, der bis 30. Juni 1939 mit 13 Uhr MGZ (= 14 Uhr MEZ), ab 1. Juli 1939 mit 12.30 Uhr MGZ (= 13.30 Uhr MEZ) angegeben ist und vom Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957—1958 an auf 12 Uhr MGZ (= 13 Uhr MEZ) lautet, gibt es allerdings besonders in den ersten Jahrzehnten des Jahrhunderts mancherlei lokale oder regionale Abweichungen, z. T. auch zeitlich wechselnde³⁾.

Für das hier interessierende Gebiet vom östlichen Nordamerika über den Nordatlantischen Ozean bis zum westlichen Rußland handelt es sich jedenfalls im ganzen um Mittags-Wetterkarten von 13—14 Uhr MEZ. Die Karten haben 24stündigen Abstand; von jedem Tag liegt nur eine vor. Wie die Tabelle 1 mit den Eintrittszeiten der Sturmflut-Hochwasser erkennen läßt, halten sich die Sturmfluten natürlich nicht an Wetterkarten-Termine, sondern verteilen sich über alle Stunden des Tages. Die Sturmflut-Wetterlagen werden also von den vorliegenden Karten 24stündigen Abstands verschieden gut erfaßt. Eine Sturmflut, die zwischen Mittag und frühem Abend (MEZ) eintrat, wird durch die entsprechende Mittags-Wetterkarte der Historical Weather Maps recht gut mit ihrer „Sturmflut-Wetterlage“ erfaßt sein, während eine Sturmflut mit Eintrittszeit am frühen Morgen schlechter durch die Mittags-Wetterkarte hinsichtlich ihrer meteorologischen Vorbedingungen repräsentiert wird. Je nach Zuggeschwindigkeit des Sturmtiefs und Dauer des stauwirksamen Sturmes kann dabei eine Sturmflut-Wetterlage kürzere oder längere Zeit dauern; hält sie längere Zeit an, wird auch ein zum Hochwasser recht „abseitiger“ Kartentermin sie noch zufriedenstellend wiedergeben.

Die Verschiedenheit des zeitlichen Abstands der benutzten Mittags-Wetterkarten von der Sturmflutzeit ist ein Nachteil, der bei dieser Betrachtung einer Vielzahl von Fällen in Kauf genommen werden muß. Gelegentlich liegt z. B. bei einem schneller ziehenden Sturmtief oder überhaupt bei einer zeitlichen Konzentration des stauwirksamen Druckgefälles über der Nordsee die Sturmflut gerade etwa in der Mitte zwischen zwei aufeinander folgenden Karten der Historical Weather Maps. Es kann dann zweifelhaft sein, welche der beiden Karten als „Sturmflut-Wetterlage“ zu wählen ist.

Hiernach aber richtet sich auch die Wahl der Vorkarten 24stündigen und 48stündigen Abstands, mit denen die zweitägige Entwicklungszeit der Sturmflut-Wetterlage betrachtet werden soll. In einigen Fällen zweifelhafter Zuordnung sind zunächst zwei Karten als Sturmflut-Wetterlage angesprochen worden und dementsprechend insgesamt 4 Wetterkarten in Betracht gezogen worden. Bei der Mittelbildung zu Typkarten konnten aber jeweils nur drei Karten Verwendung finden, gemäß dem Schema:

1. Tag	2. Tag	3. Tag
Vor-Vortag der	Vortag der	Sturmflut-Wetterlage
Sturmflut-Wetterlage	Sturmflut-Wetterlage	

Es ist klar, daß sich die fallweise mangelhafte Erfassung der Sturmflut-Wetterlage durch die terminstarre Mittags-Wetterkarte und der unterschiedliche Zeitabstand der — durch Mittelbildung zusammengefaßten — Karten von der jeweiligen Sturmflutzeit ungünstig auf das

³⁾ Näheres darüber in den einzelnen Bänden, wo auch der große Umfang der benutzten Quellen nachzusehen ist.

mittlere Bild auswirken. Aber das Operieren mit genauen Sturmflut-Wetterkarten wechselnder Termine und entsprechenden Vorkarten 24stündigen und 48stündigen Abstands war bei dem gegebenen Wetterkarten-Material nicht möglich.

5. Die Ausgangslage, zwei Tage vor der Sturmflut-Wetterlage

Bei der Entstehung der Sturmflut-Wetterlagen vom Februar 1962 hatte sich ein aus der Normalposition — südlich der Azorengruppe — nordostwärts verschobenes und zugleich extrem stark entwickeltes Azorenhoch als kennzeichnend für das Zirkulationsbild erwiesen (4). Es war, als Zubringer von Tropikluft, mitbestimmend für die Lage und Stärke der zyklogenetischen Frontalzone, an der die Sturmwirbel entstanden. Als Steuerungszentrum beeinflusste es die Zugbahn der wachsenden Zyklonen und nahm außerdem direkten Anteil am Zustandekommen der breiten Zone starken Druckgefälles — und damit der stürmischen Winde.

Daher lag es nahe, für die Ausgangslagen der 74 Sturmflut-Wetterlagen zunächst das Verhalten des Azorenhochs festzustellen und mit den Normalverhältnissen zu vergleichen. Die 74 Fälle liegen mit einer einzigen Ausnahme alle im erweiterten Winterhalbjahr September bis April, wie die folgende Übersicht über ihre Verteilung zeigt:

VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV
1	3	11	15	18	14	6	2	4

So wurden die 8 Monate September bis April als Vergleichs-Zeitraum genommen. Als durchschnittliche Lage und Stärke des Azorenhochs ergab sich dafür im 40jährigen Mittel 1899 bis 1939:

Kern 1022 mb bei 32° N, 30° W

Die folgende Tabelle zeigt zum Vergleich, welche Kerndrucke — aus den einzelnen Wetterkarten abgeschätzt — das Azorenhoch bei der Ausgangswetterlage (74 Fälle) aufwies.

Tabelle 2
Häufigkeitsverteilung der Kerndrucke (in mb) des Azorenhochs bei der „Ausgangslage“

Luftdruck	1024—25	26—27	28—29			1024—29 mb
Zahl d. Fälle	3	9	6			18 = 24,3 %
Luftdruck	1030—31	32—33	34—35	36—37	38—39	1030—39 mb
Zahl d. Fälle	12	9	5	14	5	45 = 60,8 %
Luftdruck	1040—41	42—43	44—45	46—47		1040—47 mb
Zahl d. Fälle	3	3	3	2		11 = 14,9 %

In allen Fällen lag der Kerndruck höher als der „Normalwert“. Der niedrigste betrug 1024 mb, der höchste 1047 mb — dies vor der „säkularen“ Sturmflut vom 16.—17. Februar 1962. In 76 % aller Fälle wies der Kern des Azorenhochs 1030 mb oder mehr auf, in 15 % der Fälle 1040 mb oder mehr. Im Mittel aller 74 Fälle ergibt sich ein Kerndruck von 1033 mb, 11 mb über dem Normalwert.

Es ist zu diesem Vergleich anzumerken, daß er nicht streng richtig ist. Der angeführte Normalwert (1022 mb) des Azorenhochkerns beruht nämlich auf lokaler Mittelbildung des Luftdrucks — aus der Addition von Wetterkarten —, während hier die Einzelwerte des Kernes, ohne Rücksicht auf ihre Lokalität, bestimmt und zusammengefaßt wurden. Der Wert von 1033 mb basiert also auf individueller Mittelbildung.

Zu einem strengen Vergleich wären die 74 Wetterkarten zu mitteln gewesen, und der dabei herauskommende Kerndruck wäre mit dem normalen zu vergleichen. Auf dies aufwendige Verfahren wurde jedoch verzichtet und statt dessen nur ein Test für 10 Wetterlagen vorgenommen, bei denen die Lage des Hochdruckkernes zwischen 30° und 48° N, 36° und 20° W variierte, die Stärke zwischen 1032 und 1047 mb. Dabei ergab sich für den Hochdruckkern

aus lokaler Mittelbildung: Position $42,0^{\circ}$ N, $23,0^{\circ}$ W

Stärke 1037 mb

aus individueller Mittelbildung: Position $41,7^{\circ}$ N, $25,0^{\circ}$ W

Stärke 1040 mb

Bei strengem (lokalem) Vergleich wird also — wie zu erwarten — der mittlere Kerndruck erniedrigt. Qualitativ, und auf mehr kommt es hier nicht an, bleibt aber das Ergebnis erhalten, das sich in den Satz kleiden läßt:

[1] *Ein stark entwickeltes Azorenhoch fördert die Entstehung stauwirksamer Nordseestürme.*

Auch für die Lage des Hochdruckkernes vor Sturmflut-Wetterlagen ergibt sich eine deutliche Abweichung von der Normalposition des Azorenhochs. Bei individueller Mittelbildung der Kern-Positionen aus den 74 Einzelfällen — ohne Rücksicht auf die jeweilige Stärke — resultiert als mittlere Lage des Hochdruckkernes

$40,1^{\circ}$ N, $19,2^{\circ}$ W

Gegenüber der Normalposition (32° N, 30° W) ist also das Azorenhoch zwei Tage vor Sturmflut-Wetterlagen im Durchschnitt 8 Breitengrade nordwärts und 11 Längengrade ostwärts — oder etwa 720 sm nordostwärts — verschoben.

Wahrscheinlich würde sich bei strenger Mittelbildung (aus den Wetterkarten) noch eine etwas stärkere Verschiebung ergeben, da die größeren Intensitäten des Hochdruckkernes in der Regel bei recht nördlichen Lagen auftreten, das Gewicht dieser Positionen also bei der Mittelung von Druckkarten verstärkt wird. Aber es kommt uns auch hier nur auf die Feststellung der Tendenz an, die auf den Satz hinausläuft:

[2] *Ein aus seiner Normalposition nordostwärts verschobenes Azorenhoch leistet der Entstehung von Sturmflut-Wetterlagen in der Nordsee Vorschub.*

Der Befund der Monographie über die Entstehungsgeschichte der Sturmflut-Wetterlagen vom Februar 1962 (4) erweist sich demnach als mehr denn eine besondere Zutat. Zur durchschnittlichen oder regulären atmosphärischen „Vorbereitung“ von Sturmflutlagen gehört ein starkes, nordostwärts verschobenes Azorenhoch.

Daß dies auch für Sturmflutlagen gilt, die mehr oder nur die Südküste der Deutschen Bucht betrafen, mag die folgende Tabelle zeigen. In ihr sind die Durchschnittswerte des Azorenhochs vor jenen Sturmflut-Wetterlagen aufgeführt, die nicht im schleswig-holsteinischen Kollektiv enthalten waren. Die Werte für dieses selbst sind — unter „Westküste“ — zum Vergleich vorangestellt.

Die Fälle von Norddeich, Brake, Cuxhaven sind zum Teil identisch.

Tabelle 3

Durchschnittliche Kern-Position und Stärke des Azorenhochs (nach individueller Mittelbildung) vor Sturmflut-Wetterlagen

Sturmflut	Breite	Länge	Kerndruck	Streubereich	Anzahl
„Westküste“	$40,1^{\circ}$ N	$19,2^{\circ}$ W	1033 mb	1024—1047	74 Fälle
Cuxhaven	$42,0^{\circ}$ N	$18,8^{\circ}$ W	1037 mb	1026—1047	5 Fälle
Brake	$43,6^{\circ}$ N	$17,3^{\circ}$ W	1035 mb	1026—1047	12 Fälle
Norddeich	$43,4^{\circ}$ N	$10,3^{\circ}$ W	1033 mb	1026—1047	7 Fälle

Obgleich die Anzahl der für Cuxhaven, Brake, Norddeich jeweils zusammengefaßten Fälle verschieden ist (5—12—7), ergibt sich eine ähnliche Durchschnittsposition und Durchschnittsstärke des Azorenhochs für die drei Kollektive. Und die Werte entsprechen annähernd den Mittelwerten für das schleswig-holsteinische Kollektiv; ebenso stark ähneln sich die Streubereiche der Kerndrucke. Die NO-Verschiebung und Verstärkung des Azorenhochs ist im Durchschnitt der niedersächsischen Fälle sogar noch etwas ausgeprägter als bei dem schleswig-holsteinischen Kollektiv, zu dem wir im folgenden wieder zurückkehren.

Wie bei der Fülle morphologischer Möglichkeiten in der Luftdruckverteilung kaum anders zu erwarten, ist allerdings die Verschiedenheit der Ausgangslagen im einzelnen doch recht groß, sowohl hinsichtlich der Intensität des Hochs — 1024 bis 1047 mb — als auch in der Lage des Hochdruckkernes. Den Streubereich der Positionen veranschaulicht die Abbildung 1.

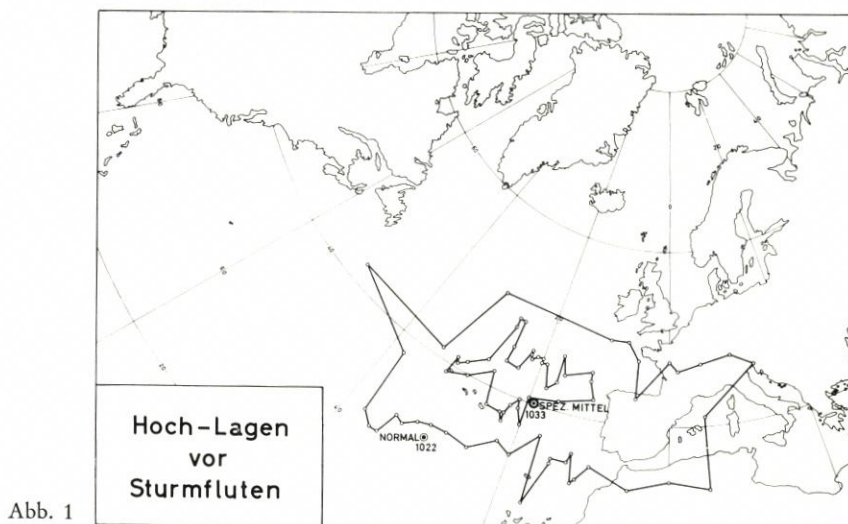


Abb. 1

In ihr sind die 74 verschiedenen Kern-Positionen durch kleine Kreise markiert, und die äußeren wie die inneren sind durch einen Linienzug verbunden, um die Streubereiche anzudeuten. In beiden Fällen sind es 37, also die Hälfte der 74 Positionen. 50 % der Kernlagen gehören also dem „inneren Streufeld“ an. Zum Vergleich ist die normale Kernlage des Azorenhochs bei 32° N, 30° W und seine mittlere Lage vor den Sturmfluten (bei 40° N, 19° W) eingetragen. Die asymmetrische Lage des Streubereichs zur Normalposition wird deutlich. Nur in 9 Fällen (= 12 %) hatte der Azorenhochkern vor Sturmflut-Wetterlagen etwa die Normalposition, in den übrigen 65 Fällen (88 %) war er mehr oder weniger nordwärts und/oder ostwärts davon gelegen.

Im ganzen streuten die Zentren des Hochs in ihrer Lage zwischen 30° und 50° Nordbreite und zwischen etwa 15° östlicher und 40° westlicher Länge (falls man den einzigen — sommerlichen — „Ausreißer“ von 50° W unberücksichtigt läßt). Es lassen sich dabei, wenn auch nicht ganz ohne Willkür der Abgrenzung, gewisse Lagetypen unterscheiden. So ist z. B. eine ganze Serie südlicher Lagen vorhanden, die man in die vier Typen aufteilen kann:

südlich der Azoren	(S-AZ)
nördlich Madeira	(N-MAD)
Westküste Marokkos	(W-MAROK)
Nordwest-Afrika	(NW-AFR)

Es sei hinzugefügt, daß alle Kernlagen des Azorenhochs vor den speziellen Sturmflut-Wetterlagen von Cuxhaven, Brake und Norddeich innerhalb des dargestellten Streubereichs lagen.

6. Die Typisierung der Ausgangslagen

Es bieten sich zwei Wege an, um die unterschiedlichen Ausgangslagen und ihre Weiterentwicklung zu Sturmflut-Wetterlagen zu zeigen:

- a. die Zusammenfassung ähnlicher Fälle von Wetterlagen zu Typen durch Mittelbildung,
 - b. die Demonstration repräsentativer Fälle durch einzelne Beispiele von Wetterlagen.
- Beide Methoden haben ihre Vorteile und Nachteile. Die Mittelbildung ist ein Ausgleichs-

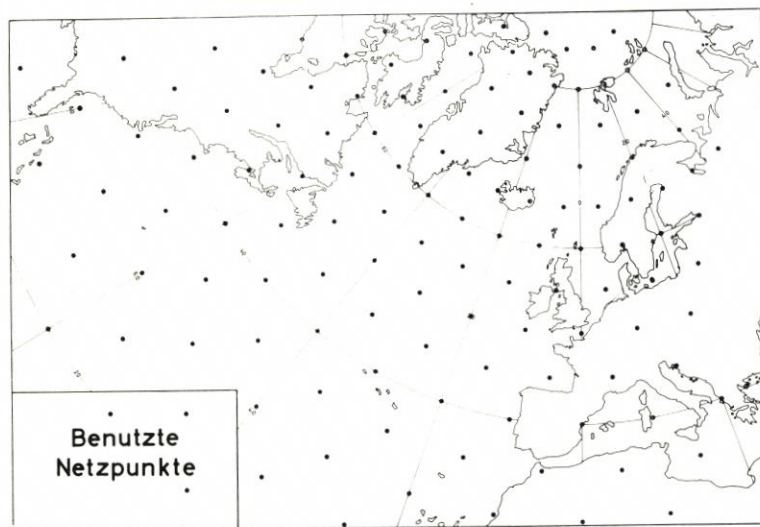


Abb. 2

verfahren, das bei der Anwendung auf Felder des Luftdrucks zur systematischen Folge hat, daß die Extremwerte des Luftdrucks bei Tief und Hoch erniedrigt werden und damit das Druckgefälle abgeschwächt wird, während es andererseits das von Druckgebilden eingenommene Areal zu erweitern vermag. Diese Effekte rühren daher, daß auch in ähnlichen Wetterkarten die Positionen der Zentren und Ausläufer tiefen und hohen Drucks niemals genau übereinstimmen, ebensowenig die Reichweiten der Druckgebilde. Je größer die Unterschiede sind, desto stärker ist die nivellierende und „streckende“ Wirkung der Mittelbildung.

Ähnliches gilt dann natürlich auch für die aus mittleren Luftdruckkarten gewonnenen Karten der Druckänderung, etwa der 24stündigen Änderung von einem Tag zum nächsten. Die Zentren stärksten Druckfalls und Druckanstiegs sind darin abgeschwächt gegenüber den zugrunde liegenden Einzelfällen; dafür sind die Areale der Druckfall- und Drucksteiggebiete normalerweise im Vergleich mit denen der Einzelfälle erweitert.

Insofern als der Meteorologe im Wetterdienst immer mit dem Einzelfall einer Wetterlage zu tun hat, liefert ihm also eine mittlere Karte nicht ein naturgetreues Bild der Wirklichkeit, sondern ein entschärftes, in dem den Dingen gewissermaßen „die Spitze abgebrochen“ ist.

Auf der anderen Seite haben selbst ähnliche Fälle noch manche Unterschiede, die nicht von ausschlaggebender Bedeutung sind oder zu sein brauchen. Und um den Grundzug („general pattern“), das Wesentliche und Übereinstimmende ähnlicher Wetterlagen herauszuschälen,

die differenzierenden „Zutaten“ zu beseitigen und ein ausgeglichenes und darum einfacheres Bild zu schaffen, dazu ist die Mittelbildung das bequemste gegebene Verfahren. Der Vorteil ist, daß damit ein Bild — und meist ein einfacheres — an Stelle einer vielleicht verwirrenden Mehrzahl von Bildern tritt. Verwendet es der Meteorologe vom Wetterdienst als Gedächtnisbild, so hat er allerdings dabei nicht zu vergessen, daß der Vorzug des ausgeglichenen Bildes zugleich sein „Fehler“ gegenüber jeder aktuellen Einzelwetterlage ist.

Es erscheint daher sinnvoll, beide Wege zu beschreiten und außer den durch Mittelbildung gewonnenen Typen wenigstens eine gewisse Anzahl von Beispielen typischer Einzelwetterlagen vorzuführen.

In dieser Studie, in der die Typen und ihre Grundzüge im Vordergrund stehen und schon

Tabelle 4

Verzeichnis der Lagetypen des Azorenhochs, von denen Mittelkarten gebildet wurden

Typ	Abkürzung	benutzte Fälle	Zahl
1. Hoch südlich der Azoren	S-AZ	10. 3. 06, 14. 11. 23, 11. 1. 30, 15. 9. 35, 22. 11. 38, 22. 10. 49	6
2. Hoch nördlich Madeira	N-MAD	22. 12. 18, 14. 11. 20, 15. 11. 28, 10. 12. 29, 5. 1. 32, 11. 11. 40, 24. 1. 44	7
3. Hoch Westküste Marokkos	W-MAROK	13. 1. 04, 19. 12. 21, 31. 12. 24, 21. 11. 30, 11. 1. 55	5
4. Hoch über NW-Afrika	NW-AFR	22. 12. 16, 27. 10. 27, 8. 2. 49	3
5. Hoch westlich der Azoren	W-AZ	28. 8. 23, 8. 10. 26	2
6. Hoch nordwestlich der Azoren	NW-AZ	24. 1. 02, 7. 11. 04, 4. 4. 43	3
7. Hoch nördlich der Azoren	N-AZ	23. 10. 17, 16. 12. 21, 27. 1. 38	3
Hoch östlich der Azoren I	E-AZ I	1. 12. 09, 17. 9. 14, 6. 12. 41	3
8. Hoch östlich der Azoren II	E-AZ II	24. 11. 28, 21. 9. 34	2
Hoch westlich Vigo I	W-VIGO I	4. 4. 04, 2. 11. 23, 27. 12. 55	3
9. Hoch westlich Vigo II	W-VIGO II	29. 12. 21, 1. 1. 22, 17. 10. 35, 27. 10. 35, 24. 11. 39	5
10. Hoch westlich der Biskaya	W-BISK	7. 4. 12, 11. 1. 16, 31. 1. 35, 16. 10. 36	4
11. Hoch westlich der Bretagne	W-BRET	10. 11. 14, 17. 12. 23, 4. 2. 24, 1. 4. 38	4
12. Hoch über Frankreich	FRANK	14. 10. 42, 28. 2. 45, 3. 12. 54	3
13. Hoch im Alpengebiet	ALPEN	30. 11. 17, 31. 10. 21	2

viel Raum beanspruchen, müssen wir uns allerdings auf einige wenige Einzel-Wetterlagen beschränken.

Für die Mittelbildung wurde das in Abbildung 2 dargestellte Netz von 128 Gitterpunkten verwendet. Die Luftdruckwerte für diese Gitterpunkte wurden aus den Wetterkarten interpoliert, danach die mittleren Druckwerte für jede Typserie gebildet und mittlere Luftdruckkarten gezeichnet. Die zugehörigen mittleren Frontlagen wurden nicht graphisch — durch Übereinanderzeichnung der Fronten der Einzelkarten — gewonnen, sondern in Anpassung an die Besonderheiten des mittleren Druckfeldes entworfen, jedoch unter vergleichender Rücksichtnahme auf die der Mittelkarte zugrunde liegenden einzelnen Wetterkarten mit ihren Fronten.

Diese Methode hat natürlich einen subjektiven Einschlag, führt aber schneller zu einem „vernünftigen“ Resultat als das zunächst versuchte Verfahren, die Frontlagen selbst zu mitteln. Sind doch auch in den verwendeten einzelnen Wetterkarten manche Fronten und Frontlagen — schon aus Mangel an Beobachtungen — mit der subjektiven Auffassung des Meteorologen, der sie analysierte, behaftet, und hier und da wäre vielleicht eine andere Analyse vorzuziehen gewesen.

Die Lage des Azorenhochs diene, wie erwähnt, als das wesentliche Bestimmungsstück bei der Zusammenfassung ähnlicher Fälle von Wetterlagen. Jedoch wurde der übrige — weit größere — Teil des Bildes der Wetterlage mit in Betracht gezogen und danach über die Zuteilung in Grenzfällen entschieden. Für zwei Typen („Hoch östlich der Azoren“ und „Hoch westlich Vigo“) wurden je zwei Kollektive gebildet — schon, um Beispiele für das Maß an Abweichung bzw. Übereinstimmung bei gleichem Lagetyp zu bringen.

Ausgeschieden bei der Mittelbildung wurden nur wenige Fälle, entweder weil die betreffende Lage des Azorenhochs nur einmal vorkam (so Nordspanien am 17. XI. 13 und 50° N, 30° W am 17. I. 56), oder weil die Historical Weather Maps für die jüngeren Daten (1960—62) nicht vorlagen, oder weil es sich um „typstörende“ Fälle handelte, denen allerdings auch nur eine relativ geringe Sturmflut folgte (3. XII. 36, 16. X. 41). Schließlich wurde bei den zwei Sturmfluten 2tägigen Abstands im Oktober 1926 nur der erste, ausgeprägtere Fall berücksichtigt.

Insgesamt wurden 13 Lagetypen aus 55 Wetterlage-Fällen abgeleitet. Sie sind in der vorstehenden Tabelle 4 zusammengestellt. Außerdem wurde für 10 Fälle schwerer Sturmfluten der mittlere Lagetyp gebildet (worüber ein besonderer Abschnitt folgt). Es sind also 65 Fälle — von den 74 — zur Bildung von Mittelkarten benutzt worden.

7. Die Entwicklung von Sturmflut-Wetterlagen nach Lagetypen des Azorenhochs

Im folgenden sollen für die 13 verschiedenen Lagetypen des Azorenhochs (gemäß Tab. 4) die Entwicklungen zur Sturmflut-Wetterlage behandelt werden. Der beschreibende Text zu den Abbildungen ist aus Raumgründen im Telegrammstil gehalten.

Bei den Abbildungen bezeichnet jeweils der „1. Tag“ die Ausgangswetterlage (zwei Tage vor der Sturmflut-Wetterlage). Der „2. Tag“ gibt entsprechend die Wetterlage am Tage vor der Sturmflut, der „3. Tag“ die Sturmflut-Wetterlage selbst wieder. Auf die Einschränkungen dazu wurde im 3. Abschnitt hingewiesen.

Außer den mittleren Wetterkarten für die 13 Typen sind die 24stündigen Druckänderungen vom ersten auf den zweiten Tag und vom zweiten auf den dritten Tag dargestellt, letztere mit Verlagerungspfeilen der Druckfall- und Drucksteiggebiete.

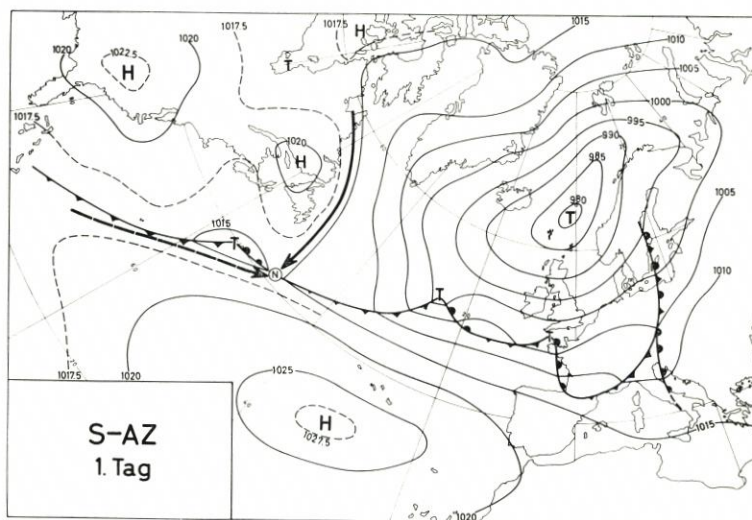


Abb. 3

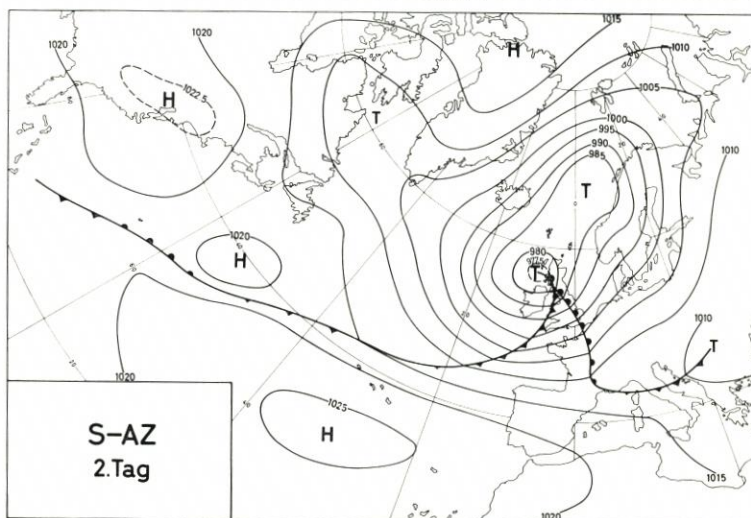


Abb. 4

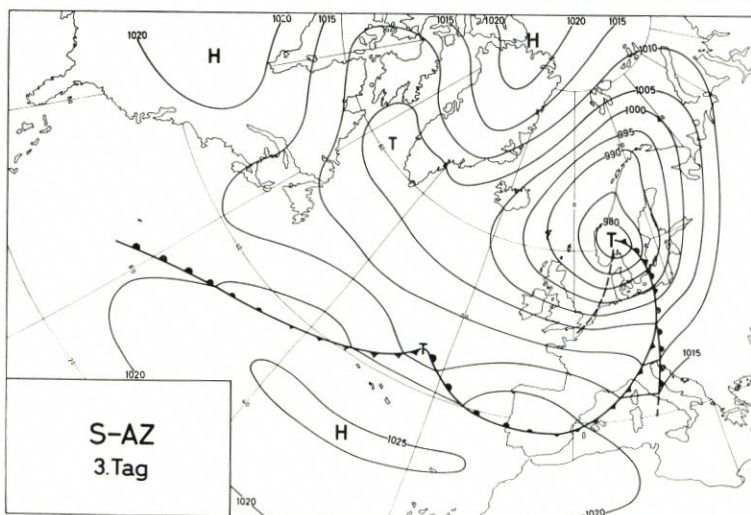


Abb. 5

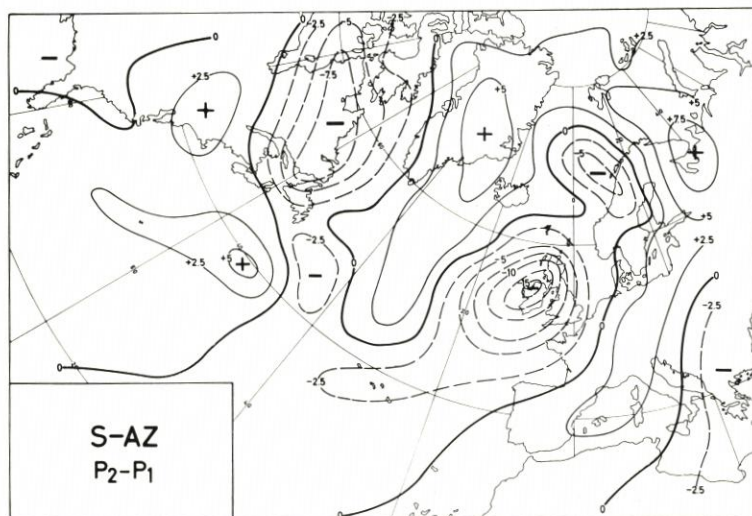


Abb. 6

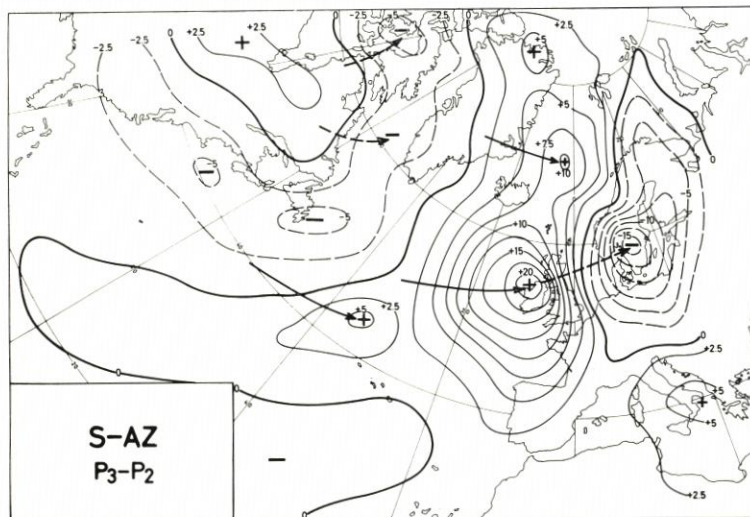


Abb. 7

Typ: Hoch südlich der Azoren (S-AZ)

1. Tag: Warmes Hoch 1028 mb bei 32,5° N, 32° W. Umfangreiches kaltes Tief Nordwest-europa mit Zentrum 980 mb nordöstlich der Färöer. Kaltes Hoch um 1020 mb östliches Nord-amerika. Frontalzone Tropikluft — Polarluft von Bahamas bis Alpengebiet. Daran Wellen-störungen. Neutraler Punkt bei 41° N, 48,5° W. „Stromabwärts“ davon Warmsektor-Störung 999 mb bei 50,5° N, 25,5° W.

2. Tag: Aus der Warmsektor-Störung ist Sturmtief 976 mb bei 56,5° N, 7,5° W entstanden. Nun beginnende Okklusion. Verlagerung seit Vortag mit 29 Knoten nach ENE.

3. Tag: Okkludiertes Sturmtief ist von Hebriden nach Südnorwegen gezogen, jetzt mit 978 mb bei 60,5° N, 10° E liegend. Wanderung seit Vortag mit 25 Knoten nach ENE. Trog mit Winddrehung von WSW auf WNW über der östlichen Nordsee angedeutet.

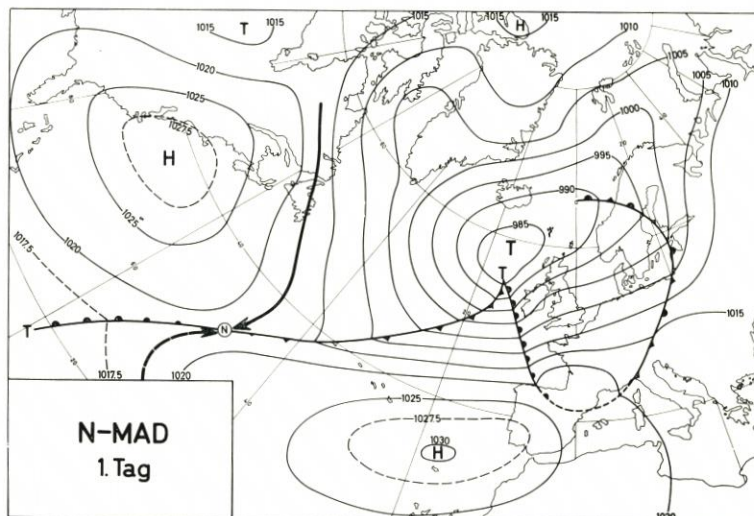


Abb. 8

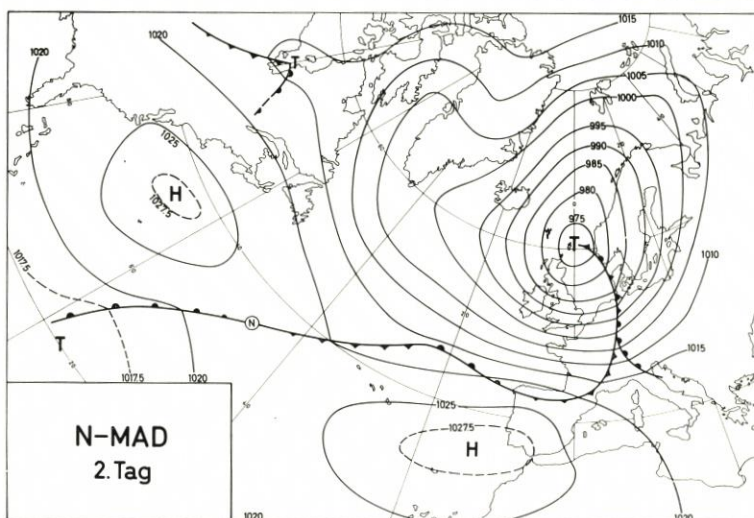


Abb. 9

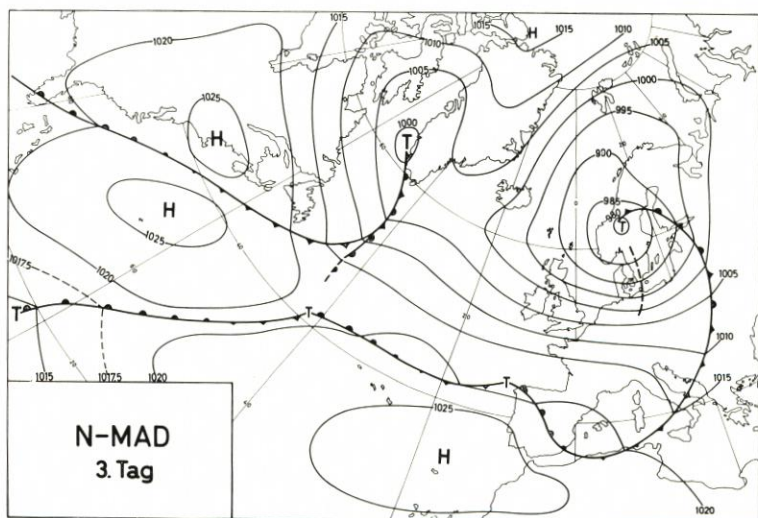


Abb. 10

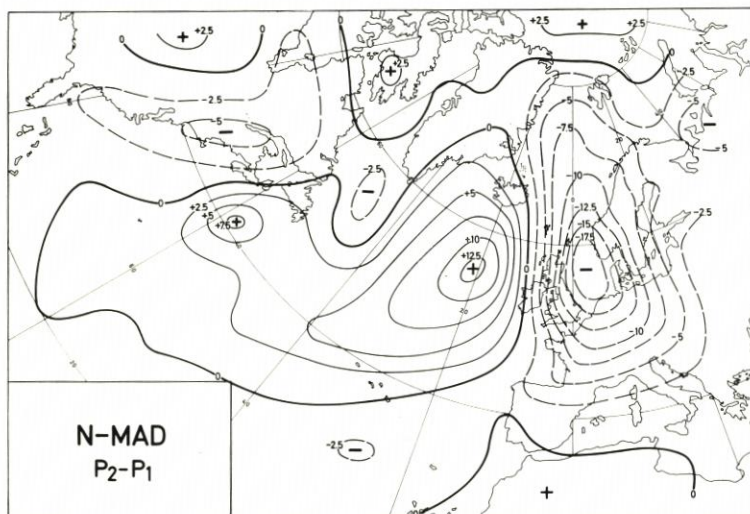


Abb. 11

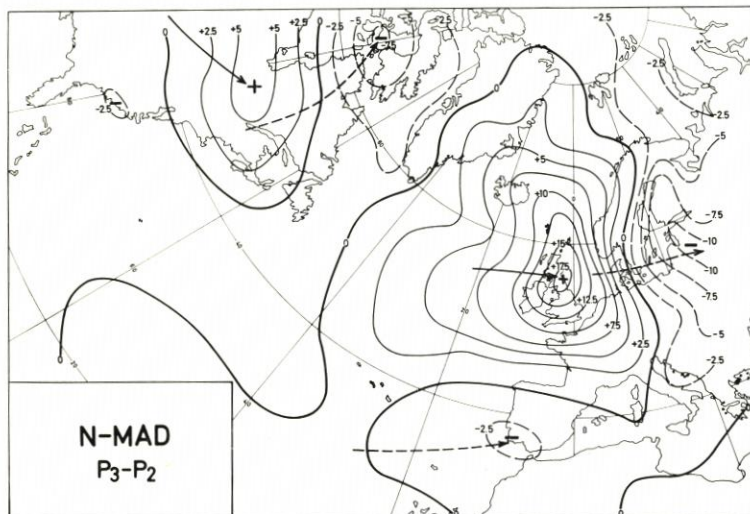


Abb. 12

Typ: Hoch nördlich Madeira (N-MAD)

1. Tag: Warmes Hoch 1031 mb bei 34,5° N, 17,5° W. Kälteres Hoch 1029 mb vor amerikanischer Ostküste. Zwischen beiden Frontalzone Tropikluft — Polarluft über Zentralatlantik SW-NE verlaufend, mit neutralem Punkt bei 33° N, 47,5° W. „Stromabwärts“ Warmsektor-Tief 985 mb bei 55° N, 15° W, anknüpfend an älteres Nordmeer-Tief unter 990 mb.

2. Tag: Aus der Warmsektor-Zyklone ist ein Sturmtief 973 mb bei den Shetlands (um 60° N, 0° W/E) entstanden, bereits weitgehend okkludiert. Verlagerung seit dem Vortag nach ENE mit 24 kn. Die Okklusions-Front erreicht die Deutsche Bucht. Der neutrale Punkt ist noch angedeutet bei 36° N, 46° W.

3. Tag: Das okkludierte Sturmtief hat sich, auf 979 mb abgeschwächt, mit 15 kn weiter nach ENE verlagert; jetzt bei 62° N, 12° E. Eine Trog-Linie ist anscheinend über die südliche Nordsee nach der westlichen Ostsee geschwenkt. Dahinter Winddrehung auf West bis WNW.

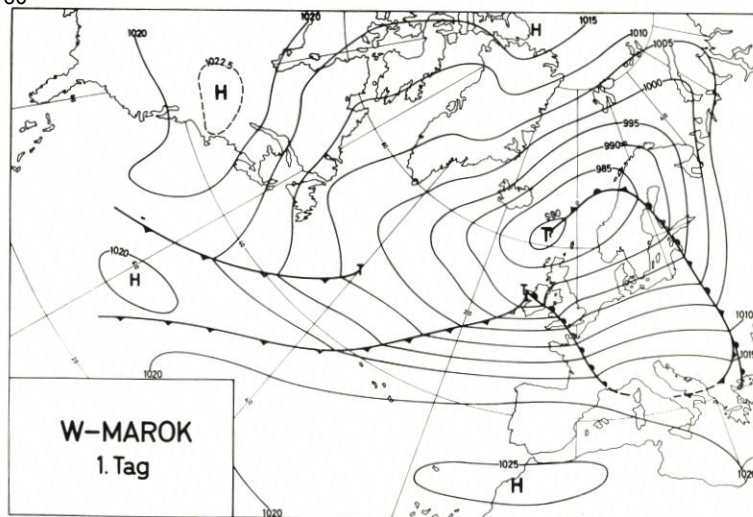


Abb. 13

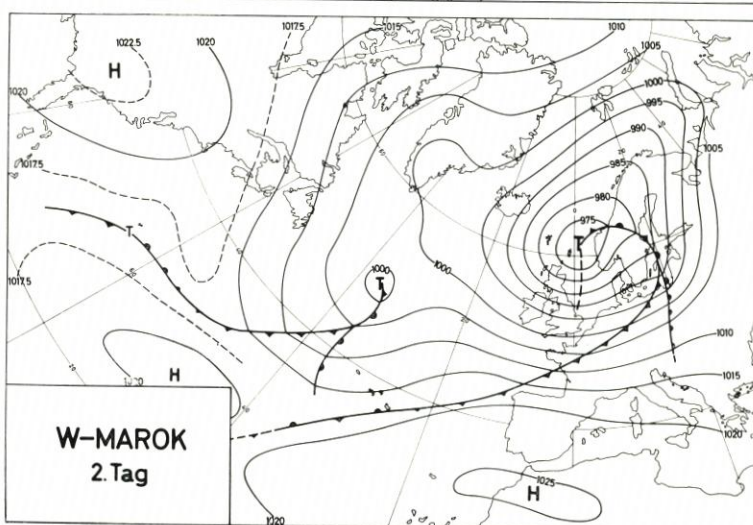


Abb. 14

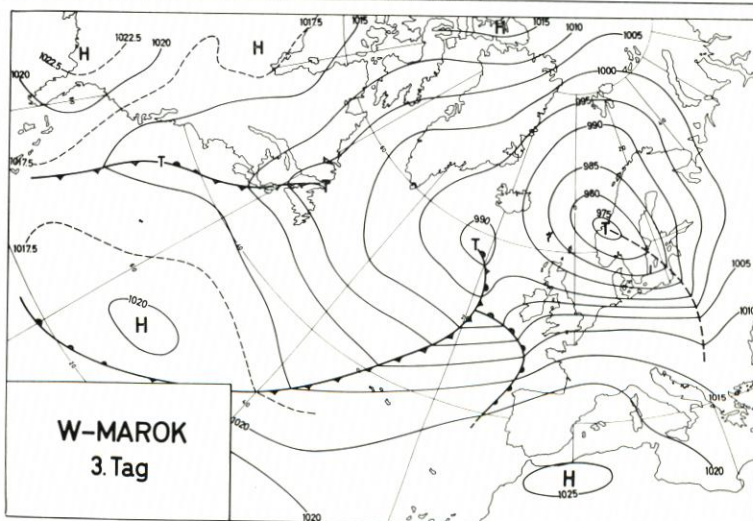


Abb. 15

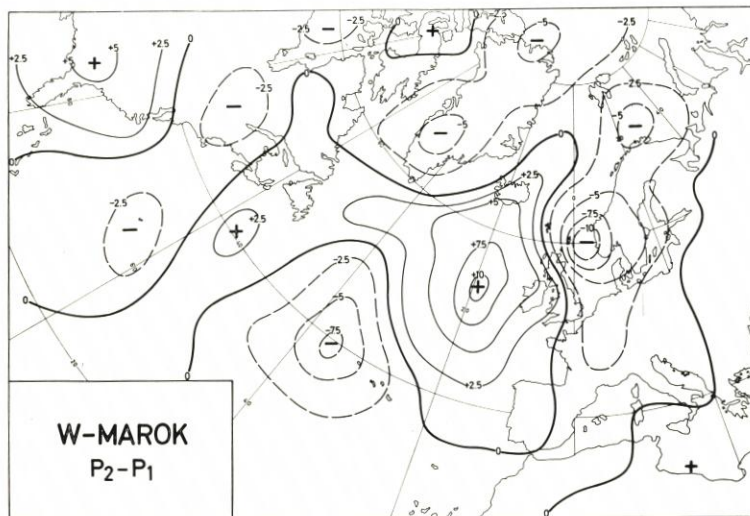


Abb. 16

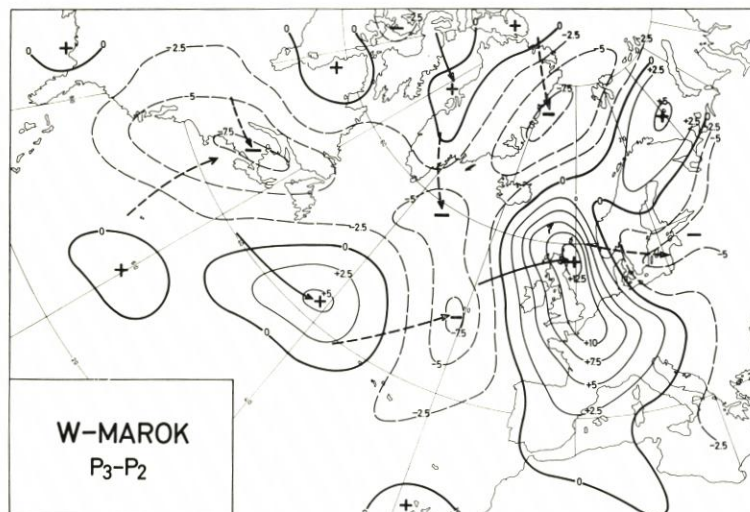


Abb. 17

Typ: Hoch Westküste Marokkos (W-MAROK)

1. Tag: Warmes Hoch 1026 mb um 33° N, 8° W. Älteres kaltes Tief 980 mb bei den Färöer. Randstörung 988 mb bei 54° N, 11° W mit ausgeprägtem Warmsektor.
2. Tag: Aus Warmsektor-Störung ist Sturmtief 972 mb bei 61,5° N, 1° E entstanden; Okklusions-Front über Schweden. Tief-Wanderung seit Vortag nach NE mit 25 Knoten. Altes Färöer-Tief wurde neuem Tief einverleibt. Trogbildung über westlicher Nordsee angedeutet.
3. Tag: Okkludiertes Sturmtief 974 mb bei 62,5° N, 9,5° E. Hat sich seit Vortag nur langsam (mit 10 kn) nach EzN verlagert. Ausgeprägter Trogausläufer über östlicher Ostsee. Dahinter Druckgefälle für Weststurm über südlicher Nordsee.

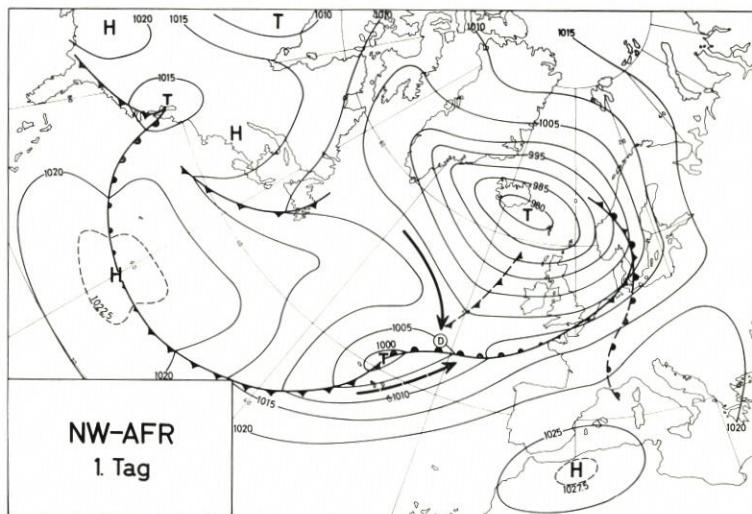


Abb. 18

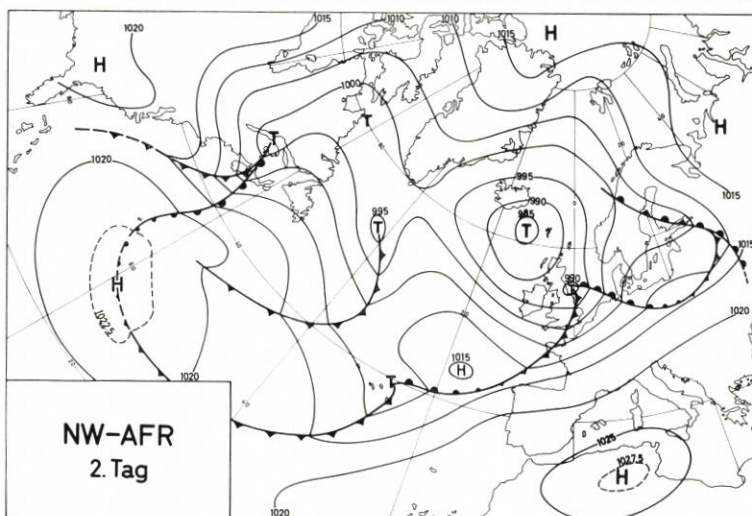


Abb. 19

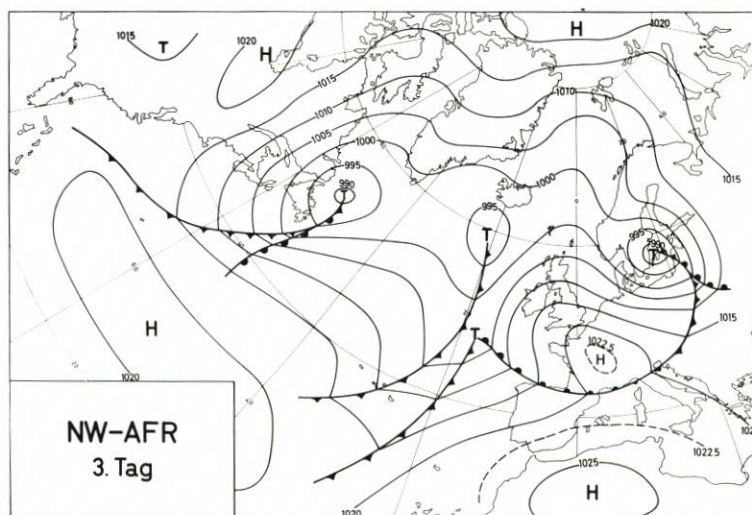


Abb. 20

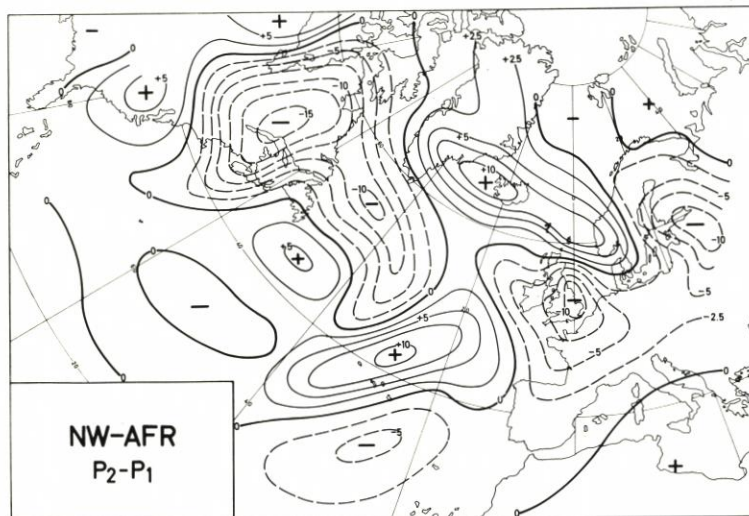


Abb. 21

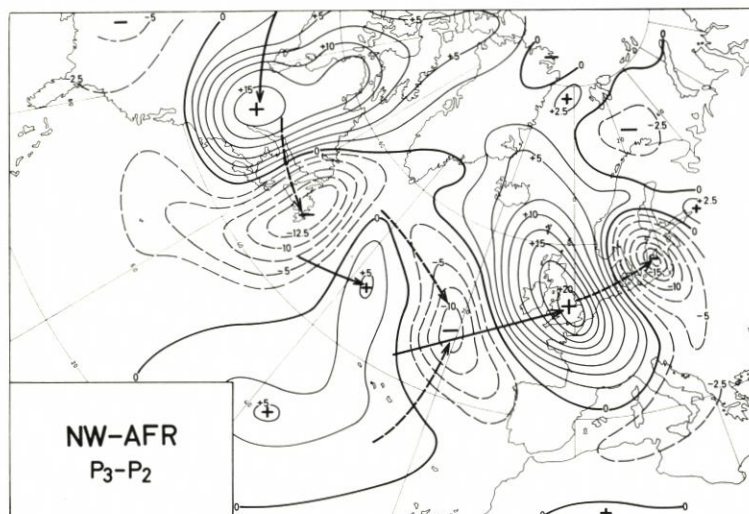


Abb. 22

Typ: Hoch über NW-Afrika (NW-AFR)

1. Tag: Warmes Hoch 1028 mb bei 34° N, 0° W/E, im Westen und Norden umströmt von Tropikluft. Okkludiertes Tief 980 mb zwischen Südisland und Färöer, umflossen von Polarluft etwa bis Englischer Kanal. Warmsektor-Tief 999 mb bei 41° N, 28,5° W. Sekundäre Kaltfront des Island-Tiefs westlich Irland bildet mit Warmfront des Azoren-Tiefs dreimasseneckähnliche Lage (D) südwestlich Irland.

2. Tag: Warmsektor-Tief 989 mb bei 55° N, 1° W — bei Identität mit Azoren-Tief des Vortages mit etwa 57 Knoten nach NE gewandert. Aber wahrscheinlich Abspaltung „stromabwärts“ von Dreimasseneck vertieft. Postfrontales Kaltlufthoch 1015 mb westlich Biskaya in Entwicklung, dem Warmsektor-Tief nachfolgend.

3. Tag: Okkludierendes Sturmtief 988 mb von Ostengland über Jütland Richtung Gotland gezogen, jetzt auf 57,5° N, 18° E. Wanderung seit Vortag mit 27 kn nach EzN. Verstärktes Hoch 1023 mb Frankreich nachdrängend. (Höhepunkt WNW-Sturm Deutsche Bucht bereits überschritten.)

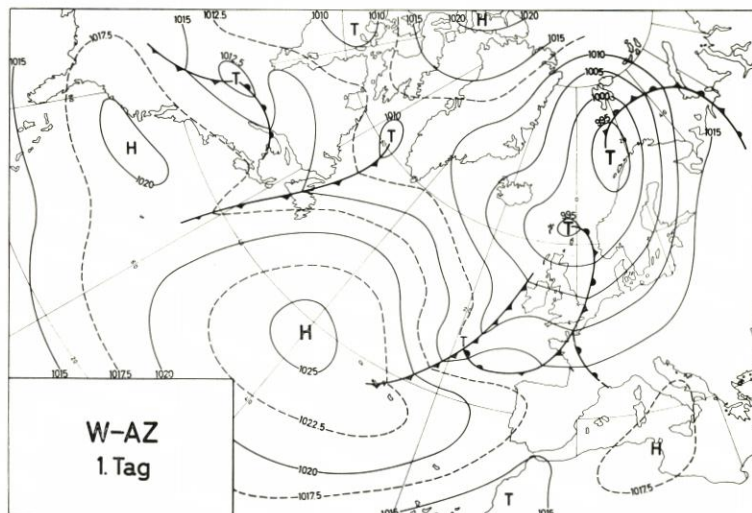


Abb. 23

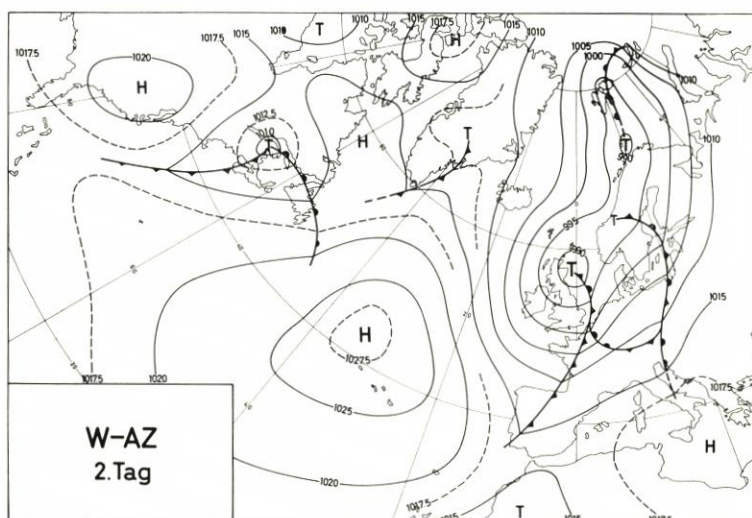


Abb. 24

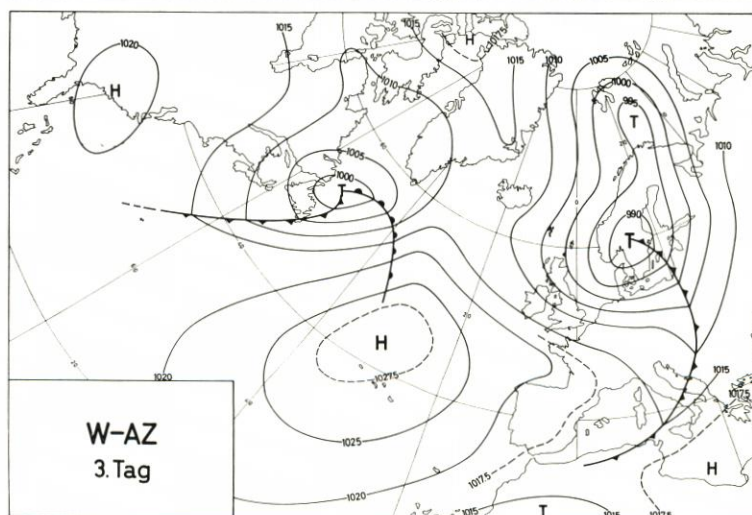


Abb. 25

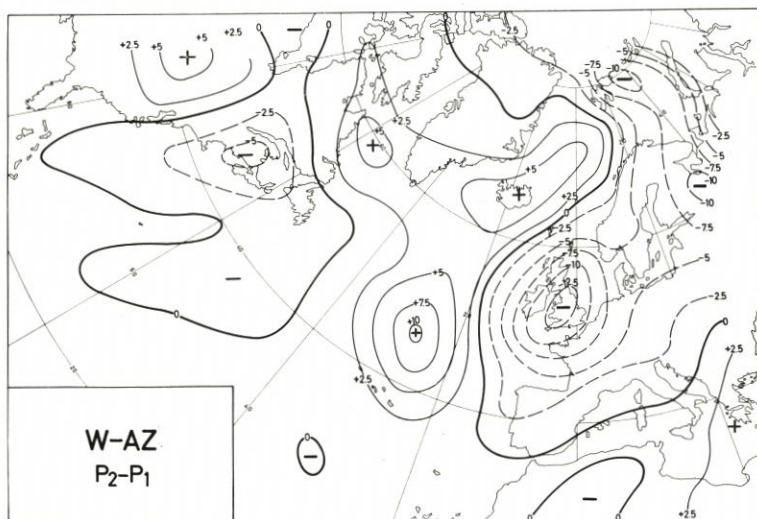


Abb. 26

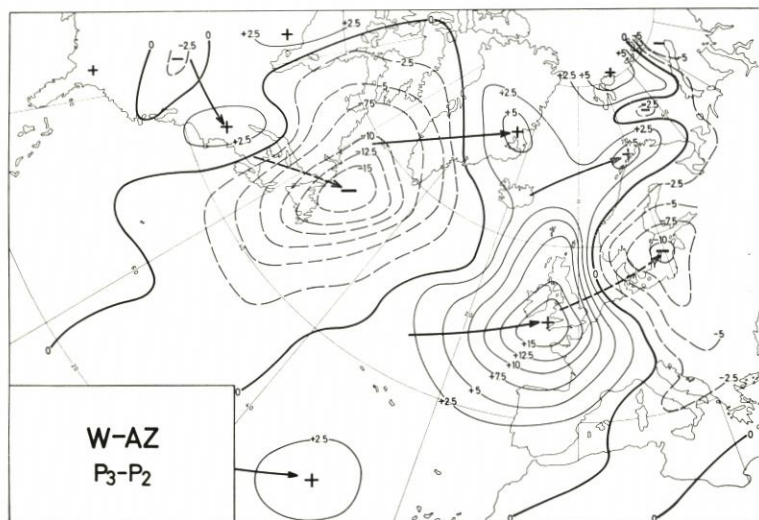


Abb. 27

Typ: Hoch westlich der Azoren (W-AZ)

1. Tag: Hoch 1027 mb um 38,5° N, 40° W. Tropikluft nur im Sektor Azoren — Spanien. Umfangreiches Tiefssystem Nordwesteuropa mit Zentren 995 mb nördlich Lofoten und Shetlands. Frontalstörungen über Englischem Kanal und südwestlich Irland. Letztere mit Warmsektorspitze 1013 mb bei 46° N, 18° W.

2. Tag: Hieraus ist kräftige Tief-Neubildung 988 mb bei 57,5° N, 1° W hervorgegangen. Nordostverlagerung seit Vortag mit 36 kn (von Spitze Warmsektor gerechnet). Azorenhoch mit nördlichem Keil verstärkt. Intensivere Nordströmung aus der Ostgrönlandsee.

3. Tag: Tief 987 mb hat sich seit Vortag mit 19 kn nach ENE verlagert; jetzt bei 60° N, 13° E. Kaltfront (bzw. Okklusion) über östlicher Ostsee. Zyklonale Winddrehung von West auf Nord über der Nordsee.

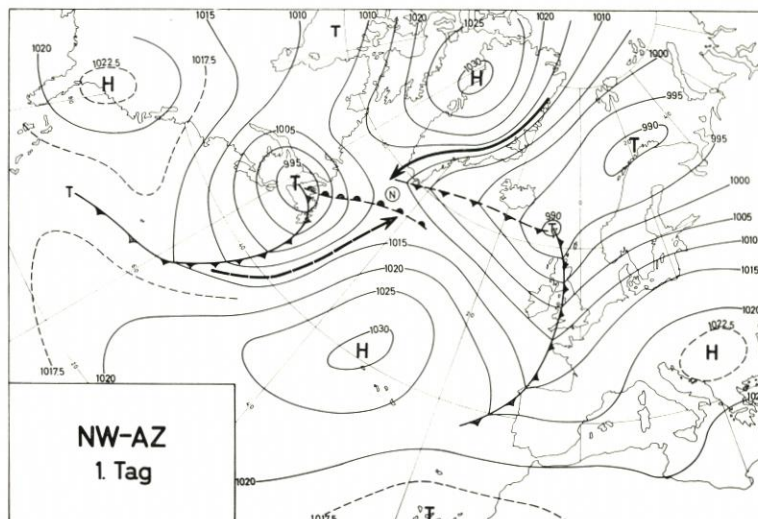


Abb. 28

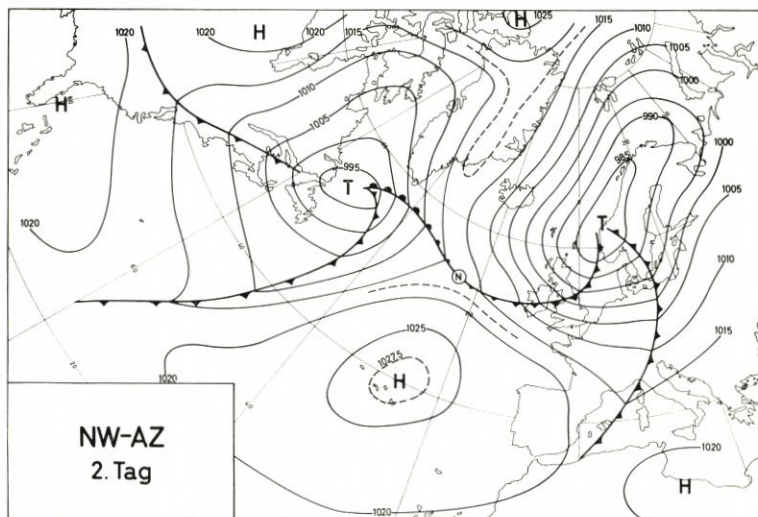


Abb. 29

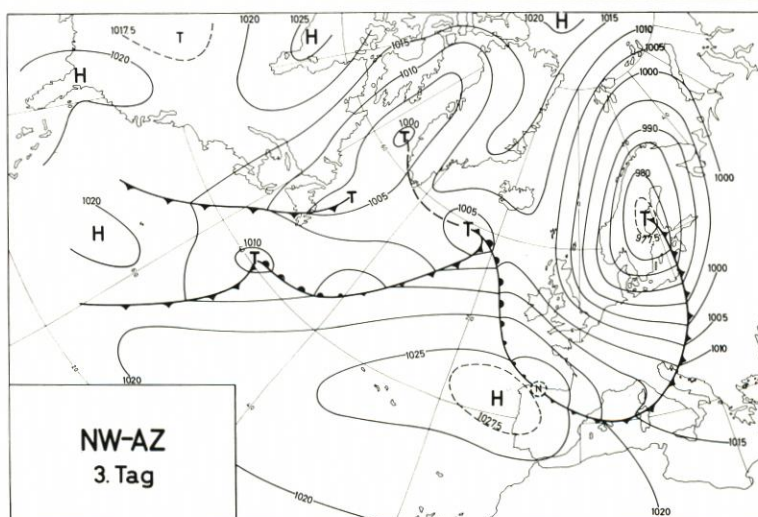


Abb. 30

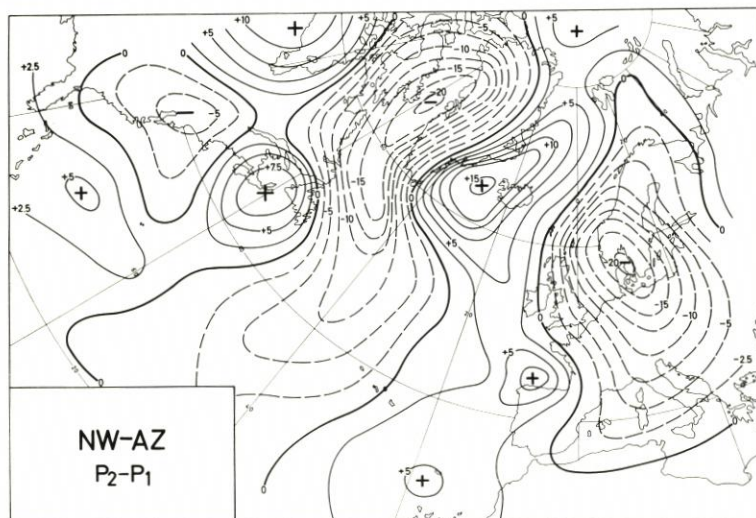


Abb. 31

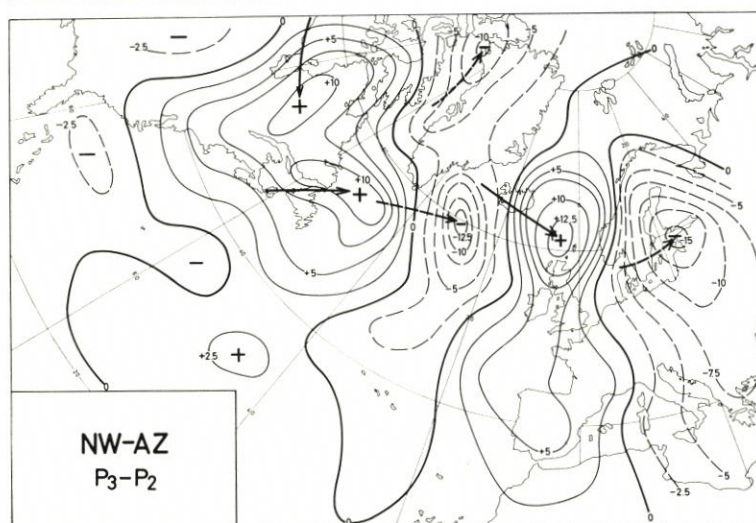


Abb. 32

Typ: Hoch nordwestlich der Azoren (NW-AZ)

1. Tag: Hoch 1032 mb bei 42° N, 32° W. Tief 990 mb Färöer mit ausgeprägtem Kaltfront-Ausläufer Britische Inseln — Biskaya. Azorenhoch daher nur relativ warm im Vergleich mit kaltem Hoch 1030 mb Nordwestgrönland. Aber deutliches Vierer-Druckfeld mit neutralem Punkt zwischen Färöer-Tief und Neufundland-Tief bei 57° N, 45° W. Hier Verschärfung der Frontalzone zwischen frischer Polarluft und wärmerer Südluft.

2. Tag: Vertiefung des Färöer-Tiefs auf 982 mb und langsame Ostverlagerung nach 62° N, 5° E mit 14 Knoten. Zweite Kaltfront hat mittlere Nordsee erreicht. Neutraler Punkt bei 53,5° N, 24° W noch erhalten.

3. Tag: Weitere Vertiefung der Sturmzyklone auf 976 mb. Ostverlagerung seit Vortag mit 15 kn nach 62° N, 17,5° E. Zweite Kaltfront hat südliche Ostsee passiert, aber trogartige Isobaren über der Nordsee mit Sturmdrehung von West auf Nord.



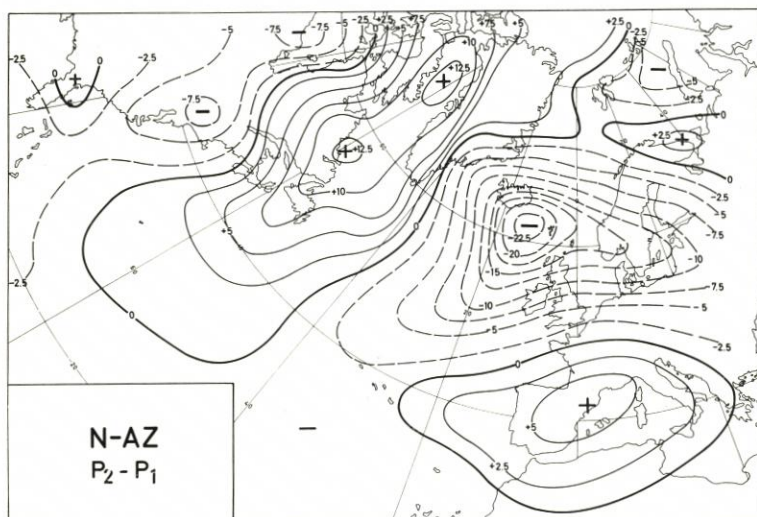


Abb. 36

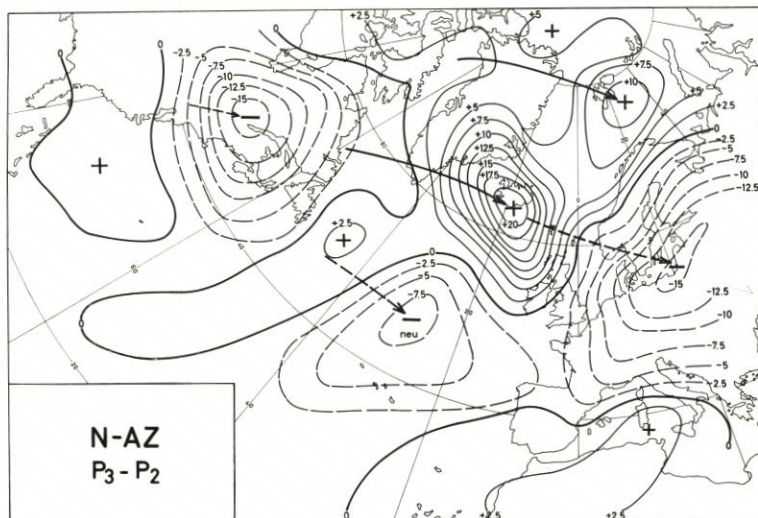


Abb. 37

Typ: Hoch nördlich der Azoren (N-AZ)

1. Tag: Warmes Hoch 1038 mb bei 41° N, 27° W. Kaltes Hoch 1030 mb südlich vom St. Lorenz. Dazwischen Tiefrinne unter 1020 mb mit Frontalzone Tropikluft — Polarluft vom Seegebiet südlich Bermuda nach NE verlaufend. Älteres Tief unter 980 mb vor Lofoten mit Kaltfront-Ausläufer Mitteleuropa. Warmsektor-Neubildung 999 mb 59° N, 37° W.

2. Tag: Aus der Warmsektor-Störung ist Sturmtief 968 mb bei 63,5° N, 1° E entstanden. Kaltfront über Nordsee sehr rasch ostwärts vordringend. Dahinter Weststurm-Gradient Nordsee und Nordostatlantik. Tiefverlagerung seit Vortag mit 45,5 Knoten nach ENE. Nordmeer-Tief ist in neuem Sturmtief aufgegangen.

3. Tag: Okkludiertes Sturmtief, auf 973 mb abgeschwächt, nach 61° N, 11° E gezogen. Wanderung seit Vortag mit 13 kn nach EzS. Stürmischer WNW Schottland bis Deutsche Bucht.

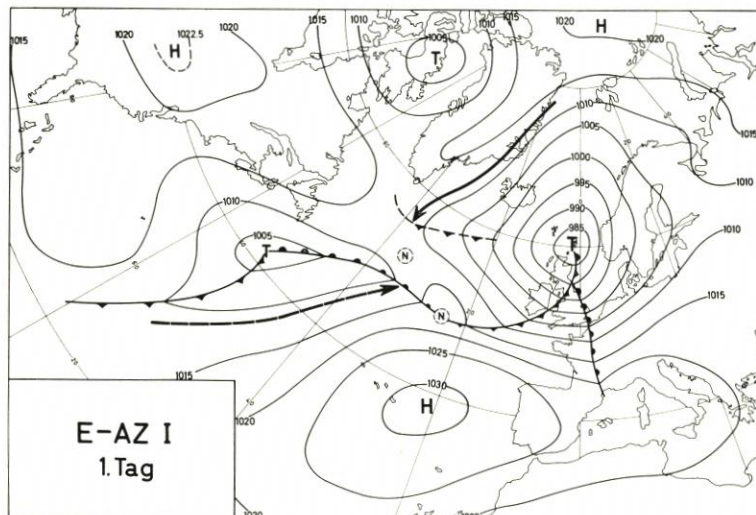


Abb. 38

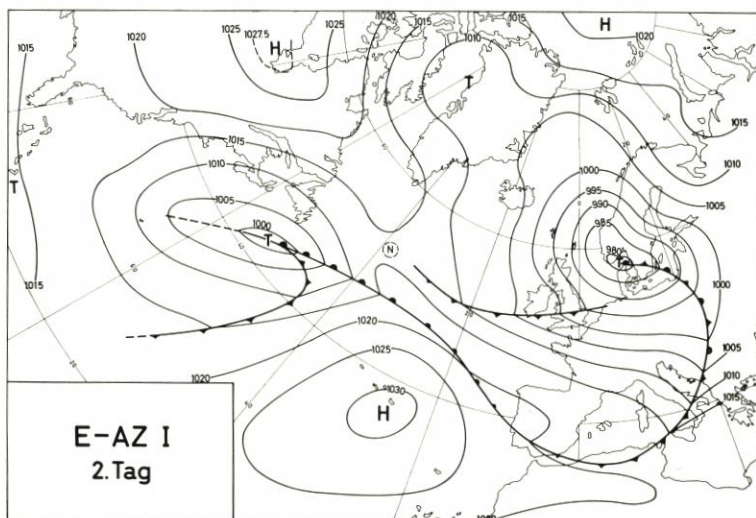


Abb. 39

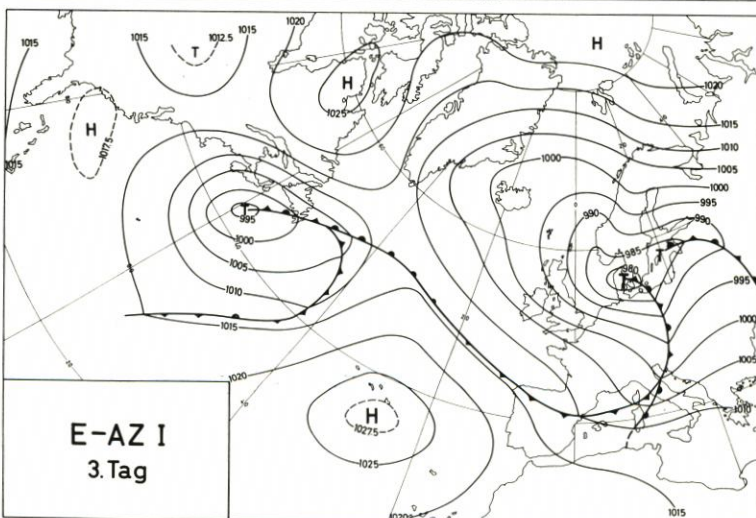


Abb. 40

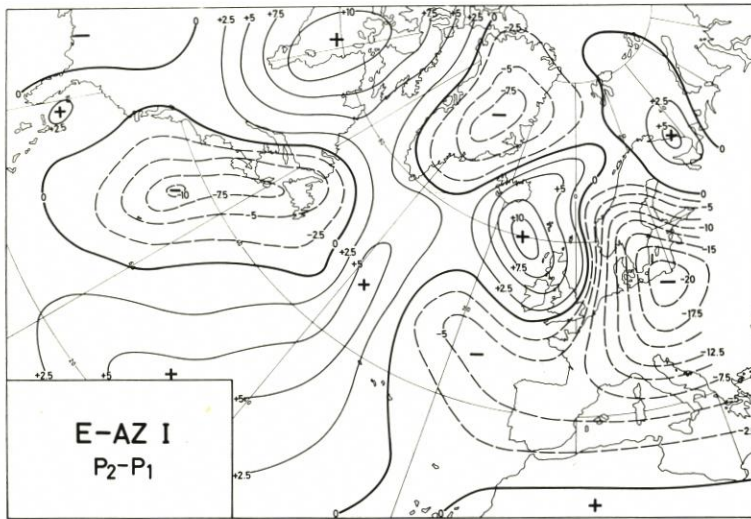


Abb. 41

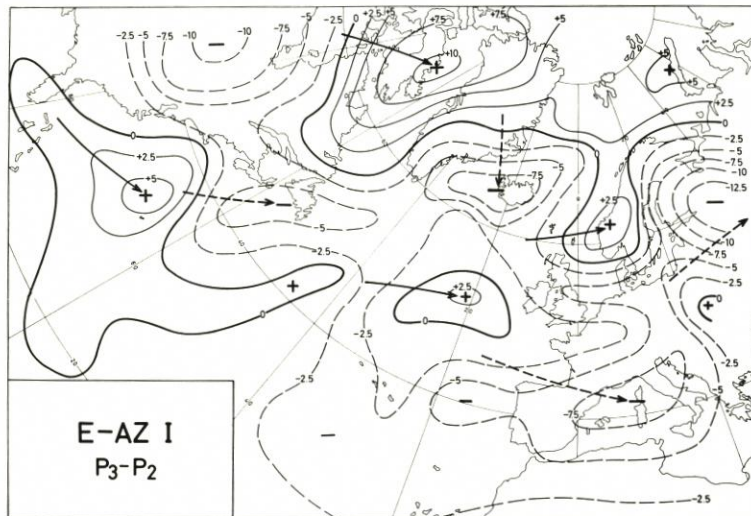


Abb. 42

Typ: Hoch östlich der Azoren (E-AZ I)

1. Tag: Warmes Hoch 1032 mb bei 38° N, 22° W. Okkludierendes Warmsektor-Tief 982 mb bei 60° N, 2° W. An Frontalzone Tropikluft — Polarluft zweites Tief unter 1005 mb mit offenem Warmsektor südsüdöstlich Neufundland. Zwischen Warmfront dieses Tiefs und sekundärer Kaltfront des Shetland-Tiefs neutraler Punkt angedeutet um 52° N, 35° W. (Neutraler Punkt bei 48° N, 24° W auflösend).

2. Tag: Okkludiertes Tief von Shetlands langsam — mit 14 kn seit Vortag — nach Skagerrak gerückt (58° N, 8° E), mit 979 mb noch leicht vertieft. Tief südsüdöstlich Neufundland gleichfalls vertieft (1000 mb), ohne viel Bewegung. Neutral. Punkt um 52° N, 38° W noch immer angedeutet.

3. Tag: Skagerrak-Tief gleichbleibender Intensität (979 mb) sehr langsam — mit 4,5 kn seit Vortag — südsüdostwärts gerückt nach 56,5° N, 10° E. Nach Durchgang der Sekundärfront verstärktes Druckgefälle über südlicher Nordsee (Tief südlich Neufundland rückläufig, vertieft).

Abb. 43

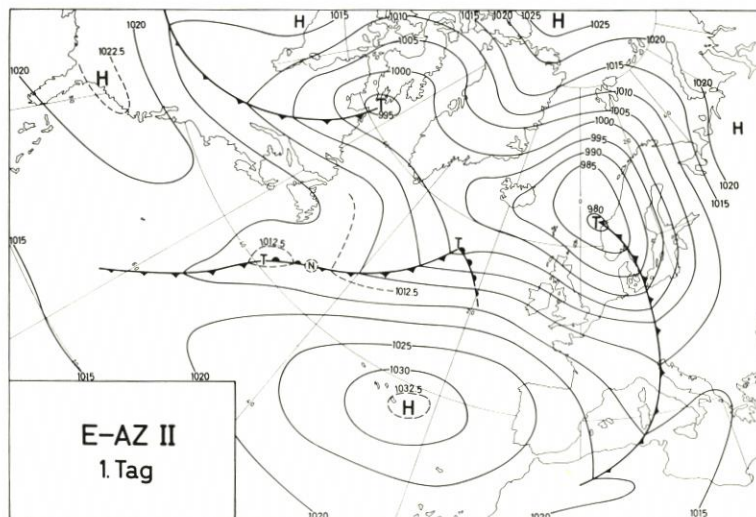


Abb. 44

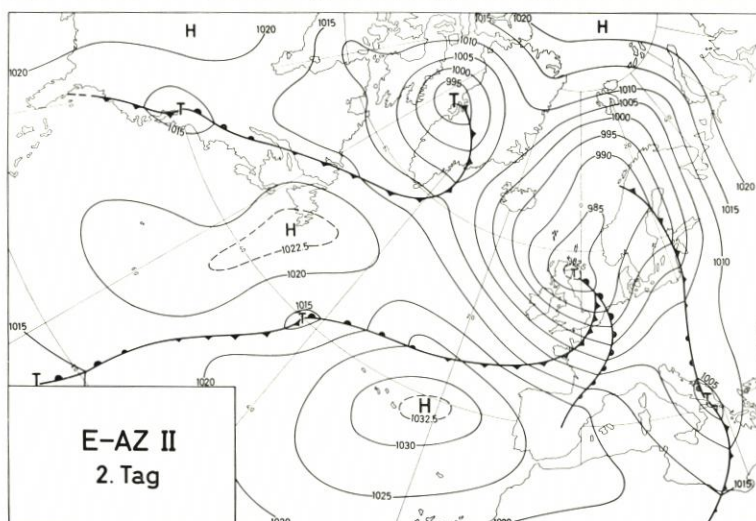
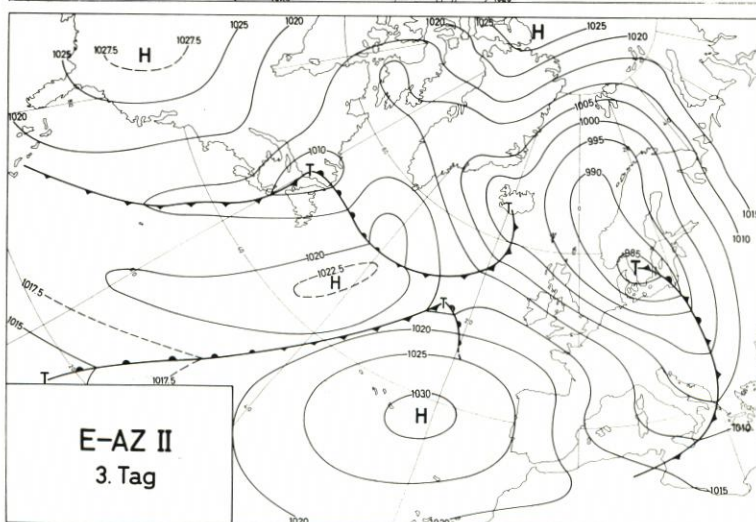


Abb. 45



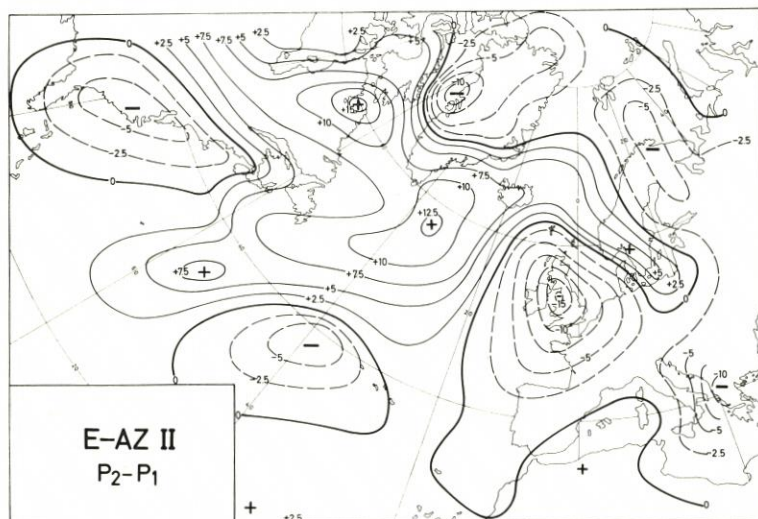


Abb. 46

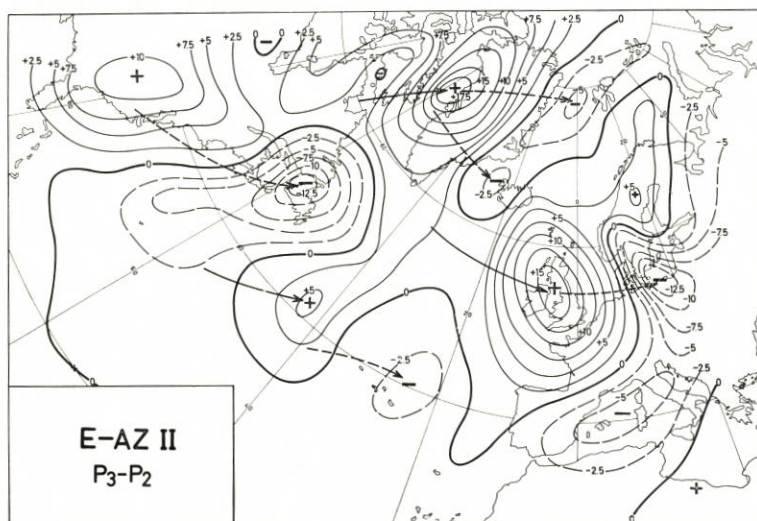


Abb. 47

Typ: Hoch östlich der Azoren (E-AZ II)

1. Tag: Warmes Hoch 1033 mb bei 38°N, 23°W. Umfangreiches Tiefsystem unter 1000 mb Skandinavien bis westlich Südgrönland. Darin älteres, okkludierendes Zentrum 980 mb um 63°N, 5°E. Polare WNW-Strömung Nordsee und Westeuropa. Warmsektor-Neubildung 999 mb bei 56°N, 27°W.

2. Tag: Aus der Warmsektor-Störung ist Sturmtief 982 mb bei 57°N, 2°W entstanden, beginnt zu okkludieren, hat älteres Nordmeer-Tief sich angegliedert. Ostwanderung seit Vortag mit 36 Knoten. Kaltfront erreicht südwestliche Nordsee. Dahinter WNW-Sturm über England.

3. *Tag:* Okkludiertes Sturmtief 983 mit jetzt Südschweden (57,5°N, 13°E), ist mit 19 kn seit Vortag ostwärts gezogen. WNW-Windbereich hat auf Nordsee übergegriffen.



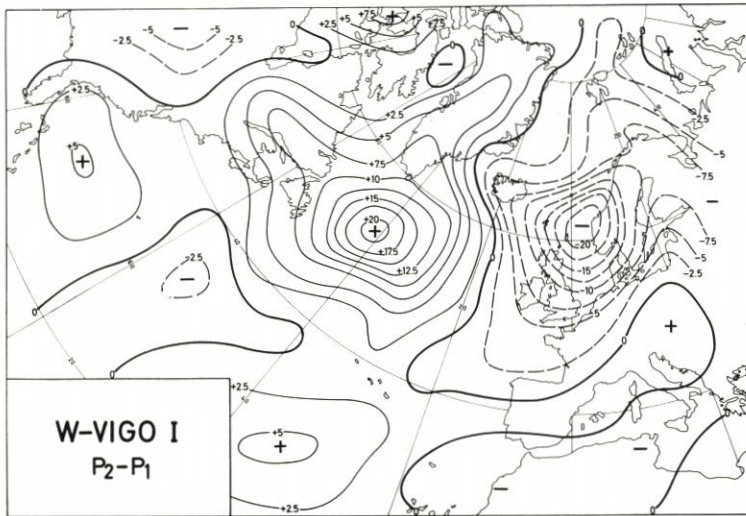


Abb. 51

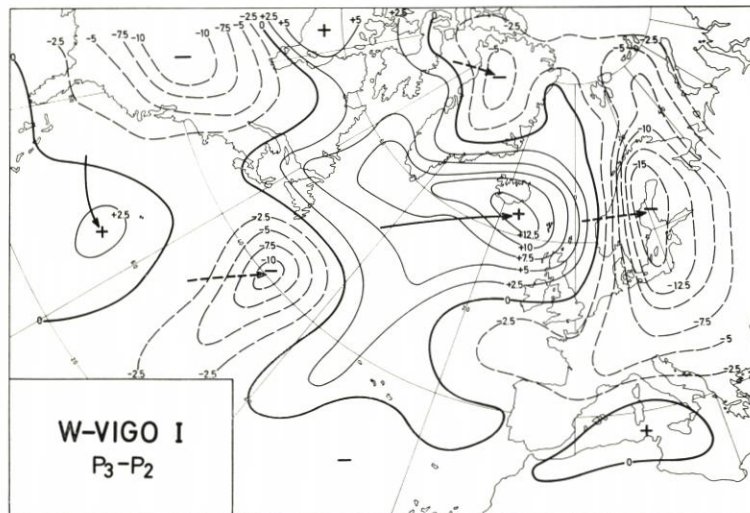


Abb. 52

Typ: Hoch westlich Vigo (W-VIGO I)

1. Tag: Warmes Hoch 1034 mb bei 42° N, 17° W, umströmt von Tropikluft auf seiner Westflanke. Kaltes Hoch 1035 mb bei Großen Seen. Frontalzone Tropikluft — Polarluft vom Seegebiet südlich Bermuda nordostwärts verlaufend. Daran neutraler Punkt bei 43,5° N, 46° W und Warmsektor-Neubildung „stromabwärts“ im Gebiet um 54° N, 28° W. Älteres, okkludiertes Tief 985 mb Nordmeer bringt westliche Polarluft-Strömung über der Nordsee.

2. Tag: Aus der Warmsektor-Störung ist ein Sturmtyf von 968 mb bei 63°N, 2°E hervorgegangen, hat altes Nordmeer-Tief sich einverleibt, okkludiert rasch. Verlagerung des Tiefzentrums seit Vortag (60°N, 33°W) nach EzN mit 41 Knoten. Kaltfront erreicht Deutsche Bucht. Weststurm-Gradient Nordsee — Britische Inseln. Neutraler Punkt auflösend 46°N, 24°W.

3. Tag: Okkludiertes Sturmtief 969 mb sehr langsam (mit 9—10 kn) weitergerückt nach Mittelnorwegen (64,5°N, 10°E). Trogbildung über westlicher Ostsee angedeutet; dahinter leichte Rechtsdrehung des Nordseesturmes.

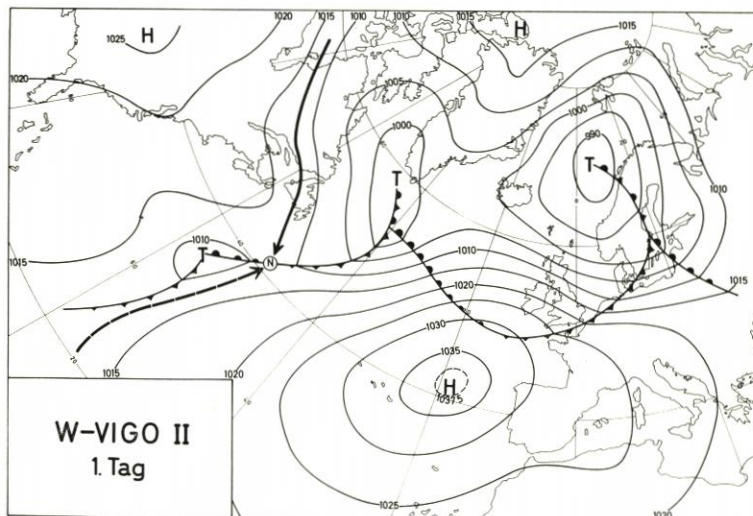


Abb. 53

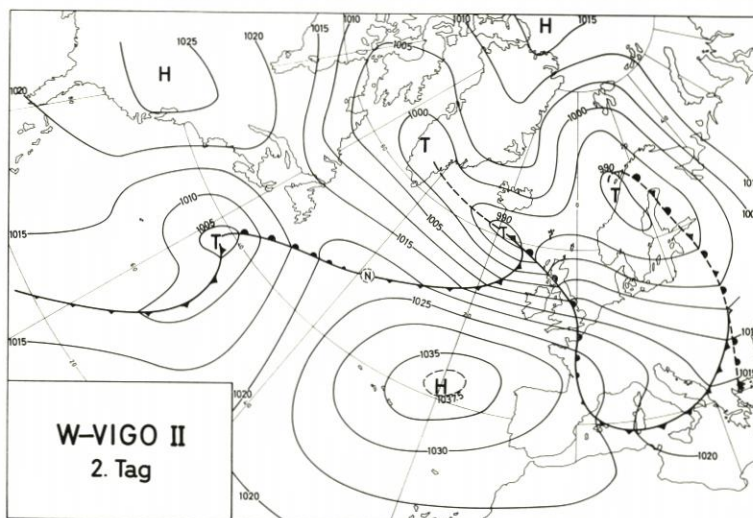


Abb. 54

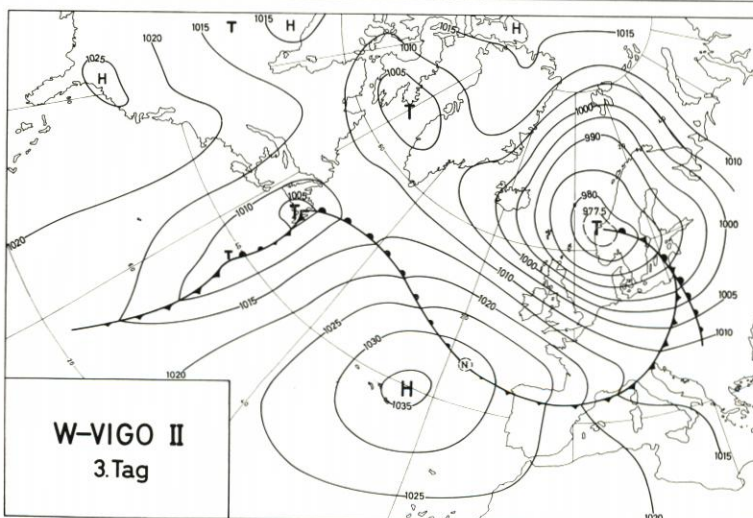


Abb. 55

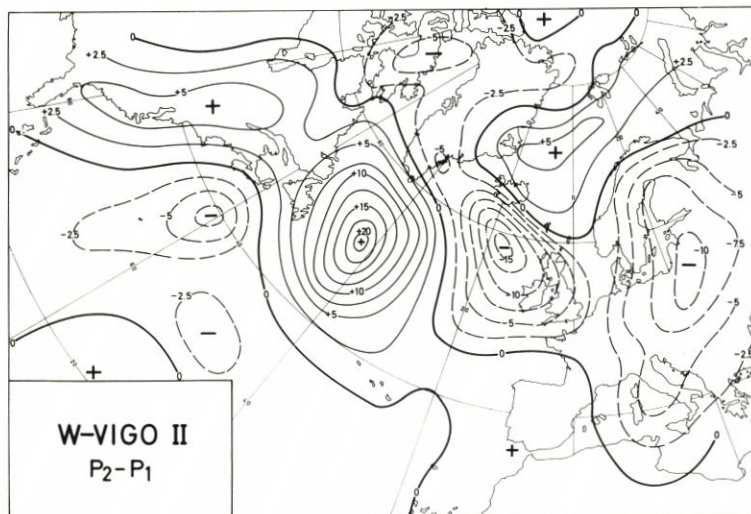


Abb. 56

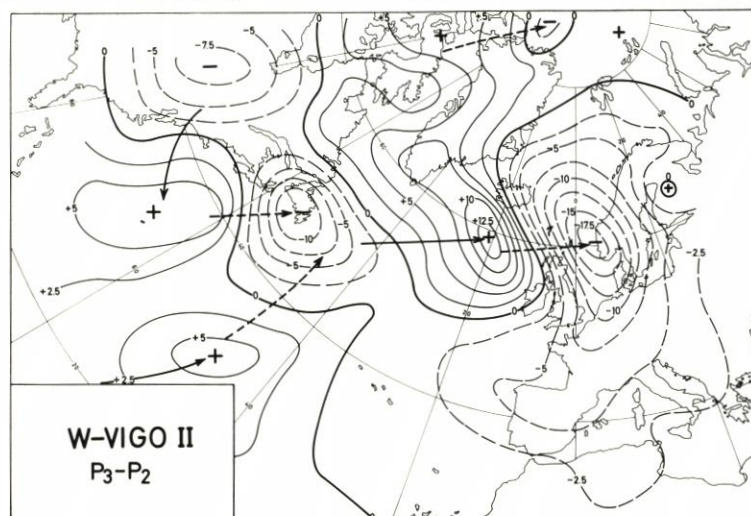


Abb. 57

Typ: Hoch westlich Vigo (W-VIGO II)

1. Tag: Warmes Hoch 1038 mb bei 42° N, 19° W. Breiter Strom von Tropikluft auf seiner Westseite. Kaltes Hoch 1025 mb südlich Große Seen. Frontalzone Tropikluft — Polarluft vom Seegebiet südöstlich Bermuda nordostwärts. Daran neutraler Punkt bei 41,5° N, 50° W und Warmsektor-Neubildung „stromabwärts“ im Gebiet um 54° N, 40° W. Älteres Haupttief unter 990 mb Nordmeer bringt westlichen Polarluft-Vorstoß über der Nordsee.

2. Tag: Aus der Warmsektor-Zyklone entwickelt sich ein Sturmtief südlich Island (Zentrum 987 mb bei 60,5° N, 18° W). Verlagerung seit Vortag (54° N, 41° W) nach ENE mit 35 Knoten. Noch offener Warmsektor läßt weitere Vertiefung und rasche Wanderung der Zyklone erwarten. Neutraler Punkt auflösend bei 48° N, 39° W.

3. Tag: Okkludierendes Sturmtief unter 977 mb über SW-Norwegen (62° N, 7° E) hat älteres Skandinavien-Tief aufgenommen. Ostwanderung seit Vortag noch mit 31 kn. Okkl.-Front schon östliche Ostsee. Gradient für West- bis WNW-Sturm Schottland bis südliche Nordsee.



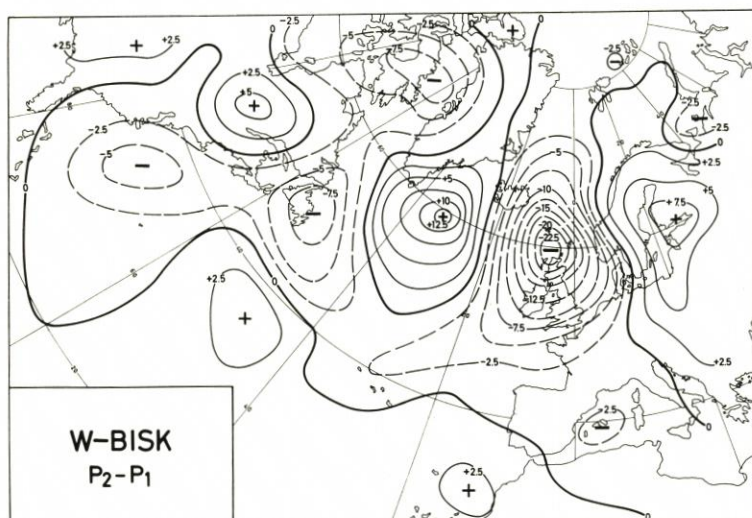


Abb. 61

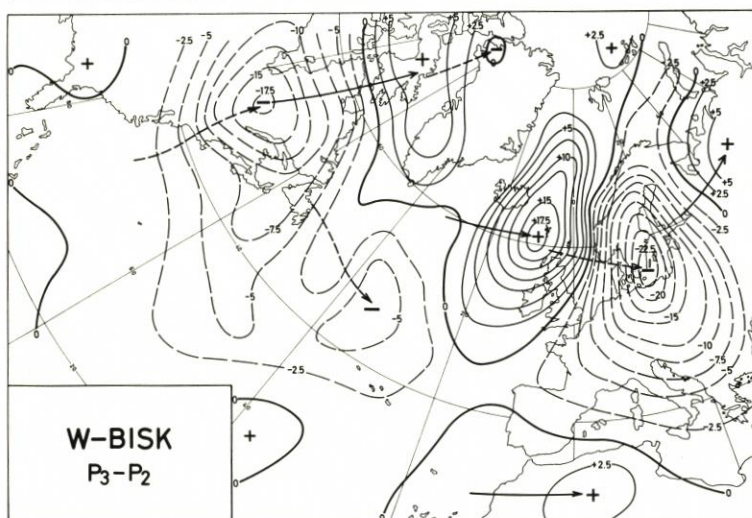


Abb. 62

Typ: Hoch westlich der Biskaya (W-BISK)

1. Tag: Hoch 1034 mb bei 45° N, 17° W, im Nordosten umströmt von maritimer Polarluft auf Rückseite des russischen Tiefs von 990 mb. Auf W-Seite Tropikluft-Vorstoß aus Süden. Frontalzone gegen Polarluft in Tiefrinne zwischen Azoren und Bermuda NNE — SSW verlaufend. Daran neutraler Punkt bei 43,5° N, 41,5° W und Neubildung von Warmsektor-Tief 1000 mb „stromabwärts“ bei 61° N, 28° W. Kaltes Hoch 1025 mb südlich Neufundland.

2. Tag: Aus Warmsektor-Zyklone Sturmtief 984 mb nordwestlich Shetlands (61° N, 3° W) entstanden, nun okkludierend, aber anscheinend frische Polarluft aus Ostgrönland einbeziehend (sekundäre Kaltfront). Ostwanderung seit Vortag mit 30 kn. Neutraler Punkt auflösend bei 50° N, 24° W.

3. Tag: Okkludiertes, aber noch verstärktes Sturmtief 978 mb jetzt über Südost-Schweden. Seit Vortag ESE-Wanderung mit 26 kn. Über der Nordsee Druckgefälle für NW-Sturm.

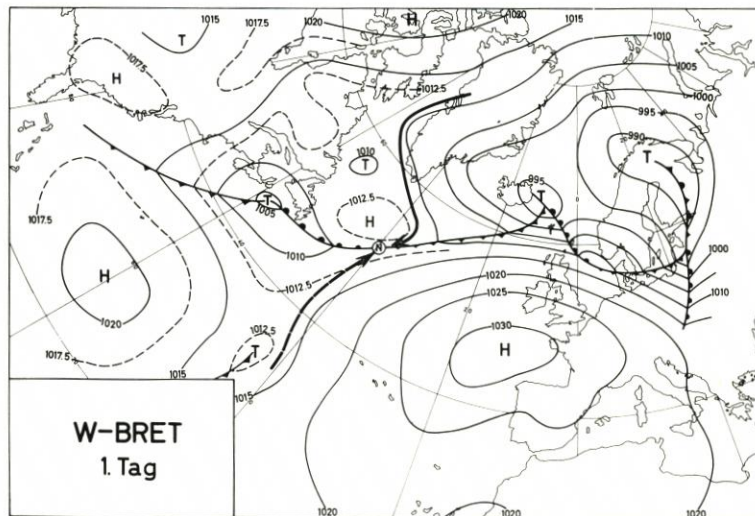


Abb. 63

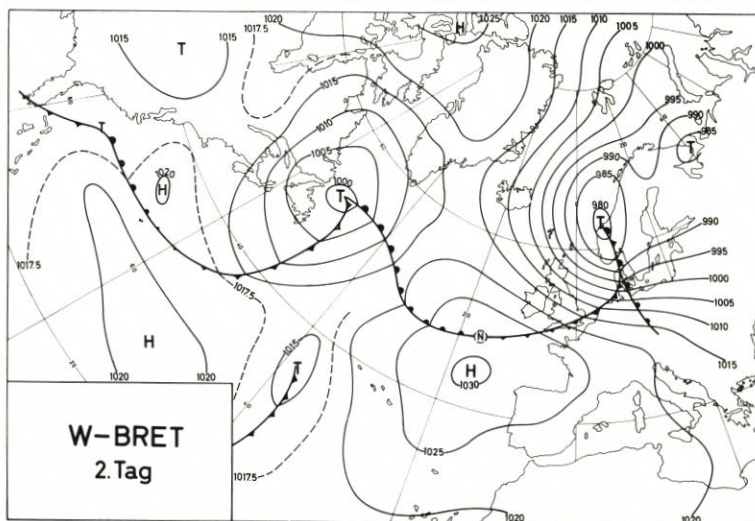


Abb. 64

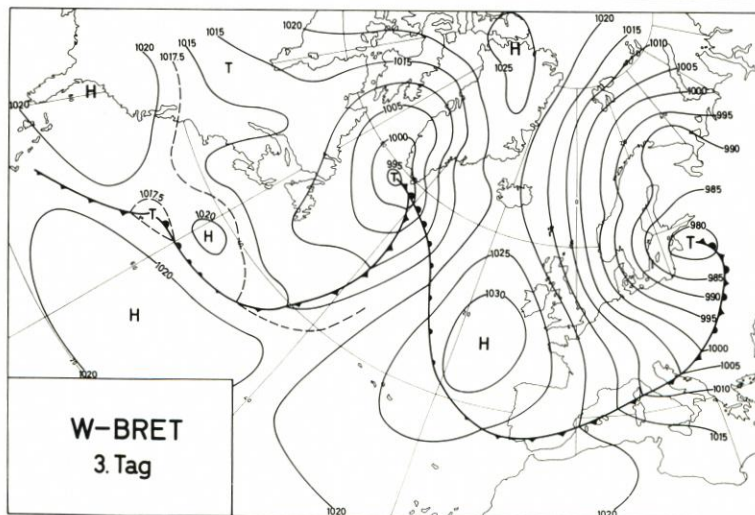


Abb. 65

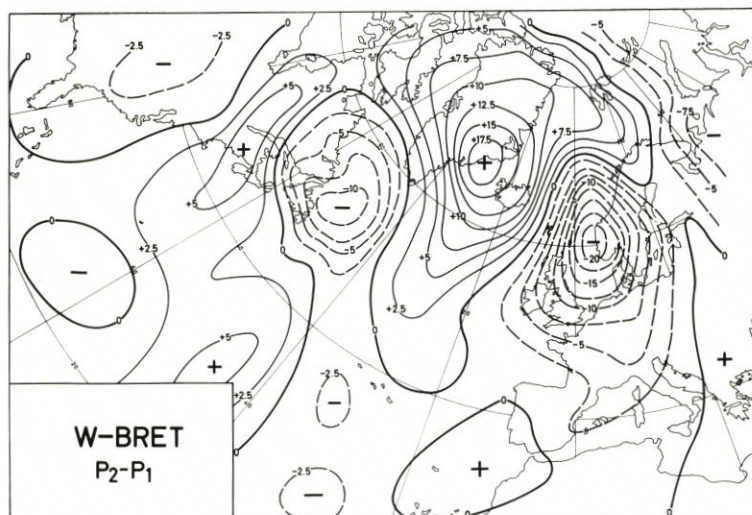


Abb. 66

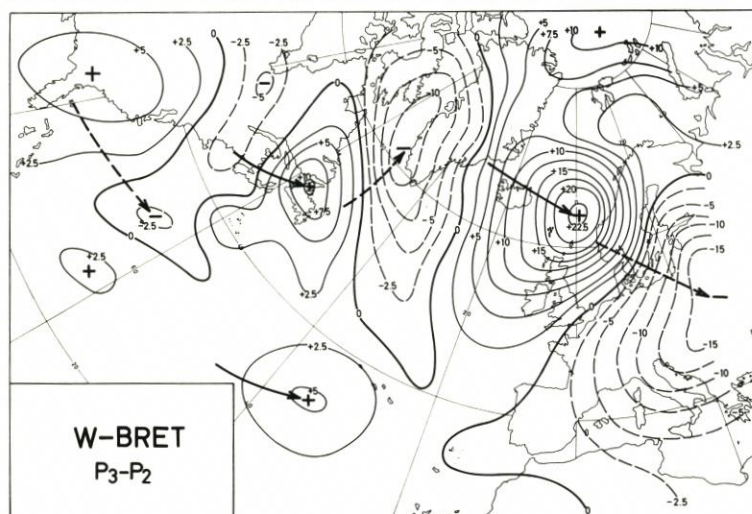


Abb. 67

Typ: Hoch westlich der Bretagne (W-BRET)

1. Tag: Warmes Hoch 1032 mb bei 47°N, 12°W, umströmt von Tropikluft vom Azoreng Gebiet bis Mittelnorwegen. Kaltes „Gegenhoch“ nur schwach ausgeprägt (1013 mb) östlich Neufundland. Älteres Haupttieft unter 990 mb Nordskandinavien — Finnland. Frontalzone Tropikluft — Polarluft von südlicher Ostsee bis Seegebiet vor Nordamerika. Daran neutraler Punkt bei 51°N, 40°W und Warmsektor-Tieft 994 mb „stromabwärts“ bei 64°N, 10°W. Weitere Frontalzklone 1005 mb südlich Neufundland.

2. Tag: Aus der Warmsektor-Zyklone östlich Island ist Sturmtief 978 mb bei 62,5°N, 7°E entstanden. Seit Vortag Verlagerung nach EzS mit 19 kn. Okklusion im Gange, Kaltfront erreicht Deutsche Bucht. Starkes Druckgefälle auf Tief-Rückseite bis Ostgrönlandsee. Neutraler Punkt auflösend bei 48°N, 17°W. Neufundland-Tief verstärkend NNE ziehend.

3. Tag: Okkludiertes Sturmtief 978 mb mit 28 kn Geschwindigkeit nach ESE verlagert, jetzt schon bei 57°N, 27°E. Hoch südwestlich Irland verstärkt. Breite, stürmische Polarluftströmung aus NW über Nordmeer und Nordsee.

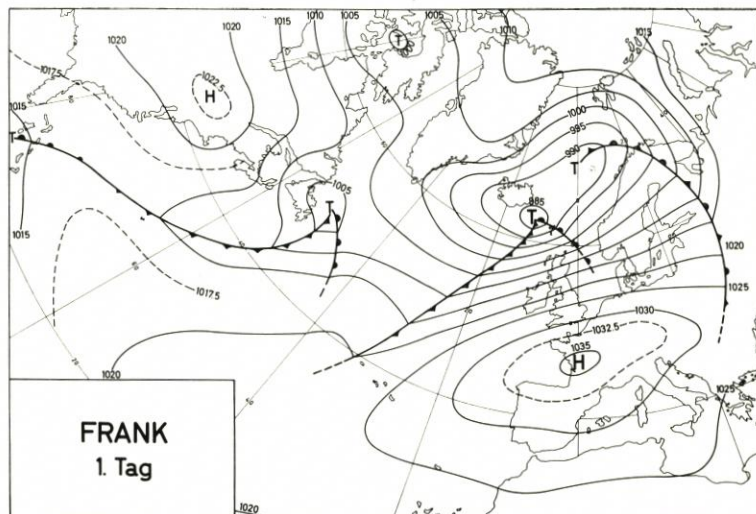


Abb. 68

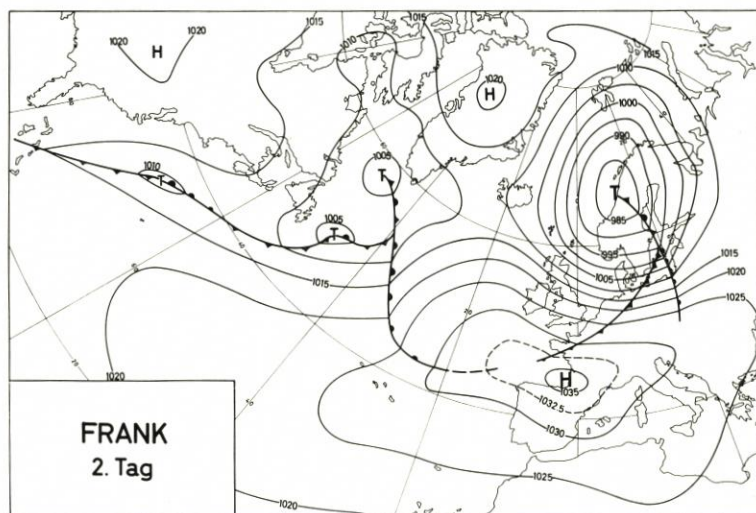


Abb. 69

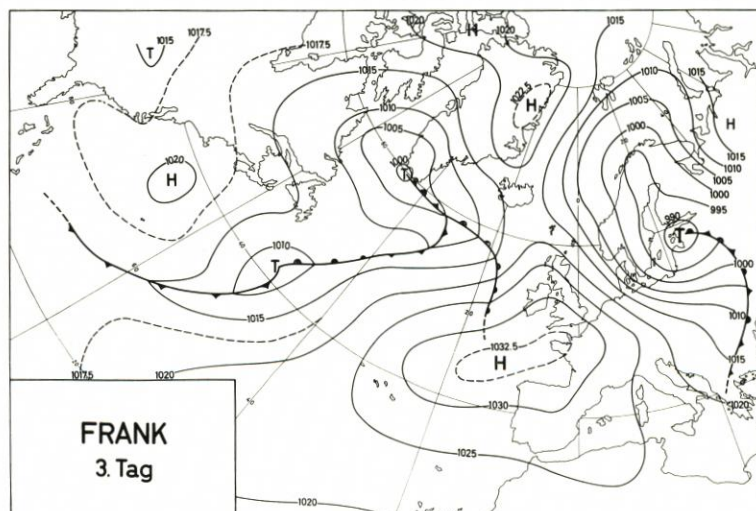


Abb. 70

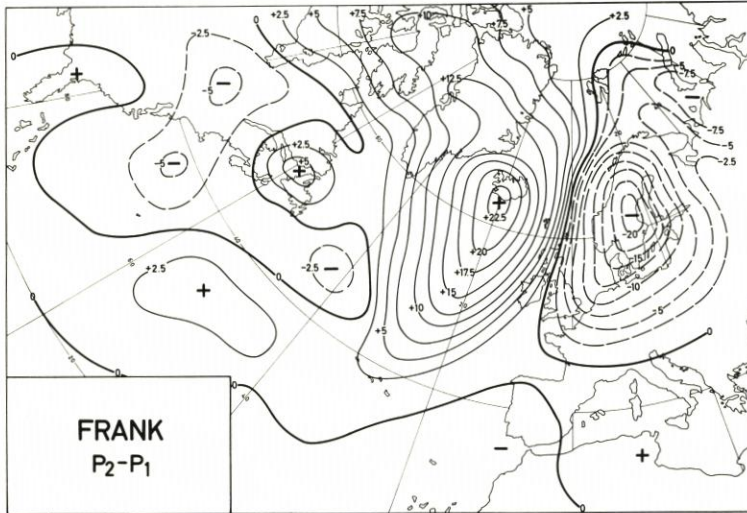


Abb. 71

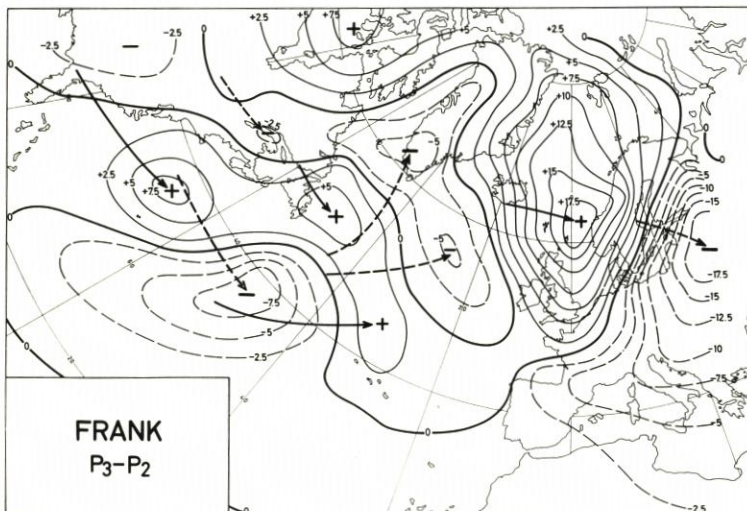


Abb. 72

Typ: Hoch über Frankreich (FRANK)

1. Tag: Warmes Hoch 1036 mb bei 46,5° N, 0,5° E. Okkludiertem Nordmeer-Tief 987 mb gliedert sich Warmsektor-Tief 983 mb auf 62,5° N, 12° W an. SW-Sturm im Warmsektor.

2. Tag: Okkludierendes Sturmtief 982 mb bei 66° N, 12° E. Verlagerung seit Vortag mit 27 Knoten nach ENE. Kaltfront hat Deutsche Bucht passiert. Über der Nordsee Gradient für rechtsdrehenden Weststurm. Starke Hochdruckkeil-Entwicklung westlich Irland. Auch Grönland-Hoch entstanden: Verstärkung der Polarluft-Strömung aus Norden.

3. Tag: Sturmtief auf 988 mb abgeschwächt, nach 59° N, 24° E verlagert. Wanderung seit Vortag mit 22 kn südostwärts. Gradient für NW-Sturm in östlicher Nordsee. Starker Hochdruckkeil 1030 mb nun über Irischer See.

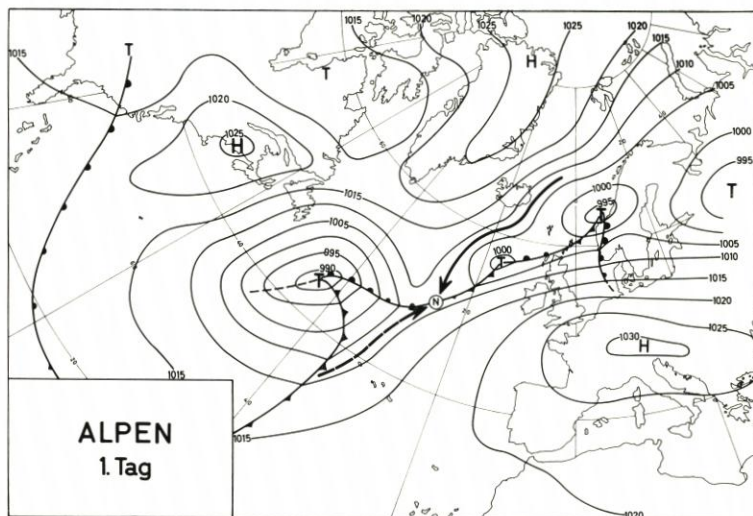


Abb. 73

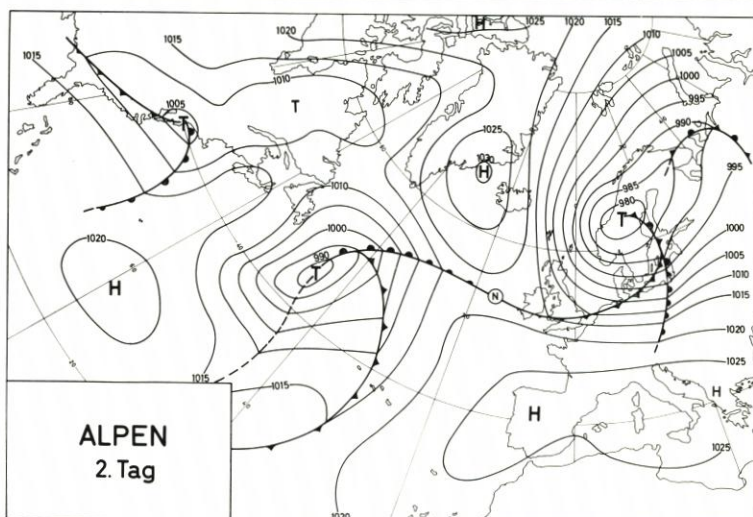


Abb. 74

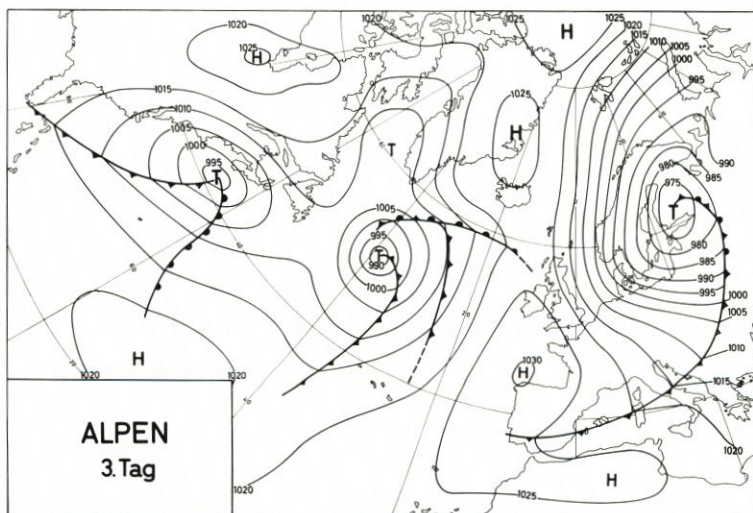


Abb. 75

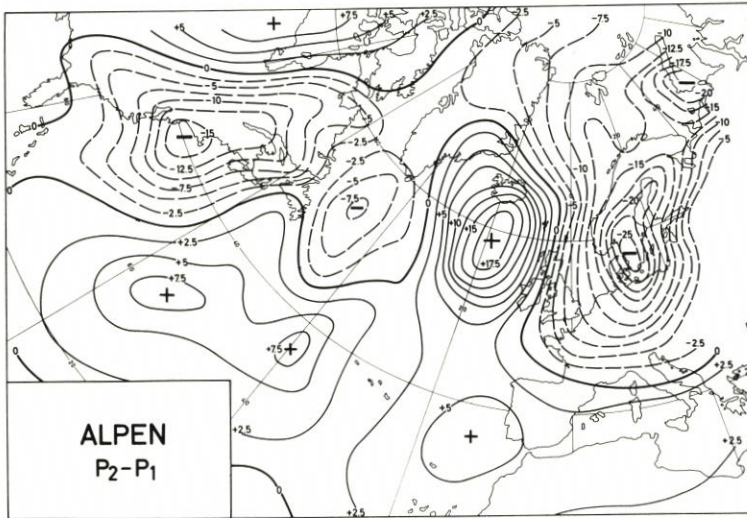


Abb. 76

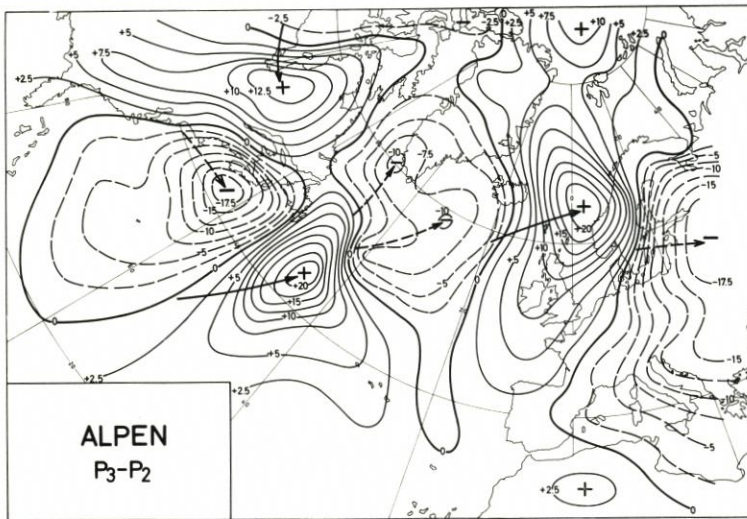


Abb. 77

Typ: Hoch Alpengebiet (ALPEN)

1. Tag: Warmes Hoch 1031 mb bei 47°N, 12°E, auf der West- und Nordwestflanke umströmt von Tropikluft. Kaltes Hoch über 1025 mb Grönland. Tiefsystem mit mehreren Zentren Nordrußland bis westlich Schottland. Haupttief 990 mb zwischen Azoren und Neufundland. Neutraler Punkt bei 50°N, 25,5°W: Treffpunkt von Tropikluft aus SSW und nordeuropäischer Polarluft aus NNE. „Stromabwärts“ junges Warmsektor-Tief 999 mb bei 56,5°N, 16,5°W.

2. Tag: Aus der Warmsektor-Zyklone ist Sturmtief 978 mb bei 63°N, 12°E hervorgegangen, dessen Kaltfront die Deutsche Bucht passiert hat. Okklusion im Gange. NE-Wanderung des Tiefs seit Vortag mit 39 Knoten. Sturm-Gradient auf Rückseite verschärft durch Verstärkung des Hochs westlich Island. Neutraler Punkt deutlich bei 52,5°N, 15,5°W.

3. Tag: Okkludiertes Sturmtief noch vertieft (973 mb) nach Finnland gezogen (um 61°N, 26°E). Ostwanderung seit Vortag mit 17 kn. Stürmische, polare Nordströmung über Nordmeer, umbiegend in NW über der Nordsee.

8. Die Entwicklung von Wetterlagen mit schwerer Sturmflut

Die Entstehungsgeschichte der Sturmflut-Wetterlagen von Mitte Februar 1962 wurde in dieser Schriftenreihe bereits ausführlich behandelt (4). Die Sturmflut vom 12. 2. 62 brachte Husum einen Hochwasserstand von 885 cm, die vom 16. 2. 62 den säkularen Höchststand von 1021 cm. Die Ausgangswetterlage über dem Nordatlantik war in beiden Fällen recht ähnlich, und deshalb schien der Versuch angezeigt, sie mit ähnlichen Lagen vor schweren Sturmfluten zusammenzufassen, ohne aber die Kernlage des Azorenhochs zum ausschlaggebenden Kennzeichen zu machen.

In der folgenden Tabelle 5 sind die 10 Sturmfluten aufgeführt, deren Wetterlagen zu Mittelkarten (nach dem gleichen Verfahren wie die in Abschnitt 6. beschriebenen) verarbeitet wurden. Es sind zwar nicht alle besonders hohe Sturmfluten, aber die drei höchsten des Zeitraums (16. Febr. 1916, 27. Okt. 1936, 16. Febr. 1962) sind darunter, und bei anderen ist die Doppelflut bemerkenswert, die auf längere Sturmdauer hinweist. Mit diesen 10 Sturmfluten ist ein Drittel der Fälle erfaßt, die in Husum einen Hochwasserstand von mindestens 885 cm brachten. Jedenfalls läßt sich dies Wetterlagenmuster abkürzend als „Typ GEFAHR“ bezeichnen — ohne daß damit gesagt werden soll, daß nicht auch andere Großwetterlagen zu einer gefährlichen Entwicklung führen können.

Tabelle 5

Verzeichnis der 10 Sturmfluten, deren Wetterlagen und Vor-Wetterlagen zu einem „Typ GEFAHR“ gemittelt wurden

	Datum	Uhrzeit	Husum	Lagetyt
			Höhe (cm)	
1.	6. November 1911	01.40	957	S-AZ
		13.20	889	
2.	16. Februar 1916	23.45	1001	E-AZ
3.	24. November 1928	09.58	907	E-AZ
4.	27. Oktober 1936	11.35	975	AZOREN
		21.53	869	
5.	1. Dezember 1936	03.10	895	W-BISK
		15.17	910	
6.	16. Januar 1954	09.45	911	E-AZ
		23.16	892	
7.	22. Dezember 1954	10.52	892	W-BRET
8.	23. Dezember 1954	14.42	893	W-BRET
	24. Dezember 1954	00.18	803	
9.	12. Februar 1962	19.01	885	W-BISK
10.	16. Februar 1962	11.49	864	W-BISK
		23.38	1021	
	17. Februar 1962	11.52	840	

In der letzten Spalte der Tabelle 5 ist der Lagetyt des Azorenhochs in der Ausgangswetterlage angegeben. Nur der erste Fall gehört dem südlichen Lagetyt an (30° N), vier Fälle zeigen den Kern des Azorenhochs nahe der Inselgruppe ($37-41^{\circ}$ N), fünf Fälle weit nordwärts verschoben ($45-48^{\circ}$ N) — alle zehn Fälle weisen ein stark entwickeltes Hoch auf (Kern 1032—1047 mb).

Mit den folgenden mittleren Wetterkarten und Druckänderungskarten wird die Entwicklung zur Sturmflut-Wetterlage veranschaulicht.

Abb. 78

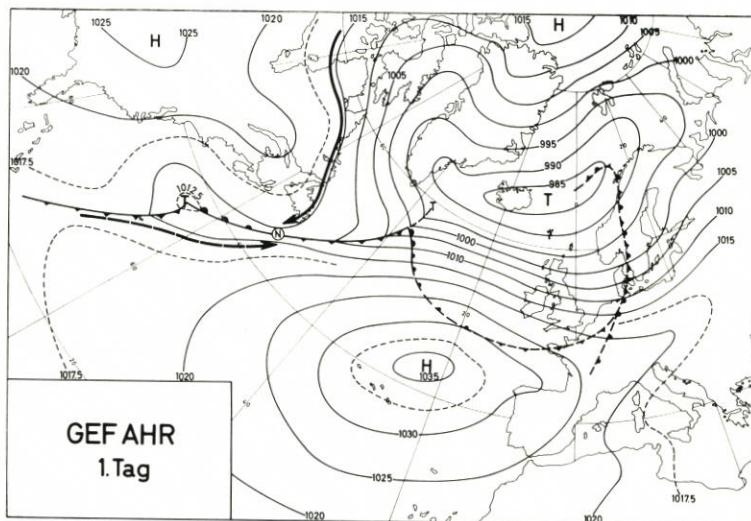


Abb. 79

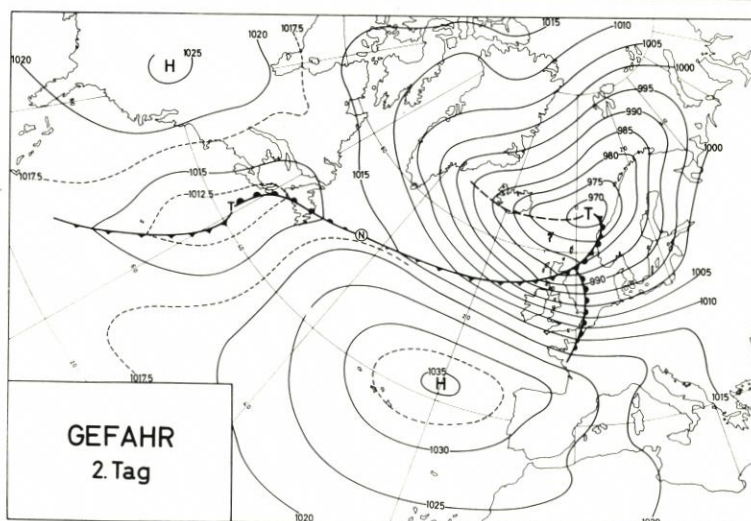
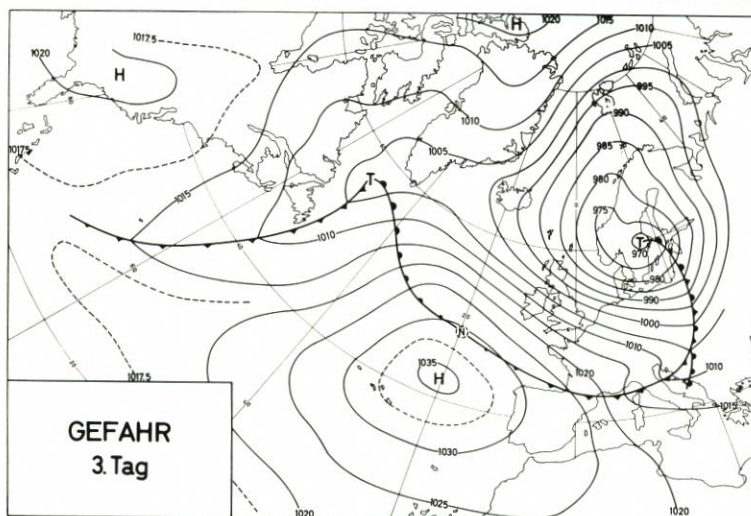


Abb. 80



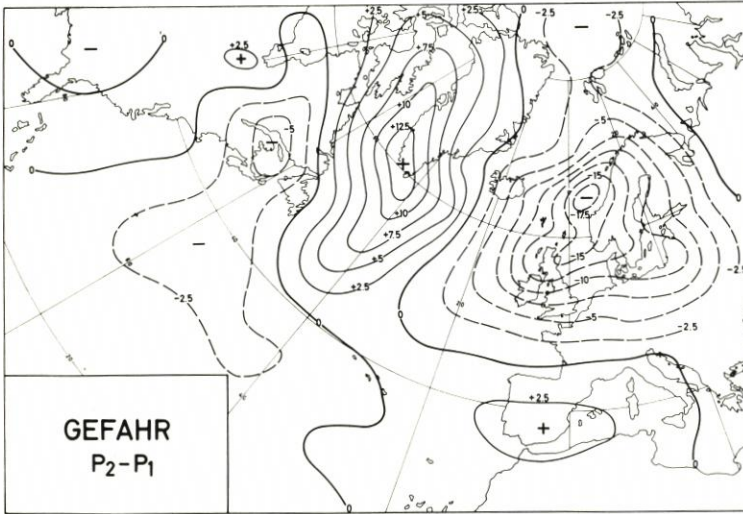


Abb. 81

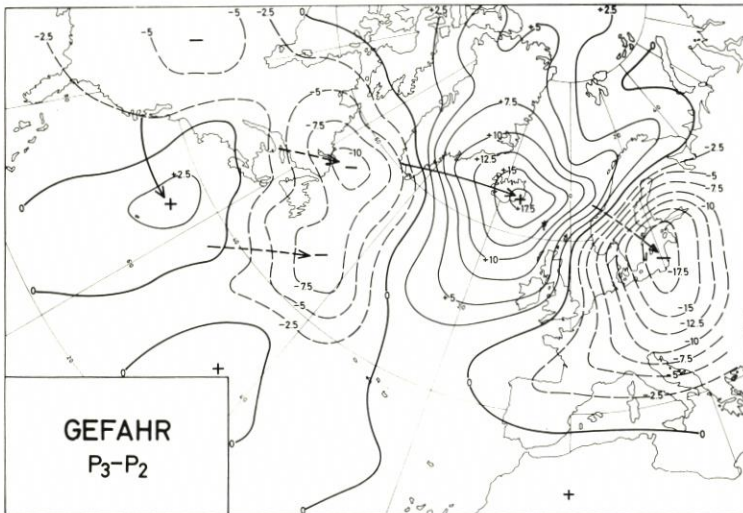


Abb. 82

Muster: Schwere Sturmfluten (GEFAHR)

1. Tag: Warmes Hoch 1037 mb auf 42° N, 23° W, umströmt von Tropikluft. Kaltes Hoch 1025 mb südlich der Großen Seen, umströmt von kanadischer Polarluft. Kaltes Zentraltief 985 mb Nordmeer — Island mit Okklusions-Ausläufer Dänemark. Polare W-Strömung Nordsee — Nordostatlantik. An Frontalzone Tropikluft-Polarluft neutraler Punkt bei 44° N, 53° W. „Stromabwärts“ Warmsektor-Störung mit Tief-Neubildung 994 mb bei 59° N, 37° W.

2. Tag: Okkludierendes Sturmtief 968 mb bei 64,5° N, 4° E aus Warmsektor-Störung hervorgegangen. Verlagerung seit Vortag nach ENE mit 43 Knoten. Neutraler Punkt bei 51,5° N, 44° W noch erhalten.

3. Tag: Sturmtief etwa gleichbleibend (969 mb) jetzt auf 60° N, 15,5° E. Verlagerung seit Vortag nach ESE mit 16 Knoten. Okklusionsfront hat südöstliche Ostsee überquert. Gradient für WNW-Sturm über mittlerer und südlicher Nordsee. Neutraler Punkt auflösend bei 48° N, 20° W.

9. Einige Grundzüge der „Vorbereitung“ sturmfluterzeugender Nordsee-Stürme

Wenn sich die Ausgangs-Wetterlagen nach der Lage des Azorenhochs typisieren ließen, so werden doch die Sturmflut-Wetterlagen selbst in erster Linie durch das entsprechende Sturmtief bestimmt. Es erhebt sich also die Frage, ob die in Abschnitt 7 und 8 veranschaulichten Entwicklungen von Lagetypen besondere Gemeinsamkeiten im zyklonalen Geschehen erkennen lassen.

Für die Ausgangslage — zwei Tage vor der Sturmflutlage — ist zunächst kennzeichnend, daß in fast allen Fällen ein recht kräftiges Nordmeer-Tief vorhanden ist mit einem Zentrum von 980, 985 oder 990 mb. Das Tiefzentrum kann zwar ein Stück westwärts oder ostwärts verschoben sein, im Seegebiet vor den Färöer oder über dem nordeuropäischen Festlande liegen, aber der „Liegeplatz Nordmeer“ dominiert. Den Sätzen [1] und [2] über das Azorenhoch läßt sich also hinzufügen:

- [3] *Ein kräftiges nordeuropäisches Tief, dessen Zentrum vorzugsweise über dem Nordmeer liegt, begünstigt (als „Vor-Tief“) das Wirksamwerden des sturmfluterzeugenden Tiefs etwa zwei Tage später.*

Die Rolle dieses Tiefs ist ziemlich klar die eines „Bahnbrechers“. Es handelt sich gewöhnlich um ein ganz oder weitgehend okkludiertes Tiefdruckgebiet, um dessen Südseite maritime Polarluft strömt, welche die Nordsee und teilweise die Ostsee, in manchen Fällen auch schon Mitteleuropa bis zu den Alpen oder dem Mittelmeer in Besitz genommen hat.

Dadurch wird — so kann man schließen — eine kräftige Höhenströmung aus etwa WNW über Westeuropa und der Nordsee ins Leben gerufen, wenn um das starke Azorenhoch maritime Tropikluft fließt oder abermals von Westen her gegen die Britischen Inseln vordringt. Mit dieser westnordwestlichen Höhenströmung über der Nordsee ist die Bahn frei für das Hereinkommen des neuen, sturmfluterzeugenden Tiefs auf der Südseite des „alten“ Nordmeer-Tiefs.

Was nun das „neue“ Tief betrifft, das zu der Sturmflut führt, so handelt es sich in der Tat gewöhnlich um eine junge Frontalzyklone. Die Luftdruckwelle — das System von Druckfall und Druckanstieg — mag zwar manchmal älteren Datums sein und schon über Nordamerika bestanden haben. Aber diese weitere Vorgeschichte ist unerheblich verglichen damit, wie die „Störung“ sich im nordatlantischen Druck- und Strömungsfelde zwei Tage vor der Sturmflut ausnimmt. Und hier kann man feststellen:

- [4] *Ein junges Warmsektor-Tief, manchmal noch ohne geschlossene Isobare, mit scharfer Kaltfront, doch möglicherweise verwaschener Warmfront, ist in der Regel etwa zwei Tage vor der Sturmflut-Wetterlage in der Nordsee über dem Nordatlantik feststellbar. Aus ihm entwickelt sich binnen 24 Stunden der Sturmwirbel, der am Folgetage die Sturmflut auslöst.*

Die geographische Lage dieser Frontalstörung ist von Fall zu Fall ziemlich unterschiedlich. Schon die wechselnde Lage, Stärke und Ausdehnung des Azorenhochs (vgl. Abb. 1) ist für die Schwankungsbreite mitverantwortlich, indem sie eine verschiedene Lage der randlichen Frontalzone zwischen Tropikluft und Polarluft bedingt — und damit auch eine Verschiedenheit des möglichen Ansatzpunktes einer Störung. Letztlich kommen aber auch künstliche Differenzen ins Spiel infolge unpassender Kartentermine (vgl. Abschnitt 4): Wird sich doch ein Tief bei 30 Knoten Wandergeschwindigkeit um 720 sm (über 1300 km) in 24 Stunden verlagern, so daß die Wahl „zu früher“ oder „zu später“ Wetterkarten erhebliche Verschiebungen hervorrufen kann.

Der überwiegenden NO-Verschiebung und Verstärkung des Azorenhochs entsprechend, sind es — in der „Ausgangslage“ — größtenteils recht weit nördlich ansetzende Frontalstörungen, die für die Nordsee gefährlich werden. Man kann sagen:

- [5] *Der nordatlantische Seeraum zwischen etwa 50° und 65° N, 10° und 40° W ist das hauptsächlichliche Herdgebiet der — 1 bis 2 Tage später — sturmfluterzeugenden Tiefdruckwirbel.*

Der neutrale Punkt in einem Vierer-Druckfeld, wie er in der Monographie (4) als maßgeblich für die Zyklonenvertiefungen in der zweiten Februar-Dekade 1962 aufgezeigt werden konnte, ist auch bei der Mehrzahl der Lagetypen zu erkennen (obwohl die Mittelbildung vielleicht eine Tendenz zur Verwischung von „Singularitäten“ des Druck- und Strömungsfeldes mit sich bringt). Faßt man jene 8 (von den 15) Ausgangslagen zusammen, in denen die Lage des neutralen Punktes nicht mehr als zwischen 35° und 50° W streut, so ergibt sich hierfür als seine mittlere Lage 45,3° N, 44,2° W. Die zugehörige mittlere Lage der zyklonalen Störung war 57,6° N, 19,4° W, das heißt etwa 12° weiter nördlich und 25° weiter östlich: „stromabwärts“ vom neutralen Punkt, wenn man die Höhenströmung ins Auge faßt. Es mag angemerkt sein, daß in einem charakteristischen Einzelfalle, dem von R. SCHERHAG behandelten „Elbe-1-Orkan“ (6) (1, Abbildung 112), die Ausgangslage fast genau die obige mittlere Positionszuordnung von neutralem Punkt und zyklonaler Störung zeigt.

Aber der neutrale Punkt kann auch noch weiter entfernt liegen. Zum Beispiel ergibt er sich beim Lagetyp GEFAHR (mit sehr stark entwickeltem Azorenhoch) im Mittel bei etwa 44° N, 53° W. Die zyklonale Störung erscheint hier in entsprechend westlicher Position, bei etwa 59° N, 37° W.

Liegt dagegen das die Ausgangslage kennzeichnende Hoch über dem europäischen Festlande, so wird auch der neutrale Punkt über dem Nordatlantik — wenn vorhanden — relativ weit im Osten liegen. Beim Typ ALPEN ist er auf 50° N, 26° W angedeutet. In dem (hier nicht in die Behandlung eingeschlossenen) Einzelfalle der niederländischen Säkularflut vom 31. Januar bis 1. Februar 1953 gehörte die Ausgangslage dem Typ FRANK an (am 29. Januar Hoch 1030 mb in 46° N, 1° Ost); der neutrale Punkt prägte sich am 29. auf 52° N, 28° W, am 30. auf 47° N, 20° W aus (3).

Obwohl der neutrale Punkt offenbar kein notwendiges Kennzeichen der Ausgangslage ist, läßt sich doch sagen:

- [6] *Ein Vierer-Druckfeld mit neutralem Punkt tritt vorzugsweise — als zyklonenetische Singularität — vor Sturmflut-Wetterlagen auf. Zwei Tage vor der Sturmflut befindet sich der neutrale Punkt meist im Seegebiet östlich bis südöstlich Neufundland.*

Die zyklonenetische Wirksamkeit dieses besonderen Stromfeldes ist in der früheren Studie (4) bereits dargestellt: Im „Delta“ der um den neutralen Punkt verschärften Frontalzone kommt es zu dem sehr starken Luftdruckfall, der — aus einem Warmsektor-Tief — das Sturmtief entstehen läßt. Nach Abschnitt 7 gilt für die Warmsektor-Zyklonen, die hier zum Sturmtief werden:

- [7] *Die sturmflutbringenden Tiefdruckwirbel sind in fast allen Fällen okkludierende oder unlängst okkludierte Zyklonen.*

Der Okklusionsvorgang — die Vernichtung des Warmsektors — spielt sich bei ihnen in der Regel über der Nordsee oder in ihrer Nachbarschaft ab. Ein vorzeitiges Okkludieren (über dem Nordatlantik) oder ein verspätetes (im baltisch-skandinavischen Bereich) mindern die Aussichten auf eine Sturmflut-Wetterlage in der Nordsee.

10. Das durchschnittliche Verhalten der Sturmwirbel

Im Durchschnitt der 15 behandelten Entwicklungen von Lagetypen (Abschnitt 7) ergibt sich, daß sich das sturmflutbringende Tief vom ersten zum zweiten Tag

von 994 auf 979 mb, also um 15 mb

vertieft, während es vom zweiten zum dritten Tag seine Intensität nur noch wenig ändert,

von 979,1 auf 978,6 mb = -0,5 mb.

Der hierbei ausgeklammerte Typ GEFAHR (Abschnitt 8) zeigt ein ähnliches, nur schärferes Bild: Entwicklung vom ersten zum zweiten Tag

von 994 auf 968 mb = -26 mb,

vom zweiten zum dritten Tag praktisch gleichbleibend

von 968 auf 969 mb = +1 mb.

Die 15 Typ-Entwicklungen zeigen alle — mehr oder minder — dies Verhalten des Tiefs. Dabei folgt im Durchschnitt:

bei 4 Fällen leichter Vertiefung

auf eine Änderung von -5 mb eine von -0 mb

bei 7 Fällen mäßiger Vertiefung

auf eine Änderung von -16 mb eine von -1 mb

bei 4 Fällen starker Vertiefung

auf eine Änderung von -25 mb eine von +0 mb.

Was die Wanderung des Tiefs betrifft, so ergibt sich im Durchschnitt der 15 Typ-Entwicklungen vom ersten zum zweiten Tag

eine Verlagerung nach Ostnordost mit 32 Knoten,

vom zweiten zum dritten Tag

eine Verlagerung nach Ost mit 19 Knoten.

Auf eine vektorielle Mittelbildung wurde bei Berechnung dieser Werte verzichtet, da es hier nur auf die „Tendenz“ ankommt. Diese Tendenz zeigt sich bei dem (wiederum ausgeklammerten) Typ GEFAHR noch deutlicher, indem vom ersten zum zweiten Tag

eine Verlagerung des Tiefs nach ENE mit 43 Knoten,

vom zweiten zum dritten Tag

eine Verlagerung nach ESE mit 16 Knoten

erfolgt. Die Änderung der Verlagerungsgeschwindigkeit bei den 15 Typ-Entwicklungen läßt sich dabei wie folgt aufgliedern:

(a) starker Fahrtverlust 9 Fälle, mittl. Änderung
35 auf 15 kn

(b) leichter Fahrtverlust 4 Fälle, mittl. Änderung
30 auf 26 kn

(c) Gleichbleiben oder Fahrtzunahme
2 Fälle, mittl. Änderung
17 auf 22 kn.

Was die Änderung der Verlagerungsrichtung betrifft, so ergibt sich

(a) eine Rechtsschwenkung in 10 Fällen,
im Mittel von ENE auf ESE

(b) ein Gleichbleiben in 4 Fällen,
im Mittel EzN

(c) geringe Linksschwenkung in 1 Fall,
von EzN auf ENE.

Hiernach lassen sich die beiden Sätze formulieren:

- [8] *Die hauptsächliche Vertiefungsphase der sturmfluterzeugenden Tiefdruckgebiete liegt vorzugsweise mehr als 12—24 Stunden vor der Sturmflut-Wetterlage.*
- [9] *Eine Bahnänderung des Sturmtiefs nach rechts mit gleichzeitiger Fahrtverminderung ist typisch für die Entstehung von Sturmflut-Wetterlagen.*

In Anbetracht dessen, daß hier nur Wetterkarten 24stündigen Abstands statistisch ausgewertet wurden, ist der Satz [8] zwar nur eine Annäherung und die Vertiefungsphase nicht genauer abgrenzbar, aber offensichtlich ist damit doch dem meteorologischen Prognostiker grundsätzlich eine bessere Chance zur Vorhersage von Sturmflut-Wetterlagen gegeben, als wenn die Vertiefung erst „vom zweiten zum dritten Tag“ stattfände.

Die (vorherrschende) Fahrtverminderung der Zyklonen ist typisch für solche mit fortschreitender Okklusion, während die Bahnänderung nach rechts dafür untypisch ist. Als „normal“ gilt vielmehr, daß ein okkludierendes Tief nach links von seiner bis dahin verfolgten Bahn abweicht. Wenn auch hier die Steuerung um das Azorenhoch bei der antizyklonalen Bahnkrümmung (nach rechts) mitspielt, so wird doch dieser „Rechtsdrall“ im Einzelfall oft nicht oder nicht genügend vorhergesehen. Die Ausnahmen von der Regel des Linksabweichens okkludierender Zyklonen verdienen ein besonderes Studium, da der Satz [9] sonst geeignet ist, die Vorhersagemöglichkeit von Sturmflut-Wetterlagen einzuschränken.

11. Das Verhalten der Sturmwirbel nach „individueller“ Mittelbildung

Auf die nivellierende Wirkung der Mittelbildung wurde bereits in Abschnitt 6 hingewiesen. Sie gilt natürlich vor allem für die lokale, weniger für die individuelle Mittelbildung, bei der die Stärke der Individuen (Hoch und Tief) ohne Rücksicht auf ihre Lage betrachtet und zusammengefaßt wird. Die letztere Methode, in Abschnitt 5 auf das Azorenhoch angewandt, ist zwar weniger streng und auf Felder nicht anwendbar, sie hat aber den Vorteil, daß ihre Ergebnisse der Wirklichkeit der Einzelfälle insofern näherkommen, als sie die mittlere Stärke der synoptischen Druckgebilde erfassen.

Es wurde deshalb die Intensität aller Einzelwirbel, die die Sturmflut-Wetterlagen der in Tabelle 4 gebrachten Fälle bestimmten, aus den Wetterkarten jeweils für den ersten, zweiten und dritten Tag entnommen. Die Werte wurden für jeden der 15 Lagetypen (gemäß Tabelle 4) gemittelt; danach wurden die Gesamtmittel für jeden Tag gebildet.

In Tabelle 6 sind die lokalen und die individuellen Mittel der Tiefzentren einander gegenübergestellt.

Tabelle 6

Die Intensität (in mb) des sturmflutbringenden Tiefs im Durchschnitt der 15 Entwicklungstypen aus lokaler (A) und individueller (B) Mittelbildung

	1. Tag	2. Tag	3. Tag
(A)	994,5 mb	979,1 mb	978,6 mb
(B)	989,9 mb	972,6 mb	972,3 mb
Diff. (B) — (A)	— 4,6 mb	— 6,5 mb	— 6,3 mb

Wie zu erwarten, liegen die „individuellen“ Mittelwerte tiefer, d. h. die synoptischen Sturmflut-Zyklonen liegen mit ihren Zentrumswerten näher an 970 als an 980 mb. Bei Gesamtmitteln von 972 bis 973 mb kommen natürlich Einzelwerte unter 960 mb vor. Schon

die (individuellen) Typpmittel schwanken am zweiten Tag zwischen 984 und 957 mb, am dritten Tag zwischen 987 und 955 mb.

Wesentlich ist, daß der Individual-Test das durchschnittliche Verhalten der Sturmwirbel bestätigt: starke Vertiefung vom ersten zum zweiten Tag, fast gleichbleibende Intensität vom zweiten Tag bis dritten Tag (Sturmflut-Wetterlage). Man kann das individuelle Mittelungsverfahren auch auf die Positionen des Tiefzentrums anwenden sowie auf seine Zugrichtung und Geschwindigkeit von Tag zu Tag. Die Abweichungen, die sich dabei gegen die „richtige“ lokale Mittelbildung ergeben, sind im Durchschnitt der 15 Entwicklungstypen sehr gering. Am dritten Tage, bei der Sturmflut-Wetterlage selbst, kommt für die mittlere Lage des Sturmzentrums nur $0,1^\circ$ Breitendifferenz und $0,0^\circ$ Längendifferenz heraus. Der größte Betrag ergibt sich für den ersten Tag, an dem die „individuellen“ Positionen im Durchschnitt $0,7^\circ$ nördlicher und $3,2^\circ$ westlicher liegen.

Der Individual-Test liefert für alle 15 Entwicklungstypen eine durchschnittliche Abnahme der Marschfahrt, vergleicht man die Geschwindigkeit vom zweiten zum dritten Tag mit der vom ersten zum zweiten Tag. Die Abnahme schwankt zwischen 2 und 21 Knoten;

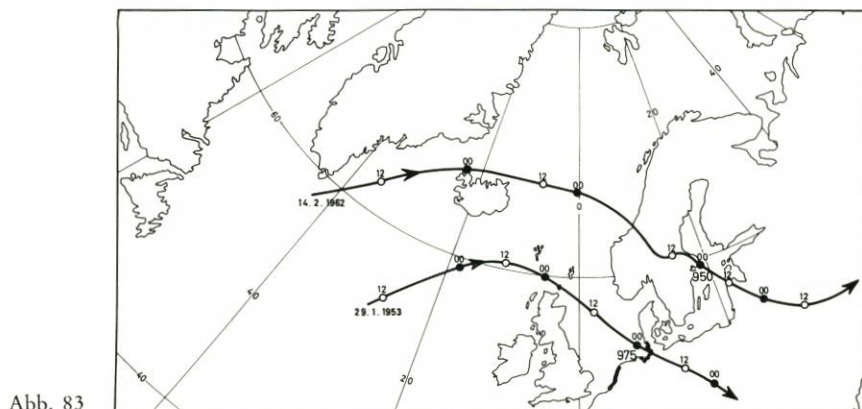


Abb. 83

sie ergibt sich im Mittel zu $33 - 22 = 11$ Knoten. (Aus lokaler Mittelbildung $32 - 19 = 13$ Knoten.) Bezüglich der Zugrichtung resultierte ein etwas größerer Einschlag von — im Durchschnitt geringen — Kursänderungen nach links; doch überwogen die Umbiegungen nach rechts sowohl an Zahl, im Verhältnis 10:5, wie dem Betrage nach (im Durchschnitt $20^\circ:15^\circ$). Im ganzen werden also die in Abschnitt 10 gebrachten Folgerungen bestätigt.

Um den gefährlichen Bahntyp von Sturmzyklonen zu veranschaulichen, brauchen wir nur — wie in Abbildung 83 geschehen — die Zugbahnen jener beiden zusammen darzustellen, die säkulare Sturmflutkatastrophen hervorriefen: des Sturmtiefs von Mitte Februar 1962 und des Sturmtiefs von Ende Januar 1953. Angegeben sind die Positionen des Tiefzentrums um 00 Uhr und 12 Uhr MGZ. Der 00-Uhr-Lage vom 17. Februar 1962 ist ein Zentraldruck des Tiefs von 950 mb unweit Stockholm und die nordwestdeutsche Flut zugehörig, der 00-Uhr-Lage vom 1. Februar 1953 ein Zentraldruck des Tiefs von 975 mb unweit Helgoland und die niederländische Flut. Man wird bemerken, daß die Zugbahnen der Sturmzyklonen in etwa einander parallel verlaufen, und zwar mit antizyklonaler Krümmung, nach rechts biegend. Vergleicht man die Etmale von 12 Uhr bis 12 Uhr oder die Halbtagstrecken, so ist die Fahrtverminderung nach der Umbiegung allerdings nur teilweise ausgeprägt.

H. PRÜGEL (2) stellte für die Sturmfluten an der Westküste Schleswig-Holsteins (1881 bis 1936) fest, daß die Zentren der verantwortlichen Sturmzyklonen den 8. Meridian östl. Länge

zwischen 55° und 65° Nordbreite überquerten. So gibt das Gebiet zwischen den beiden Zyklonenbahnen von Abbildung 83 etwa die Wanderzone der sturmfluterzeugenden Tiefdruckwirbel an. Bei der extrem südlichen Bahn von 1953 wurde nur noch der Südwestrand der Deutschen Bucht von der Sturmflut tangiert. Bei der sehr nördlichen Bahn von 1962 war die gesamte Küste der Deutschen Bucht stärkstens betroffen. Das Haupt-Sturmflutgebiet (in der Abbildung markiert) war 1953 nur etwa 340 km vom Tiefzentrum entfernt, 1962 dagegen etwa 880 km.

Nach PRÜGEL war der „Skagerrak-Typ“ von Zugbahnen bei den von ihm untersuchten Fällen weitaus am häufigsten (33 von 52). Das sind solche, bei denen das Tiefzentrum den 8. Ostmeridian in 57° bis 60° N passierte, etwa der Mitte der Wanderzone zwischen den beiden Bahnen von 1953 und 1962 entsprechend. Die Zugbahn nach Ostsüdost kann wohl als die gefährlichste angesprochen werden, wenn auch nach Ost bis Ostnordost gerichtete Bahnen von „Sturmflut-Zyklonen“ einen hohen Prozentsatz ausmachen.

12. Typische Einzelfälle der Entwicklung von Sturmflut-Wetterlagen

Vier Beispiele wenigstens mögen sich anschließen, um die Entwicklung von Sturmflut Wetterlagen im einzelnen durch synoptische Wetterkarten zu demonstrieren — als Ergänzung der ausgeglichenen mittleren Bilder.

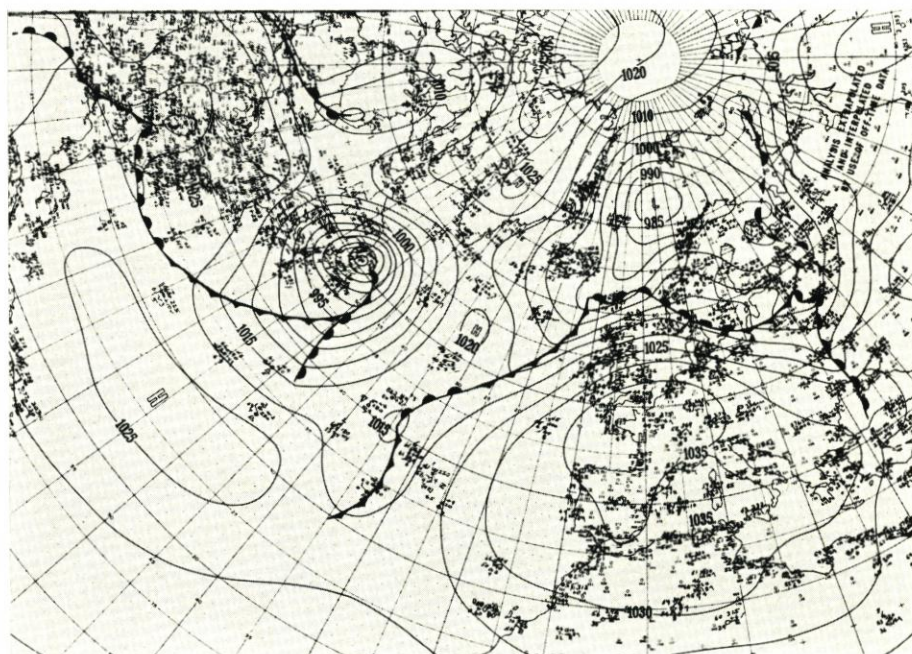


Abb. 84. Wetterlage vom 28. Februar 1945 mittags

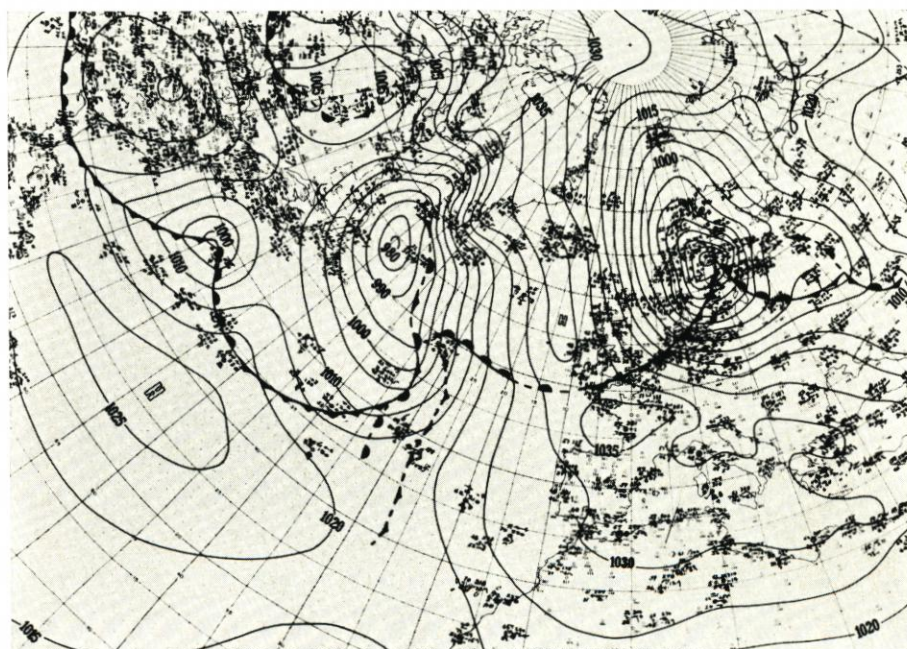


Abb. 85. Wetterlage vom 1. März 1945 mittags

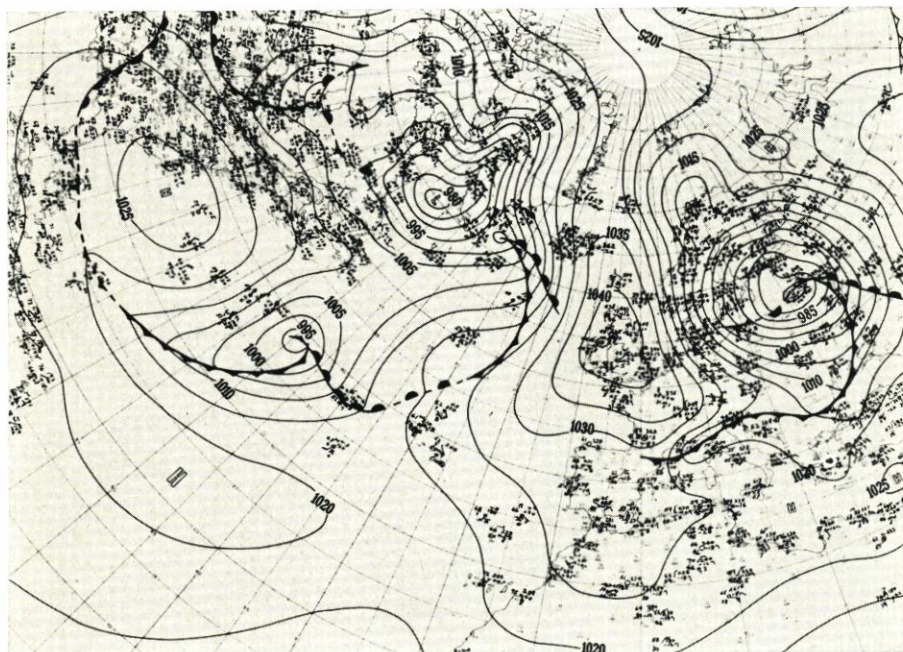


Abb. 86. Wetterlage vom 2. März 1945 mittags

Lagetyp FRANK

Beispiel: Sturmflut vom 2. März 1945, Husum 03.39 Uhr, 874 cm

Das steuernde Hoch, von maritimer Tropikluft umströmt, liegt am 28. II. 45 mit seinem Kern von 1038 mb über Frankreich. Ein neutraler Punkt befindet sich am Ausgangstage bei 48° N, 27° W. Die Wellenstörung (998 mb) nordostwärts davon, bei den Färöer, vertieft sich in 24 Std. zum Sturmwirbel von 965 mb, dabei Wanderung nach EzN mit 38 kn (900 sm). Dann scharfe Umbiegung nach SE — entgegen der „Warmsektor-Regel“ — mit Verlangsamung auf 25 kn (600 sm) vom zweiten zum dritten März.

Bemerkenswert die rasche Verstärkung des Rückseitenhochs von 1020 auf 1035 und (am 3. III.) 1043 mb sowie die Umstellung auf Meridional-Zirkulation. Konstellation am Ausgangstage und folgende Entwicklung erinnern an die Wetterlage vor der niederländischen Sturmflut vom 1. Februar 1953 (3), doch spielt sich im Falle von 1945 die gefährliche Entwicklung zu weit östlich ab, um eine extreme Sturmflut in der Deutschen Bucht hervorrufen zu können.

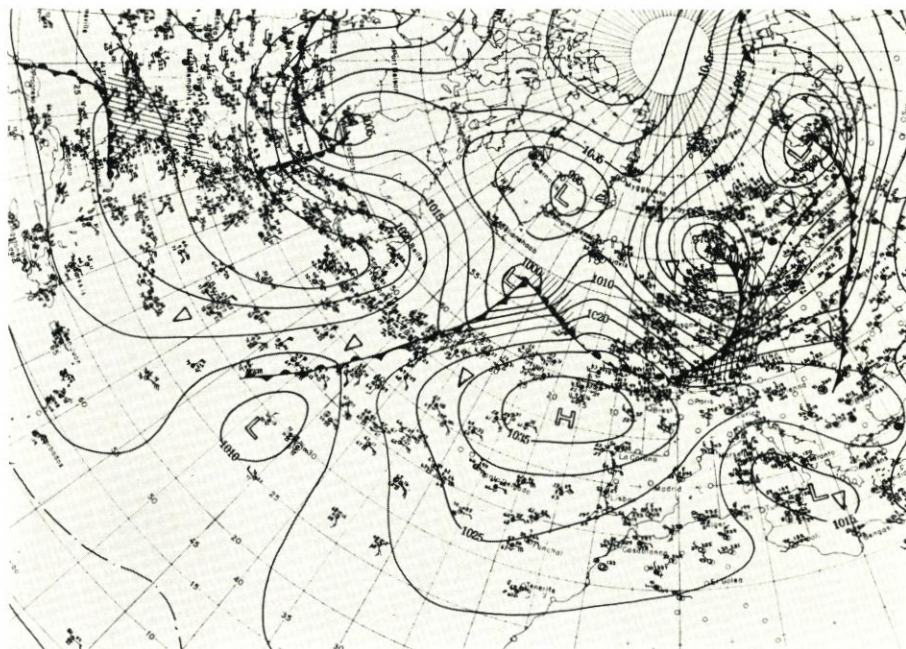


Abb. 87. Wetterlage vom 16. Dezember 1923 mittags

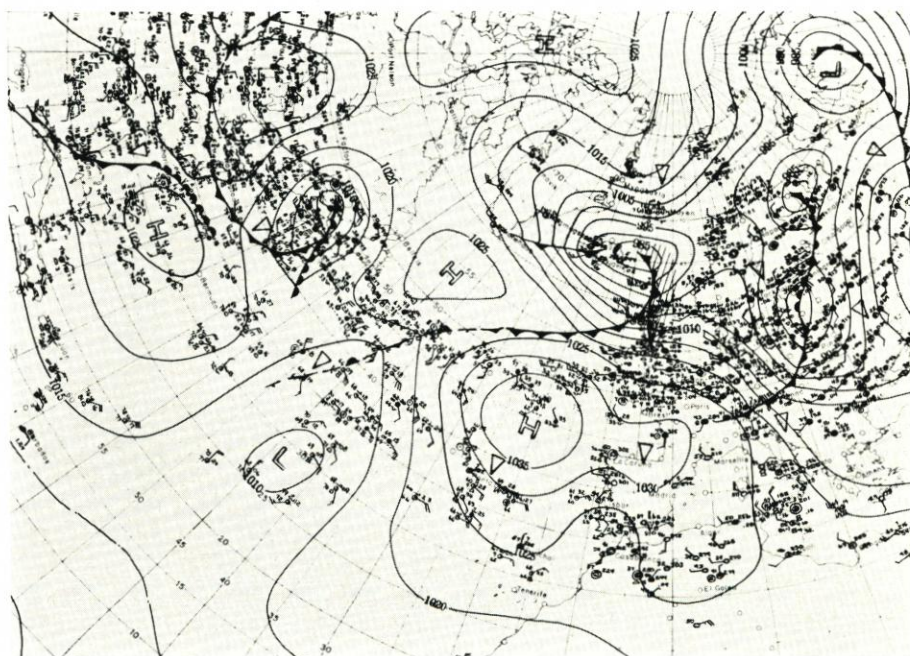


Abb. 88. Wetterlage vom 17. Dezember 1923 mittags

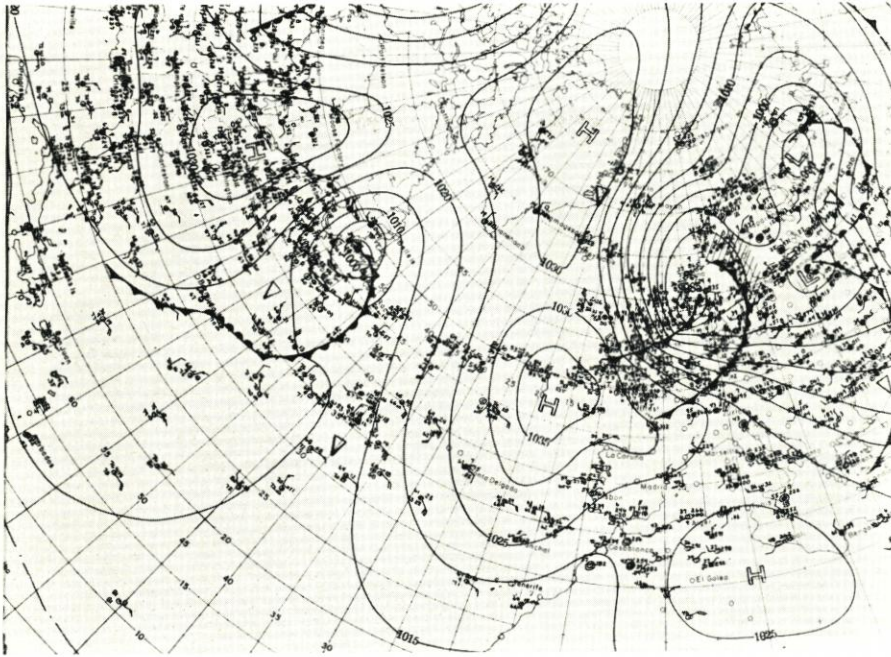


Abb. 89. Wetterlage vom 18. Dezember 1923 mittags

Lagetyp W-BRET

Beispiel: Sturmflut vom 18. Dezember 1923, Husum 23.20 Uhr, 895 cm

Das steuernde Warmluft-Hoch liegt mit seinem Kern von 1038 mb am 16. XII. 23 westlich der Bretagne. Es ist Partner des nordatlantischen Vierer-Druckfeldes, in dem der neutrale Punkt bei 43° N, 43° W ausgeprägt ist. Das Warmsektor-Tief (1000 mb) nordöstlich davon zieht zum 17. XII. mit 33 kn (800 sm) nach NE. Auf 985 mb vertieft, geht es von Ostisland aus auf SE-Kurs und verlagert sich bis 18. XII. mit 25 kn (600 sm) nach Südnorwegen.

Nachdrängendes und stärker werdendes Kaltluft-Hoch (Westisland 24stündiger Druckerhöhung von 990 auf 1030 mb) verschärft den Rückseiten-Gradienten des Sturmtiefs am 18. XII. Zum 19. XII. erfolgt allerdings wieder beschleunigte ESE-Verlagerung des Sturmtiefs (975 mb) nach ESE mit 33 kn (800 sm), die den Druckgradienten über der Nordsee abnehmen läßt und sturmflutmindernd wirkt.

(Anm.: Für die Typkarten [Mittel] W-BRET wurden aus Vergleichsgründen die Wetterkarten 17.—19. XII. 23 verwendet.)

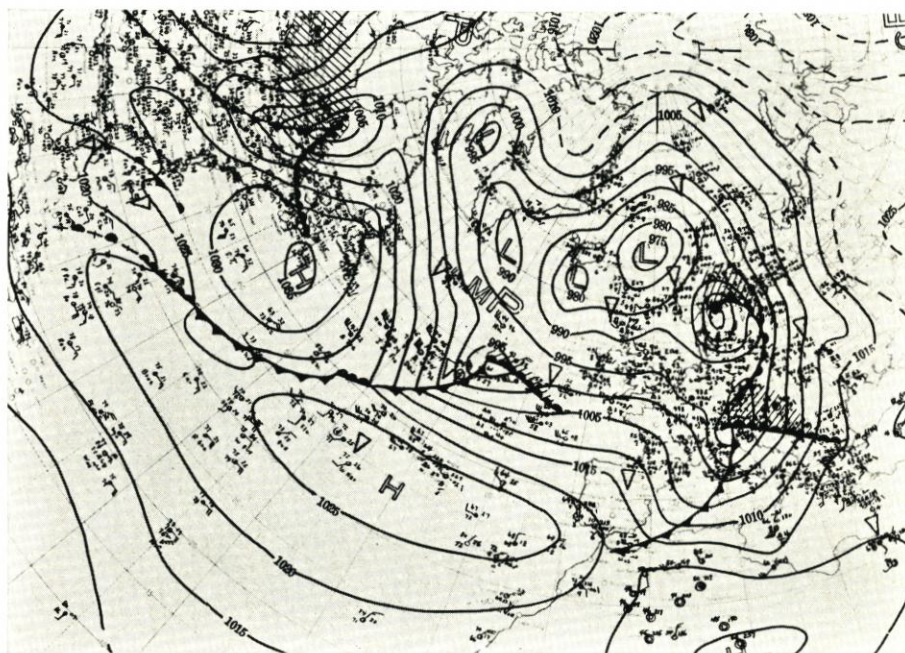


Abb. 90. Wetterlage vom 22. November 1938 mittags

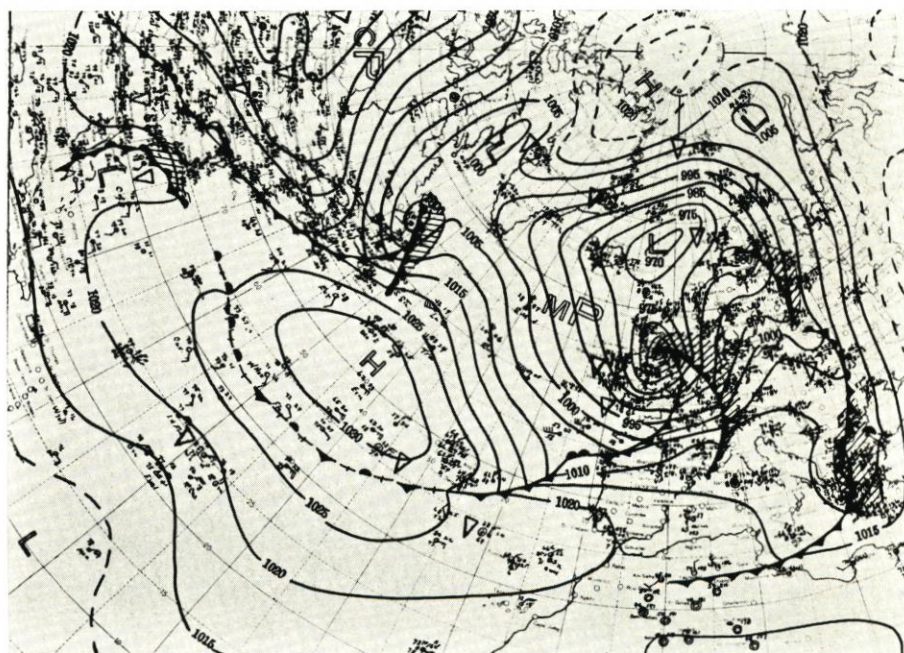


Abb. 91. Wetterlage vom 23. November 1938 mittags

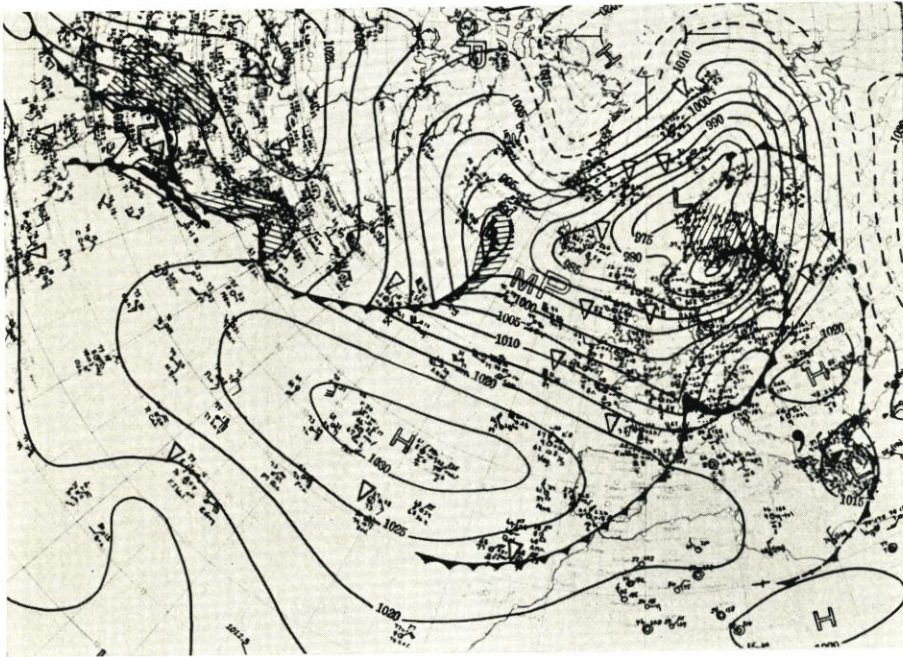


Abb. 92. Wetterlage vom 24. November 1938 mittags

Lagetyp S-AZ

Beispiel: Sturmflut vom 24. November 1938, Husum 01.54 Uhr, 970 cm

Bei fast normaler Lage des Azorenhochs — mit einem Kern von etwa 1028 mb um 34° N, 30° W — am 22. XI. 38 zeigt sich ein junges Warmsektor-Tief von 995 mb bei 50° N, 28° W. Am nächsten Tag erreicht es, zum Sturmwirbel von 960 mb vertieft, Nordengland, wo die Okklusion und Bildung eines „Trog“ beginnt. Die ENE-Wanderung mit 42 kn (1020 sm) geht zum 24. XI. in NE-Verlagerung von 29 kn (700 sm) über.

Die Sturmflut-Wetterlage tritt zwischen den Terminen der beiden letzten Karten ein (Hochwasser 01.54 Uhr), als das Sturmtief Südnorwegen passiert. Der Beginn der Frontalstörung (1010 mb) lag am 21. XI. südöstlich Neufundland; von dort ENE-Verlagerung mit 45 kn (1080 sm). Am 22. XI. ist an der Polarfront zwischen Azorenhoch und kaltem Hoch südlich Neufundland ein neutraler Punkt bei 37° N, 47° W angedeutet. Eine starke NW-Strömung von der Labrador-See faßt hinter das Warmsektor-Tief.

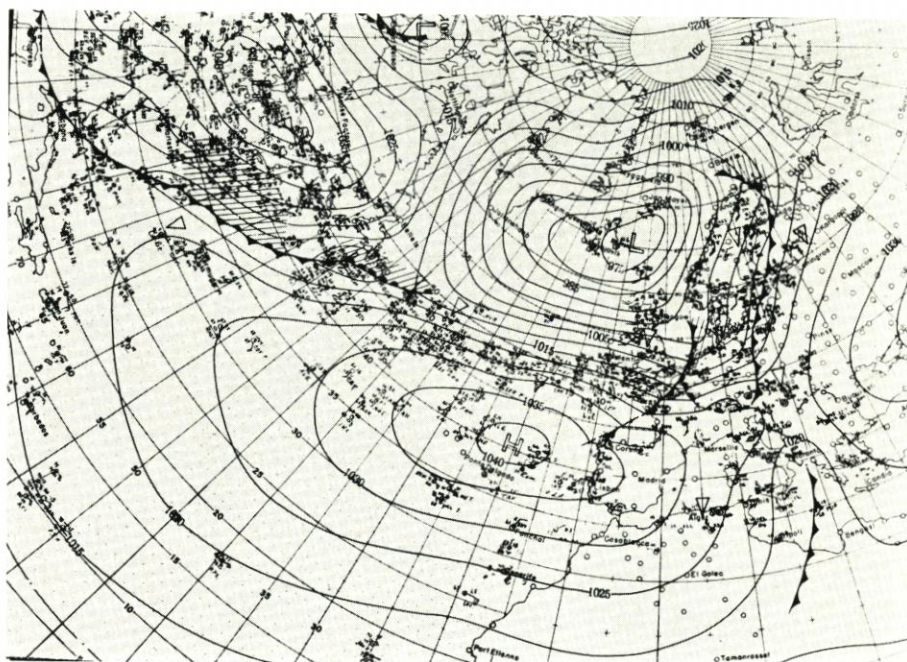


Abb. 93. Wetterlage vom 14. Februar 1916 mittags

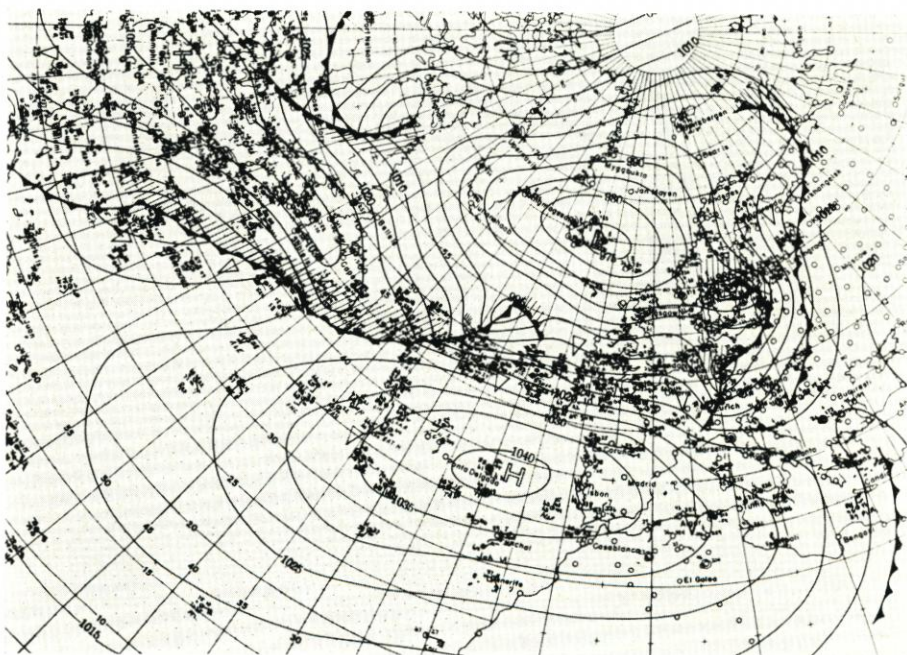


Abb. 94. Wetterlage vom 15. Februar 1916 mittags

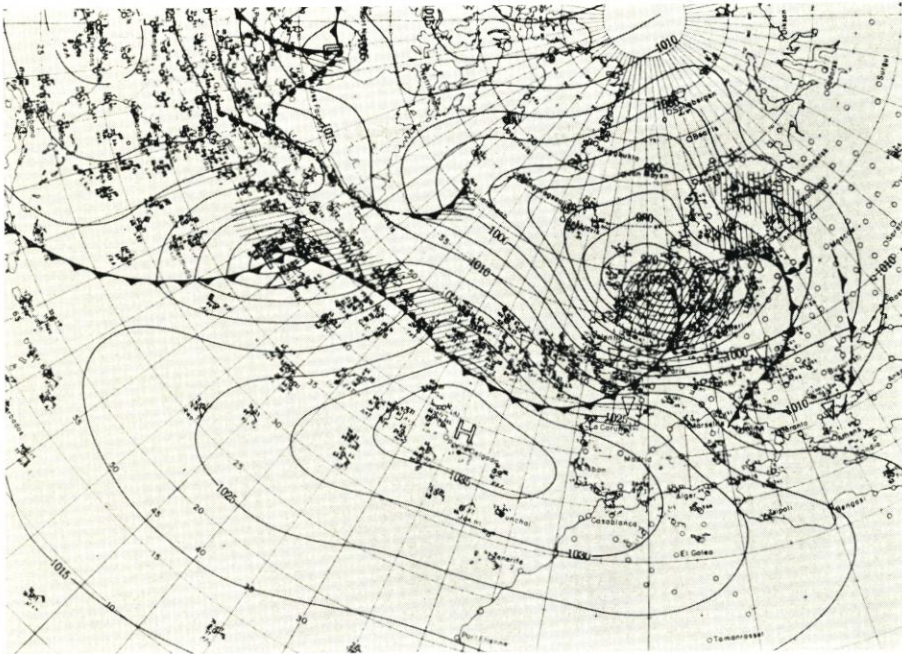


Abb. 95. Wetterlage vom 16. Februar 1916 mittags

TYP GEFAHR

Beispiel: Sturmflut vom 16. Februar 1916, Husum 23.45 Uhr, 1001 cm

Dies ist zugleich ein Beispiel für den Lagetyp E-AZ, und das Azorenhoch auf 40° N, 20° W ist — vor dieser zweithöchsten Husumer Sturmflut des Zeitraums — mit mehr als 1040 mb außerordentlich stark entwickelt. Sehr kräftig, unter 975 mb, ist auch in der Ausgangslage das Islandtief, die Westwinddrift über dem Nordatlantik entsprechend stürmisch.

Das stauwirksame Tief zieht in zwei Tagen vom Seegebiet südlich Neufundland nach der nördlichen Nordsee und vertieft sich dabei von 1010 auf 960 mb. ENE-Verlagerung 14.—15. II. mit 51 kn (1220 sm), 15.—16. II. mit 42 kn (1020 sm). Neutraler Punkt im Vierer-Druckfeld am 15. II. bei 43° N, 43° W gut ausgeprägt.

Schlußbemerkung

Dieser letzte Fall zeigt zugleich die Grenzen, die einer statistischen Betrachtung gesetzt sind. Die ungeheure Zuggeschwindigkeit des Tiefs und seine starke Intensitätszunahme bis zum Sturmflut-Tage fallen aus dem Rahmen der durchschnittlichen Entwicklung insgesamt und auch der Lagetypen. Allerdings tritt in diesem Falle die Sturmflut an der Wende vom 16. zum 17. Februar ein, und die Wetterkarte vom 17. Februar 1916 mittags läßt erkennen, daß das Sturmtief in den 24 Stunden vom 16. bis 17. Februar mittags

- (a) sich von 960 auf 970 mb = 10 mb aufgefüllt hat,
- (b) seine Zuggeschwindigkeit von vorher 42 auf 21 kn, also um 21 kn verringert hat,
- (c) seine Zugrichtung von etwa Ostnordost auf Ost, also im Sinne einer Rechtsabweichung, geändert hat.

Die in den vorigen Abschnitten aufgezeigte „Normaltendenz“ ist also auch hier vorhanden, nur reichen die Wetterkarten 24stündigen Abstands nicht aus, um sie herauszuschälen. Um die aufgezeigten Grundzüge der Entwicklung von Sturmflutwetterlagen zu präzisieren und gegebenenfalls auch zu modifizieren, erscheint die detaillierte Untersuchung von zahlreichen Einzelfällen erforderlich. Daß bisher nur sehr wenige Einzelfälle „im einzelnen“ untersucht wurden, liegt in der Natur der Sache: Das Detailstudium jedes Falles erfordert einen großen Arbeitsaufwand. Daher mochte diese Grobuntersuchung vieler Fälle berechtigt sein: Ihre Ergebnisse weisen darauf hin, daß eine eingehendere synoptische Statistik mehr und bessere Resultate liefern kann.

Schriftenverzeichnis

1. KRUHL, H.: Zur Dynamik polarer Kaltlufteinbrüche am Beispiel des Holland-Orkans vom 30. 1. bis 1. 2. 1953. Ann. d. Meteorol. 6, Heft 3/4, 1953—1954.
2. PRÜGEL, H.: Die Sturmflutschäden an der Schleswig-Holsteinischen Westküste in meteorologischer und morphologischer Abhängigkeit. Schr. Geogr. Inst. Univ. Kiel 11, Heft 3, 1942.
3. RODEWALD, M.: Der große Nordseesturm vom 31. Januar und 1. Februar 1953. Die Naturwiss. 41, Heft 1, 1954.
4. RODEWALD, M.: Zur Entstehungsgeschichte der Sturmflut-Wetterlagen in der Nordsee im Februar 1962. Die Küste 10, Heft 2, 1962.
5. ROEDIGER, G.: Entwicklung und Verlauf der Wetterlage vom 16./17. Februar 1962. Die Küste 10, H. 1, 1962.
6. SCHELLING, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein. Die Küste 1, Heft 1, 1952.
7. SCHERHAG, R.: Die Nordsee-Orkane vom 18. und 27. Oktober 1936. Ann. d. Hydrogr. u. maritim. Meteorol. 66, S. 49, 1938.
8. SCHERHAG, R.: Wetteranalyse und Wetterprognose (S. 198), Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1948.
9. TOMCZAK, G.: Was lehrt uns die Holland-Sturmflut 1953? Die Küste 3, Heft 1/2, 1955.