

# Die Küste

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



3950-A-2012-0000077

# Die Küste

ARCHIV  
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK  
AN DER NORD- UND OSTSEE

HERAUSGEBER:  
DER KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE

Jahrgang 13 - 1965

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

Anschriften der Verfasser dieses Heftes:

CZOCK, Hermann, Dünenmeister, Marschenbauamt Husum — Außenstelle Sylt —, Westerland/Sylt, Bomhoffstr. 20; GÖHREN, Harald, Dipl.-Ing., Strom- und Hafenbau, Forschungsgruppe Neuwark, Cuxhaven, Lentzkai; MÜLLER, Ernst, Oberbaurat, Wasserwirtschaftsamt, Stade; MÜLLER-SPÄTH, Walter, Bauamtmann, Wasserwirtschaftsamt, Stade; RODEWALD, Martin, Dr., Oberregierungsrat, Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Str. 76; WIELAND, Peter, Dipl. rer. hort., Marschenbauamt Husum, Husum, Westerende 42; WOHLBERG, Erich, Dr. habil., Marschenbauamt Husum — 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. WOHLBERG, Husum, Nissenhaus.

## Inhaltsverzeichnis

RODEWALD, Martin, Oberregierungsrat Dr. Zur Entstehungsgeschichte von Sturmflut-Wetterlagen in der Nordsee . . . . .	1
CZOCK, Hermann, Dünenmeister und WIELAND, Peter, Dipl. rer. hort. Naturnaher Küstenschutz am Beispiel der Hörnum-Düne auf der Insel Sylt nach der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 . . . . .	61
WOHLENBERG, Erich, Dr. habil. Deichbau und Deichpflege auf biologischer Grundlage . . . . .	73
MÜLLER, Ernst, Oberbaurat und MÜLLER-SPÄTH, Walter, Bauamtmann Beitrag zur Entwässerung der Marsch . . . . .	104
PLATH †, Martin, Dr. Ein im Gezeitenbereich des Wattenmeeres selbsttätig arbeitendes Sinkstoff- Schöpfgerät und die Bedeutung der Wattfauna für die Bildung von Sinkstoffen . . . . .	119
GÖHREN, Harald, Dipl.-Ing. Ein neues Schöpfgerät für Schwebstoffuntersuchungen im Watt . . . . .	133
GÖHREN, Harald, Dipl.-Ing. Beitrag zur Morphologie der Jade- und Wesermündung . . . . .	140

# 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)<sup>1)</sup> 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 Ausgangswetterlagen 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

<sup>1)</sup> 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 × 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 Mitleidenschaft 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,<br>stärkstens aufländig für die Westküste Schleswig-Holsteins — |
| ein NNW-Wind | etwa küstenparallel für die Westküste Schleswig-Holsteins,<br>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 worden<sup>2)</sup>.

<sup>2)</sup> 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 Gesamtbereich 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 wechselnde<sup>3)</sup>.

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

<sup>3)</sup> 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  $30^{\circ}$  und  $48^{\circ}$  N,  $36^{\circ}$  und  $20^{\circ}$  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 ( $32^{\circ}$  N,  $30^{\circ}$  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

Ogleich 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.

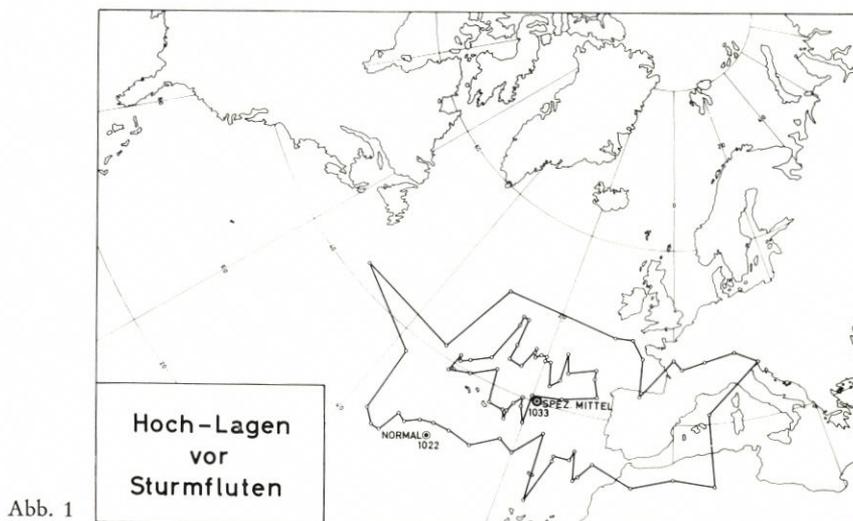


Abb. 1

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-

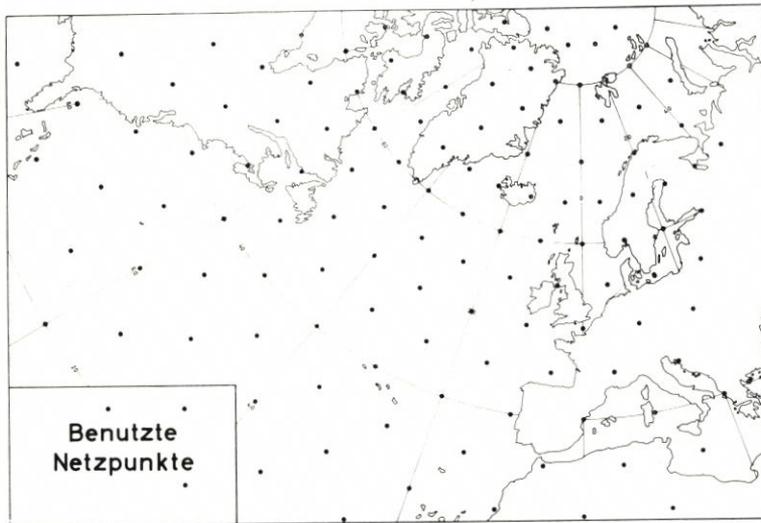


Abb. 2

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
8. Hoch östlich der Azoren I	E-AZ I	1. 12. 09, 17. 9. 14, 6. 12. 41	3
Hoch östlich der Azoren II	E-AZ II	24. 11. 28, 21. 9. 34	2
9. Hoch westlich Vigo I	W-VIGO I	4. 4. 04, 2. 11. 23, 27. 12. 55	3
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.

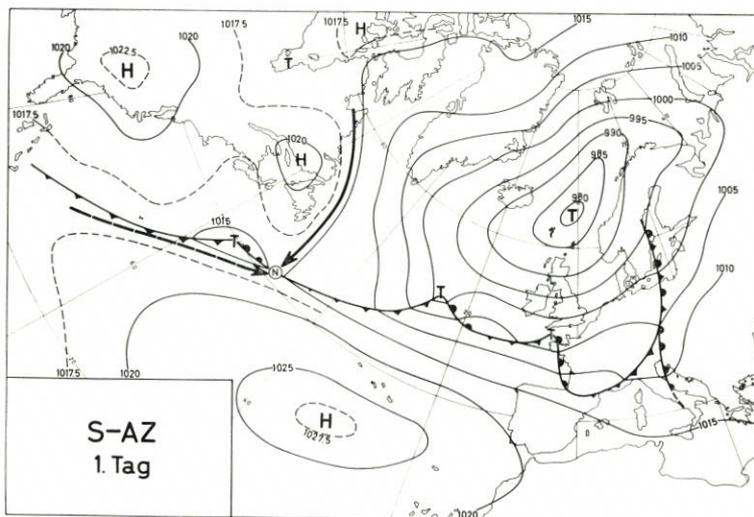


Abb. 3

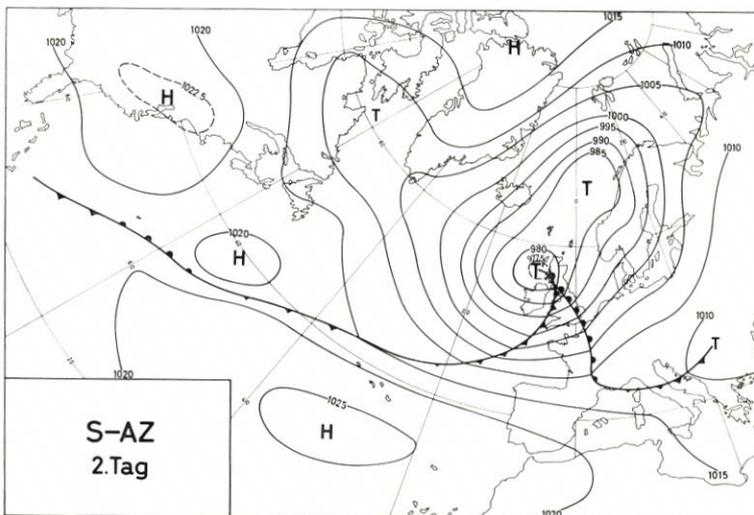


Abb. 4

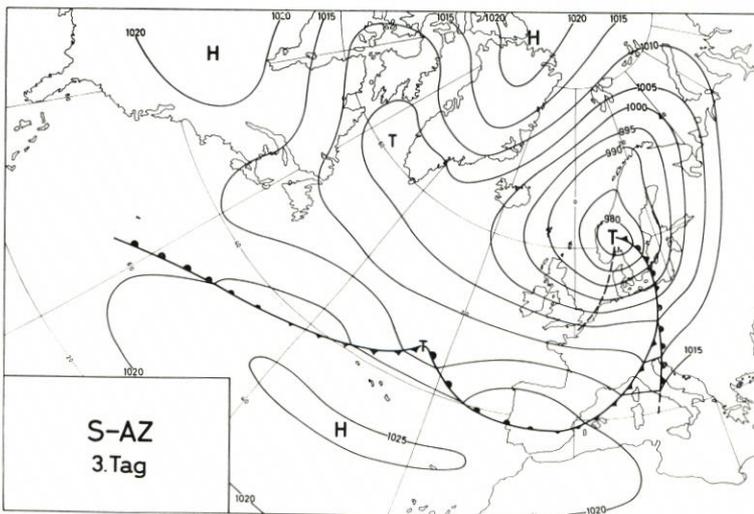


Abb. 5

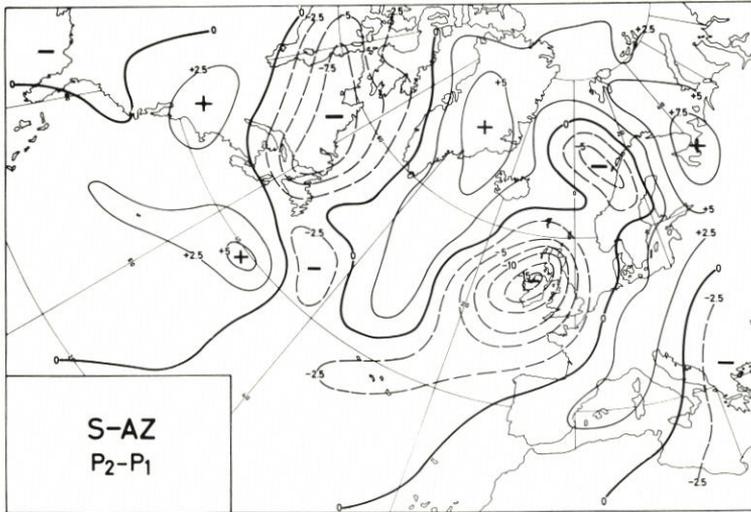


Abb. 6

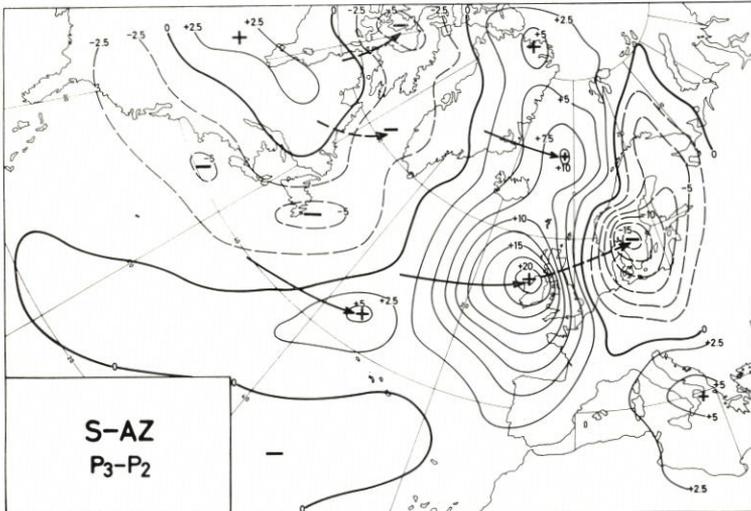


Abb. 7

### Typ: Hoch südlich der Azoren (S-AZ)

1. Tag: Warmes Hoch 1028 mb bei  $32,5^{\circ}$  N,  $32^{\circ}$  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  $41^{\circ}$  N,  $48,5^{\circ}$  W. „Stromabwärts“ davon Warmsektor-Störung 999 mb bei  $50,5^{\circ}$  N,  $25,5^{\circ}$  W.

2. Tag: Aus der Warmsektor-Störung ist Sturmtief 976 mb bei  $56,5^{\circ}$  N,  $7,5^{\circ}$  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  $60,5^{\circ}$  N,  $10^{\circ}$  E liegend. Wanderung seit Vortag mit 25 Knoten nach ENE. Trog mit Winddrehung von WSW auf WNW über der östlichen Nordsee angedeutet.

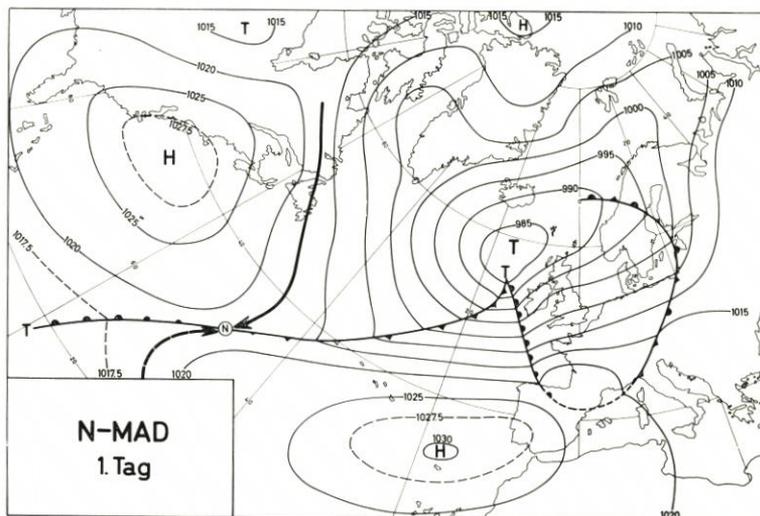


Abb. 8

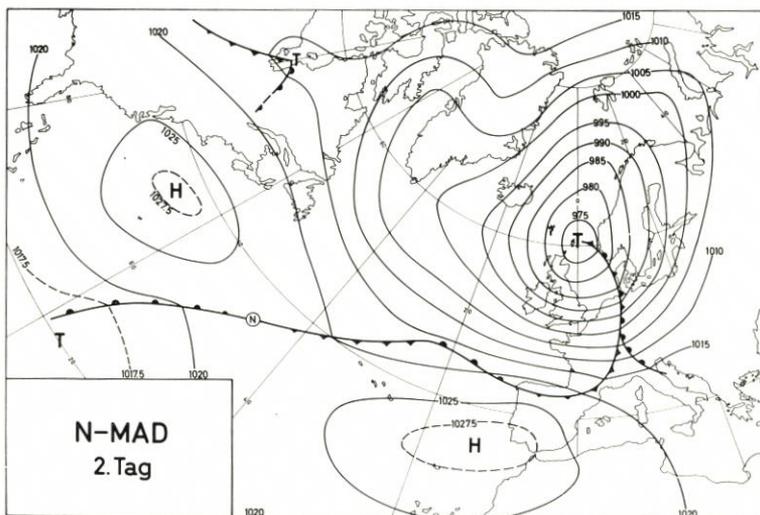


Abb. 9

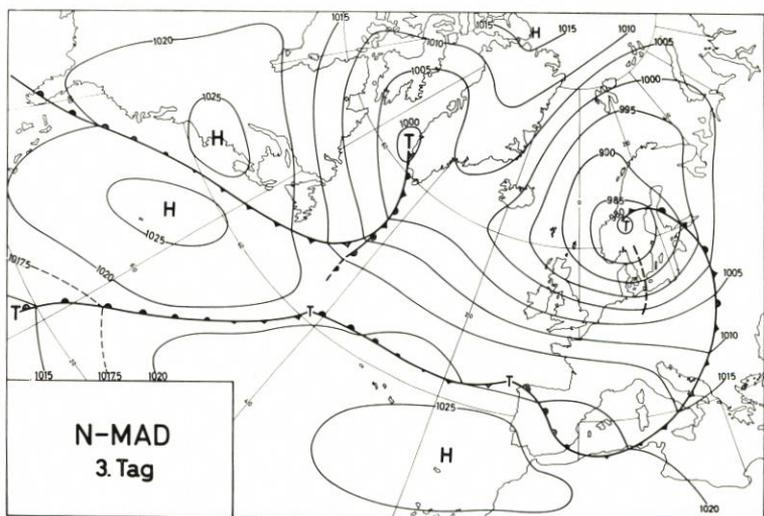


Abb. 10



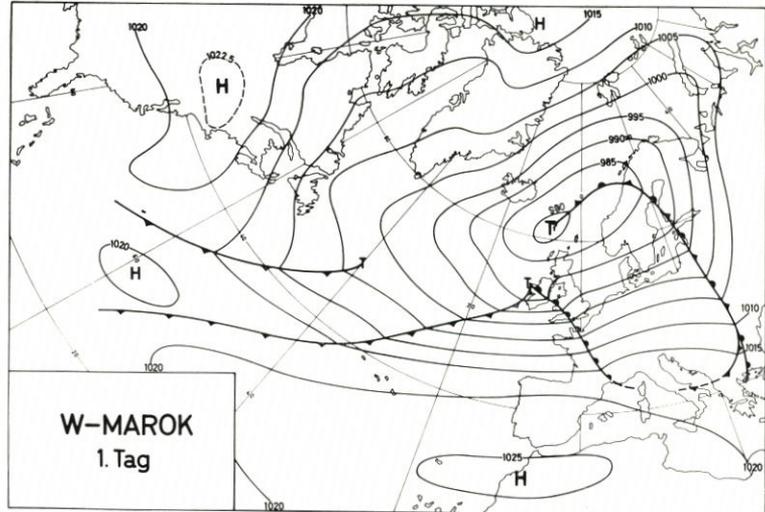


Abb. 13

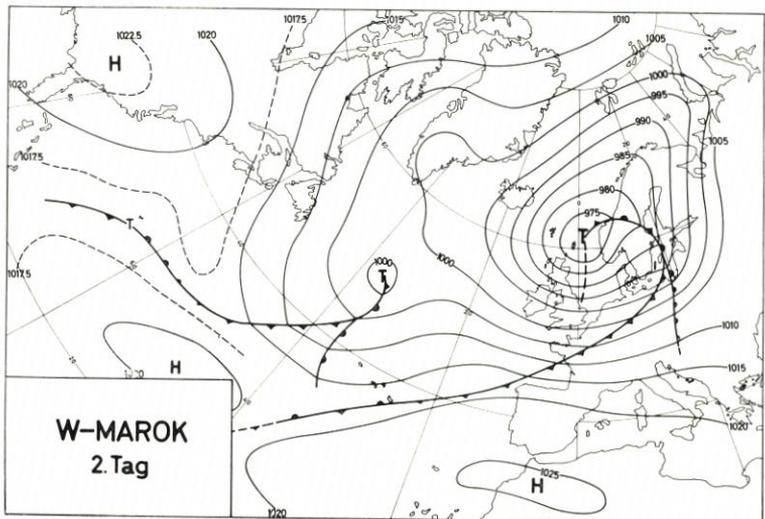


Abb. 14

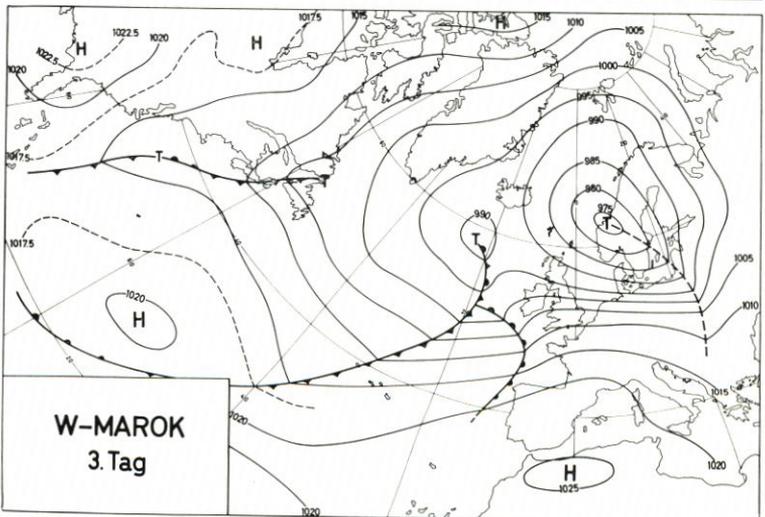


Abb. 15

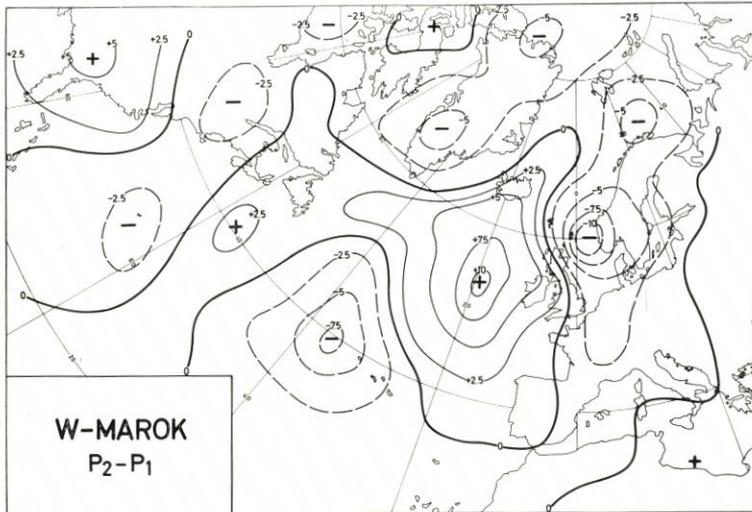


Abb. 16

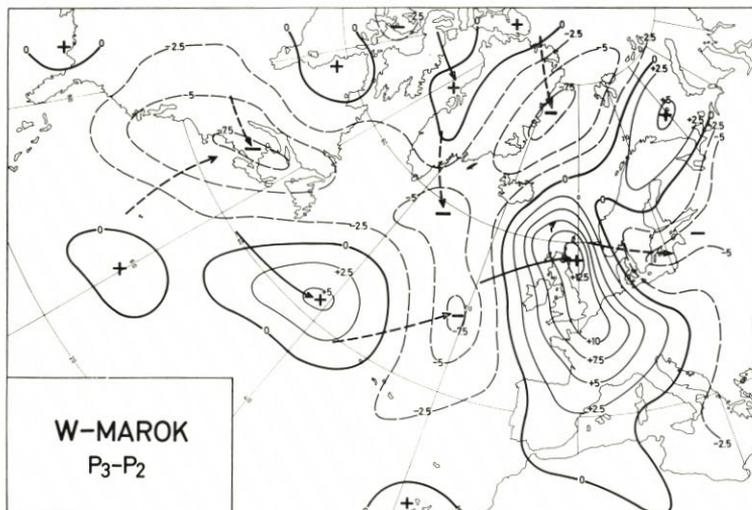


Abb. 17

### Typ: Hoch Westküste Marokkos (W-MAROK)

1. Tag: Warmes Hoch 1026 mb um  $33^{\circ}$  N,  $8^{\circ}$  W. Älteres kaltes Tief 980 mb bei den Färöer. Randstörung 988 mb bei  $54^{\circ}$  N,  $11^{\circ}$  W mit ausgeprägtem Warmsektor.

2. Tag: Aus Warmsektor-Störung ist Sturmtief 972 mb bei  $61,5^{\circ}$  N,  $1^{\circ}$  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  $62,5^{\circ}$  N,  $9,5^{\circ}$  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.

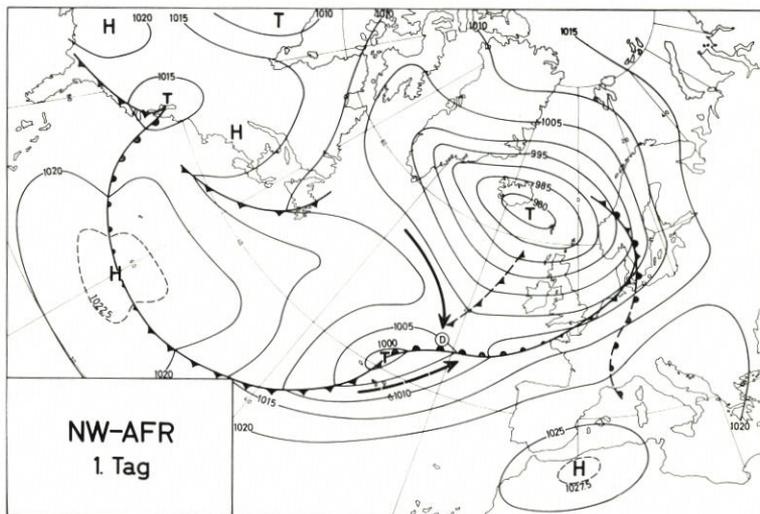


Abb. 18

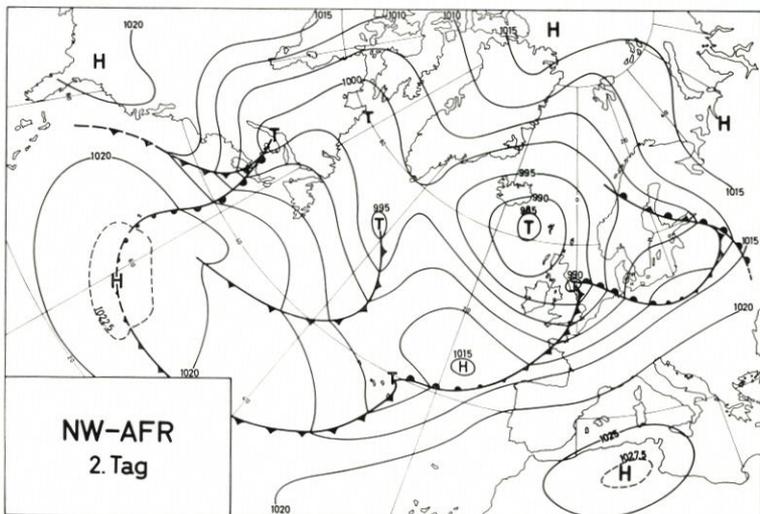


Abb. 19

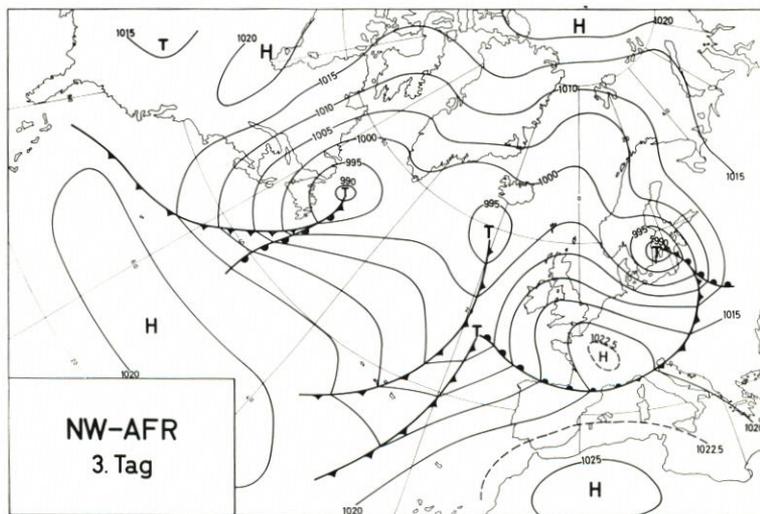


Abb. 20

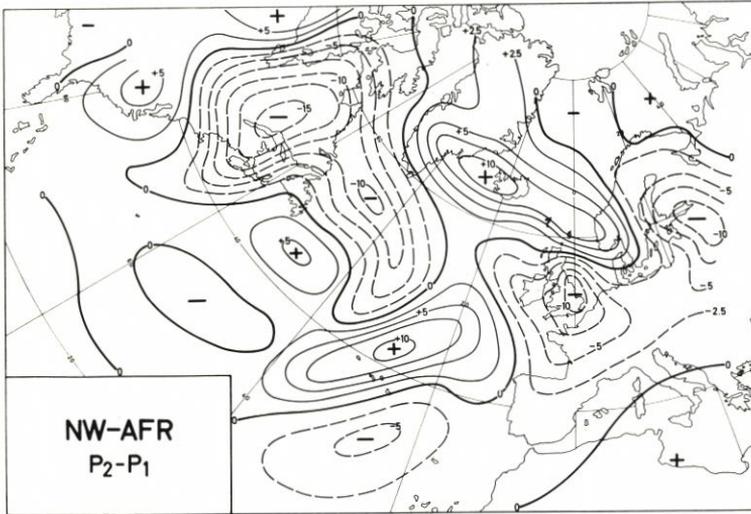


Abb. 21

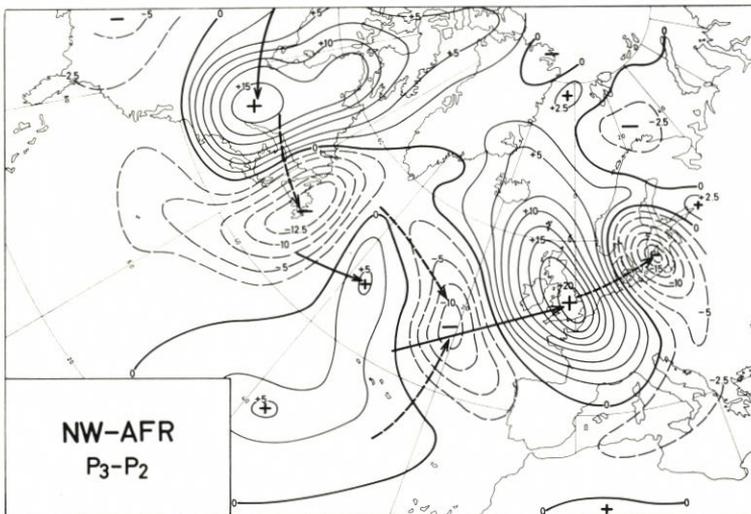


Abb. 22

### Typ: Hoch über NW-Afrika (NW-AFR)

1. Tag: Warmes Hoch 1028 mb bei  $34^{\circ}$  N,  $0^{\circ}$  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  $41^{\circ}$  N,  $28,5^{\circ}$  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  $55^{\circ}$  N,  $1^{\circ}$  W — bei Identität mit Azoren-Tief des Vortages mit etwa 57 Knoten nach NE gewandert. Aber wahrscheinlich Abspaltung „stromabwärts“ von Dreimasseneck vertieft. Postfrontales Kaltluflhoch 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  $57,5^{\circ}$  N,  $18^{\circ}$  E. Wanderung seit Vortag mit 27 kn nach EzN. Verstärktes Hoch 1023 mb Frankreich nachdrängend. (Höhepunkt WNW-Sturm Deutsche Bucht bereits überschritten.)

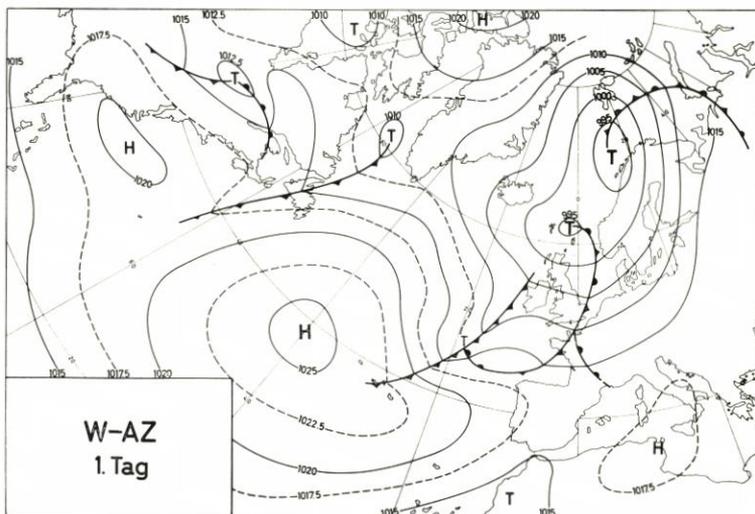


Abb. 23

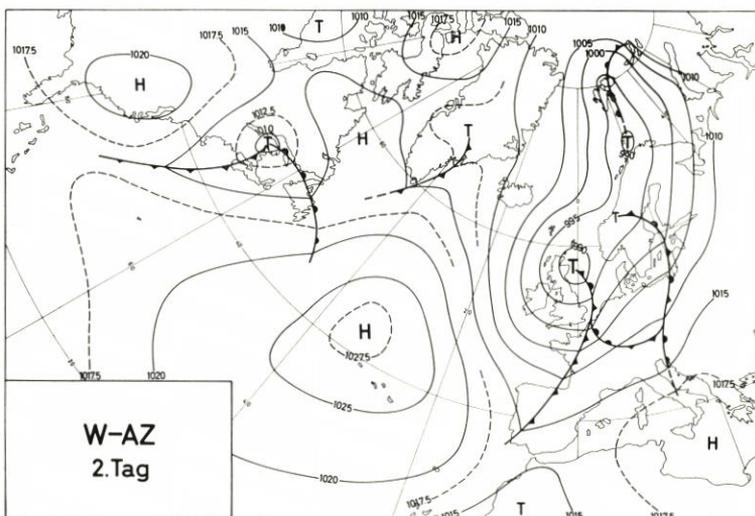


Abb. 24

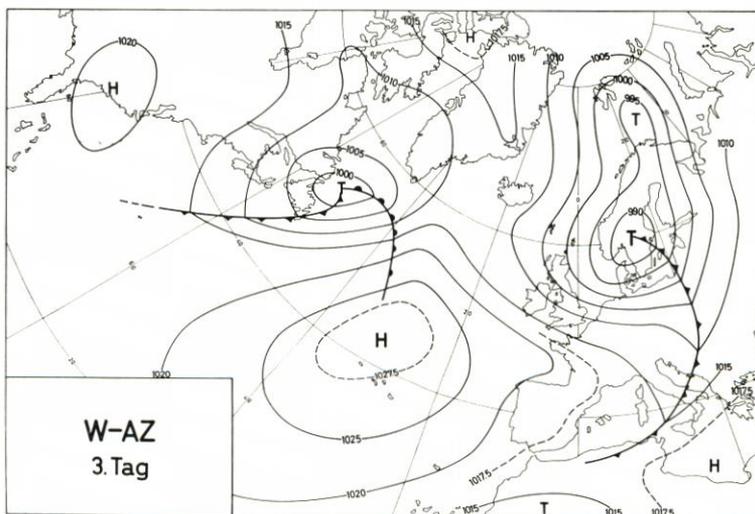


Abb. 25

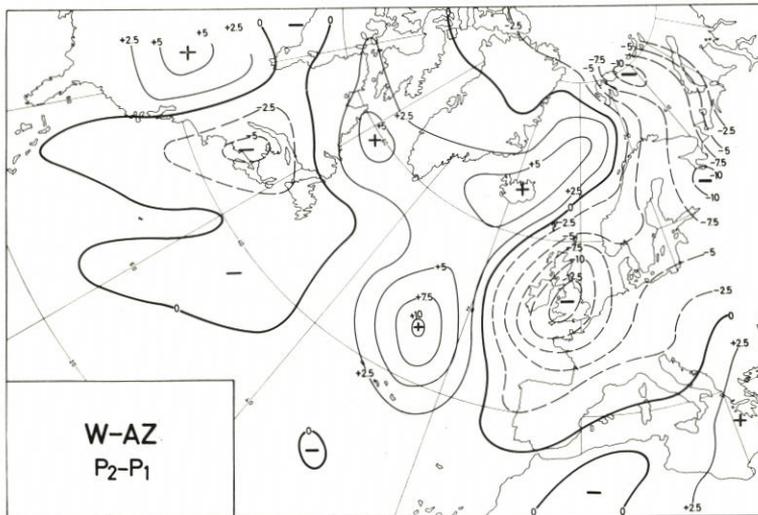


Abb. 26

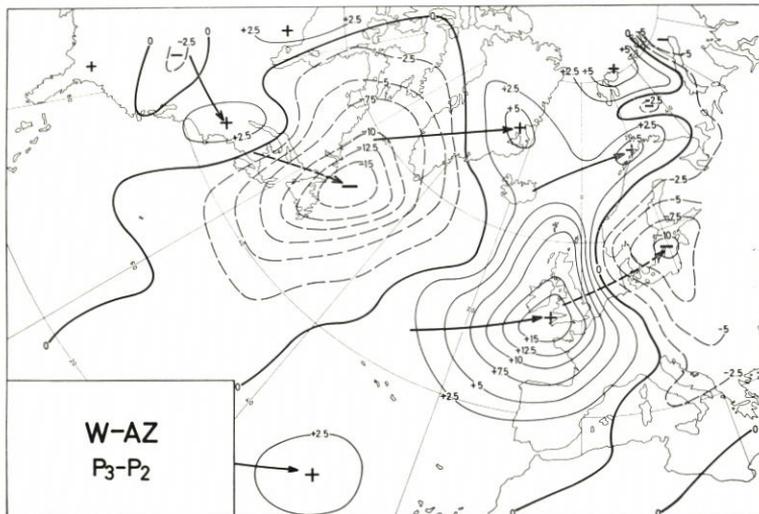


Abb. 27

#### Typ: Hoch westlich der Azoren (W-AZ)

1. Tag: Hoch 1027 mb um  $38,5^{\circ}$  N,  $40^{\circ}$  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  $46^{\circ}$  N,  $18^{\circ}$  W.

2. Tag: Hieraus ist kräftige Tief-Neubildung 988 mb bei  $57,5^{\circ}$  N,  $1^{\circ}$  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  $60^{\circ}$  N,  $13^{\circ}$  E. Kaltfront (bzw. Okklusion) über östlicher Ostsee. Zyklonale Winddrehung von West auf Nord über der Nordsee.

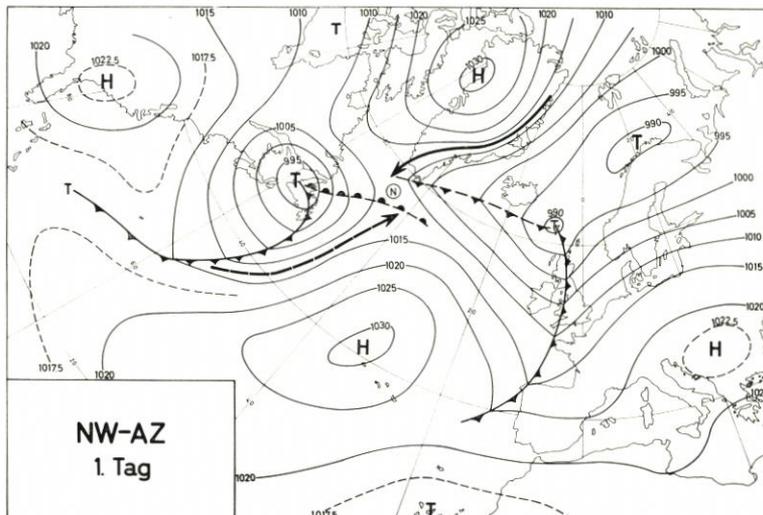


Abb. 28

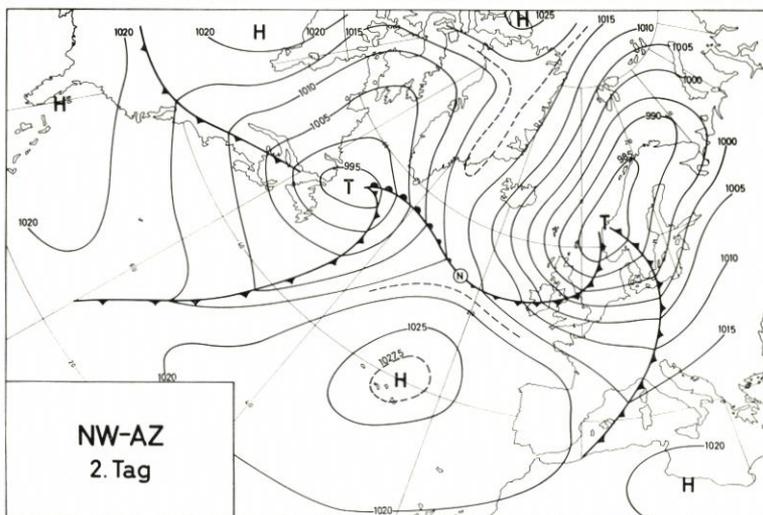


Abb. 29

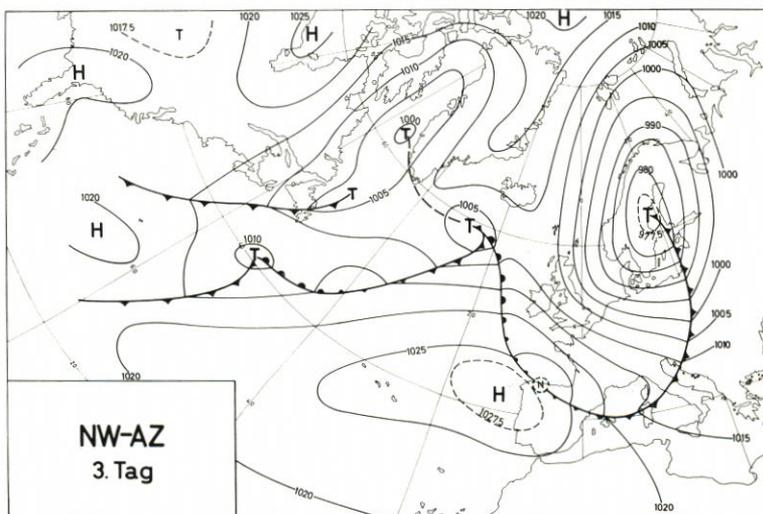


Abb. 30

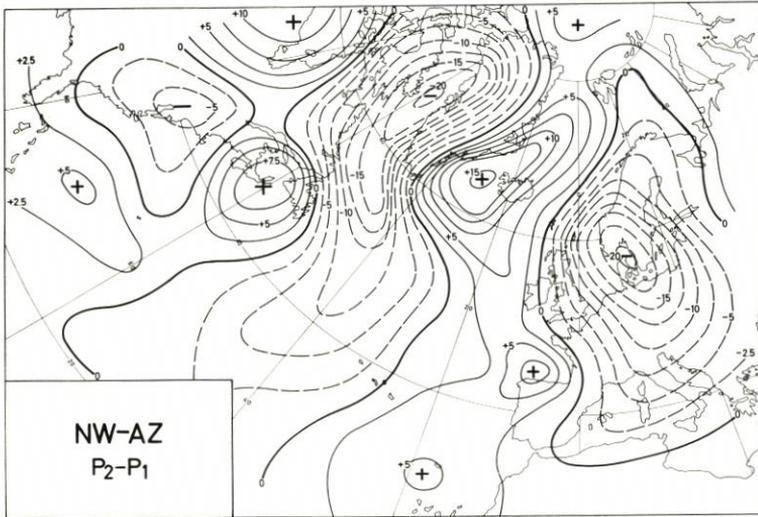


Abb. 31

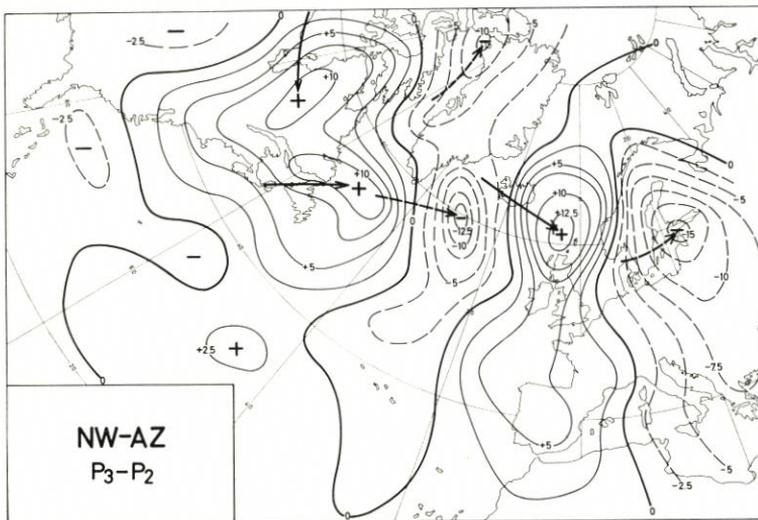


Abb. 32

### 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.

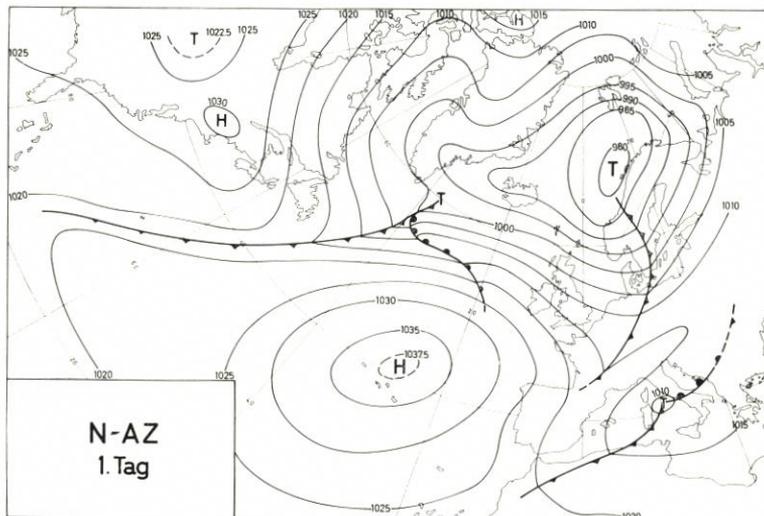


Abb. 33

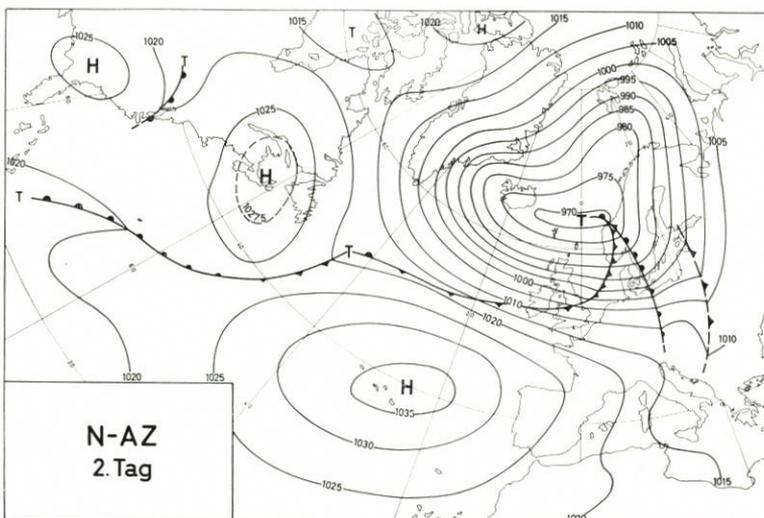


Abb. 34

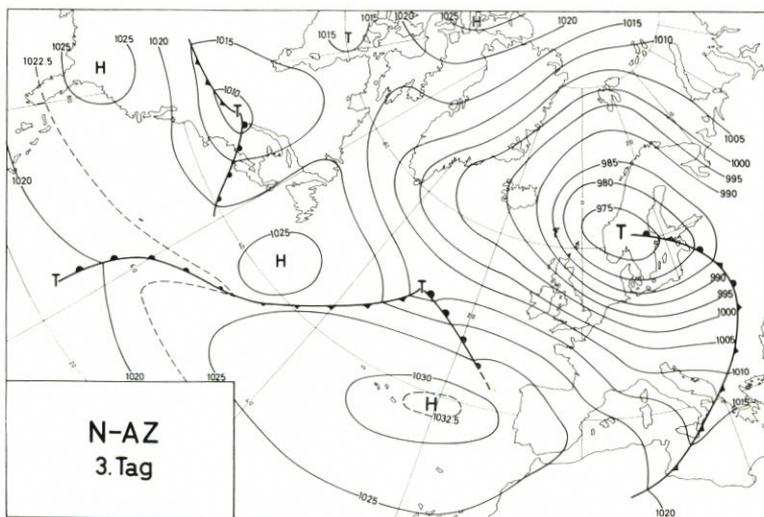


Abb. 35

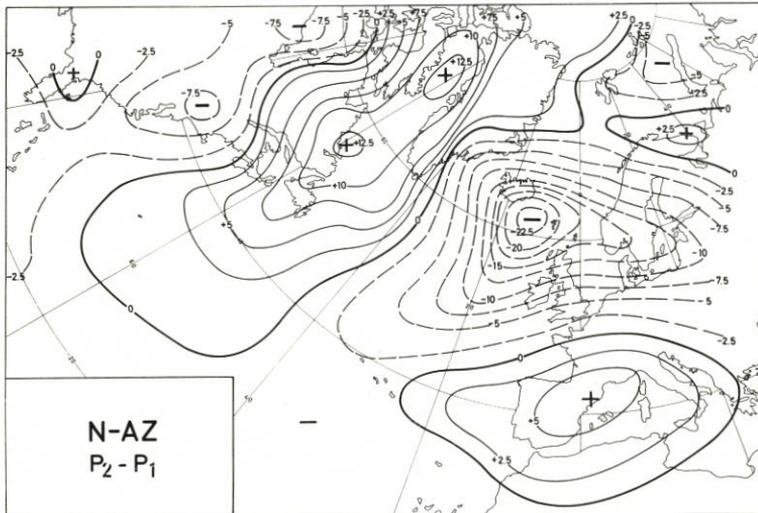


Abb. 36

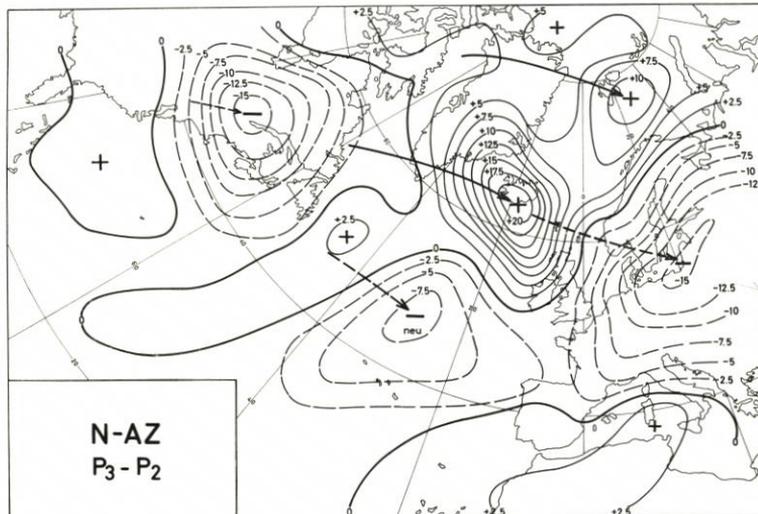


Abb. 37

### 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.

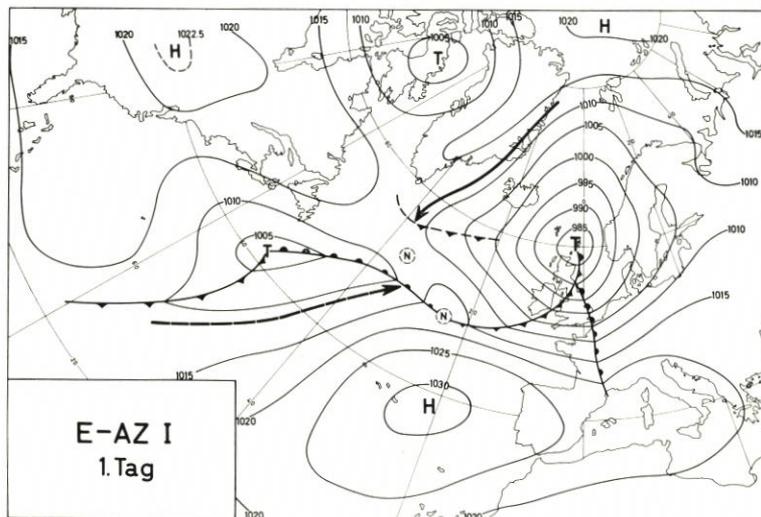


Abb. 38

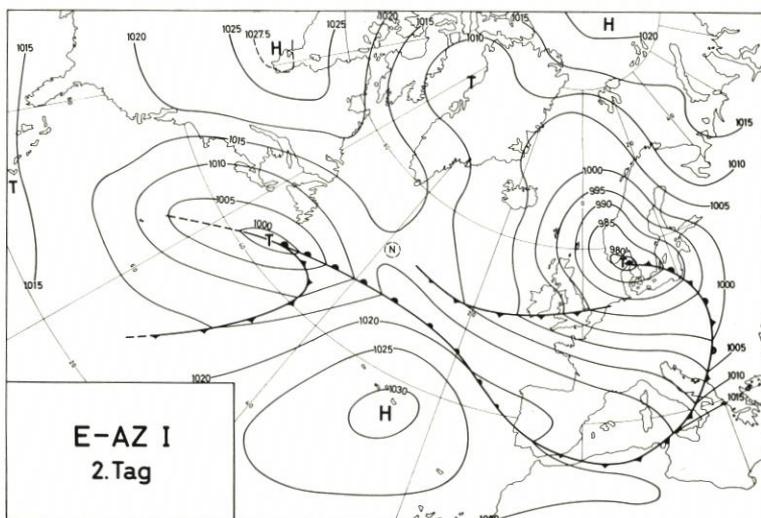


Abb. 39

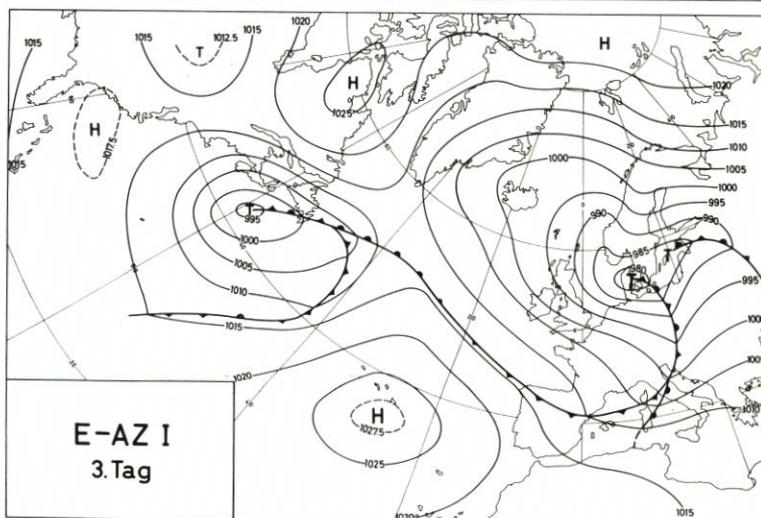


Abb. 40



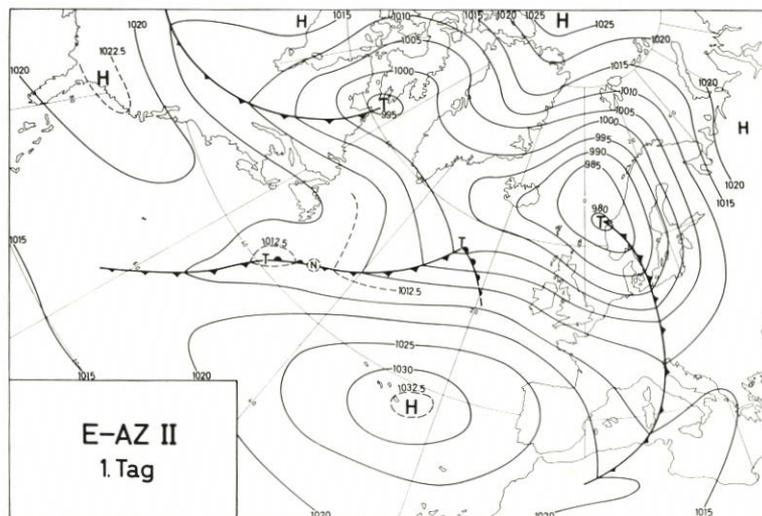


Abb. 43

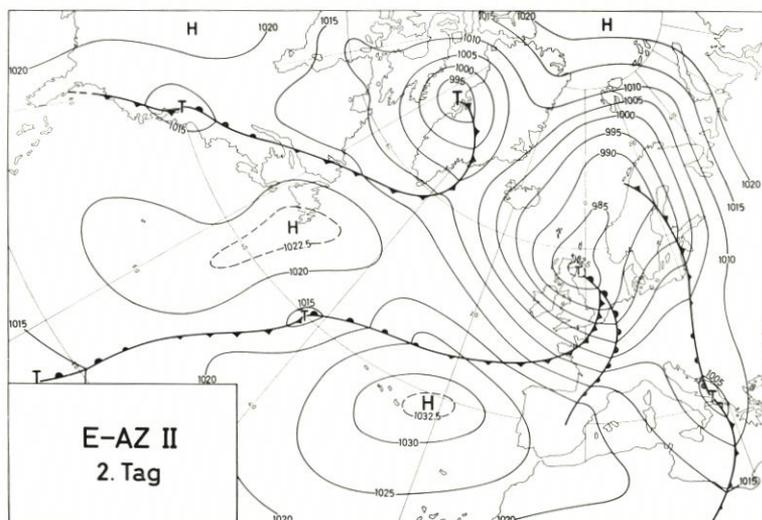


Abb. 44

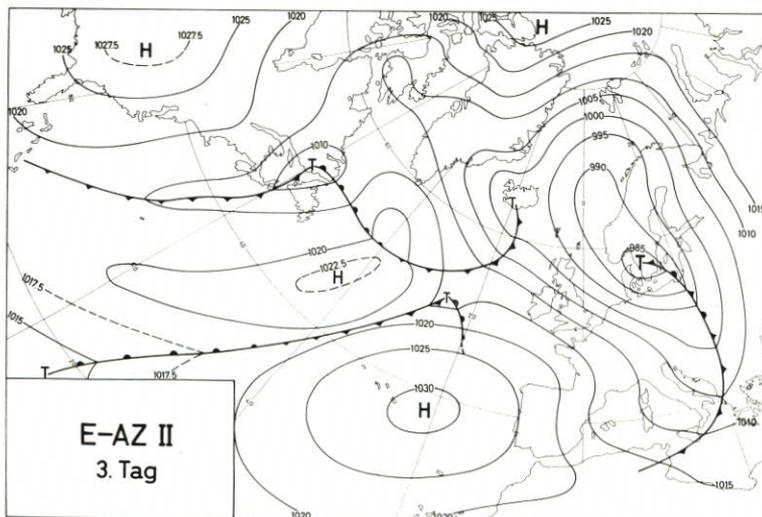


Abb. 45

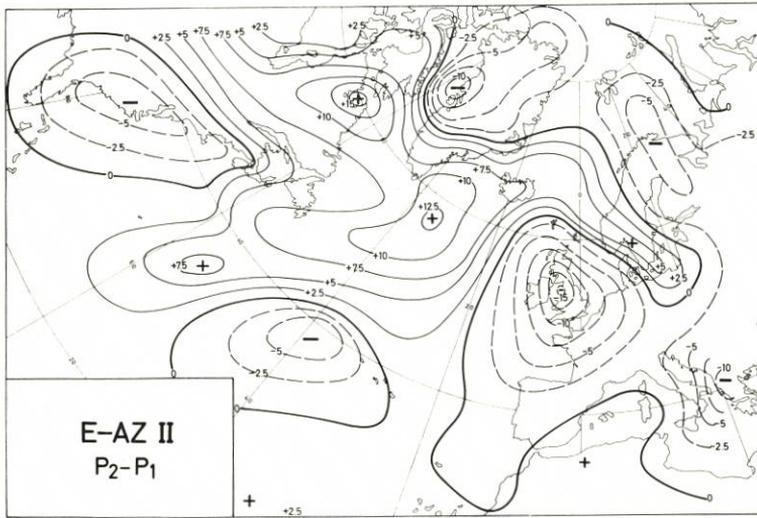


Abb. 46

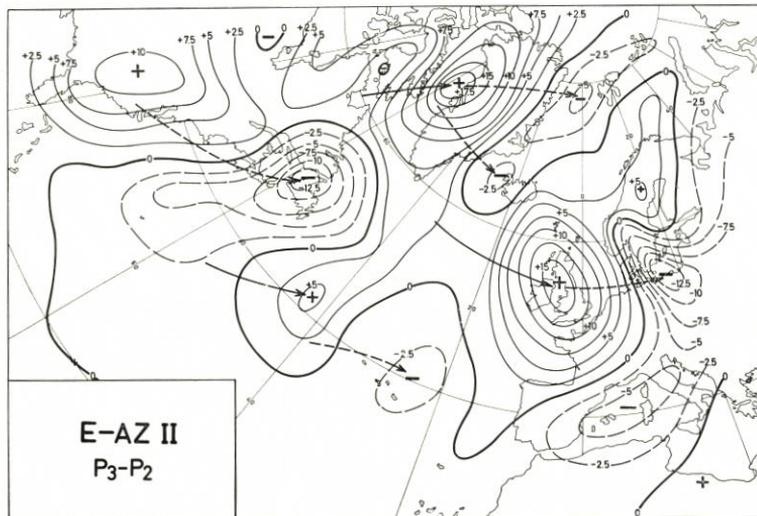


Abb. 47

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

1. Tag: Warmes Hoch 1033 mb bei 38° N, 23° W. Umfangreiches Tiefssystem 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 mb jetzt Südschweden (57,5° N, 13° E), ist mit 19 kn seit Vortag ostwärts gezogen. WNW-Windbereich hat auf Nordsee übergegriffen.

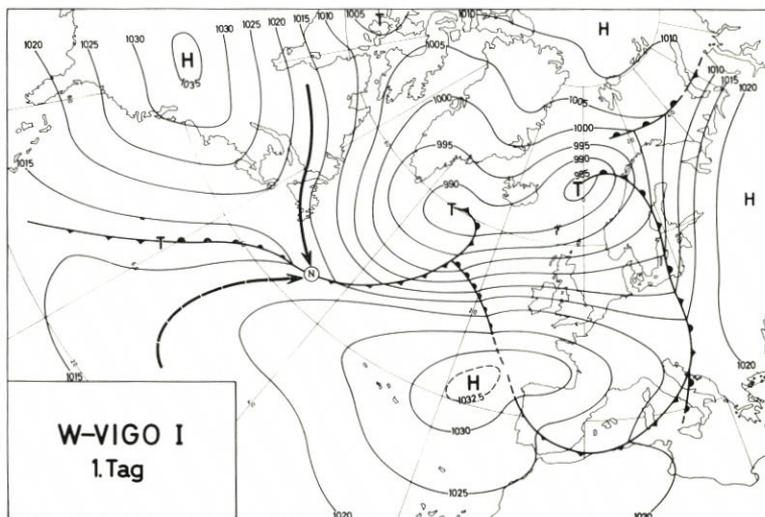


Abb. 48

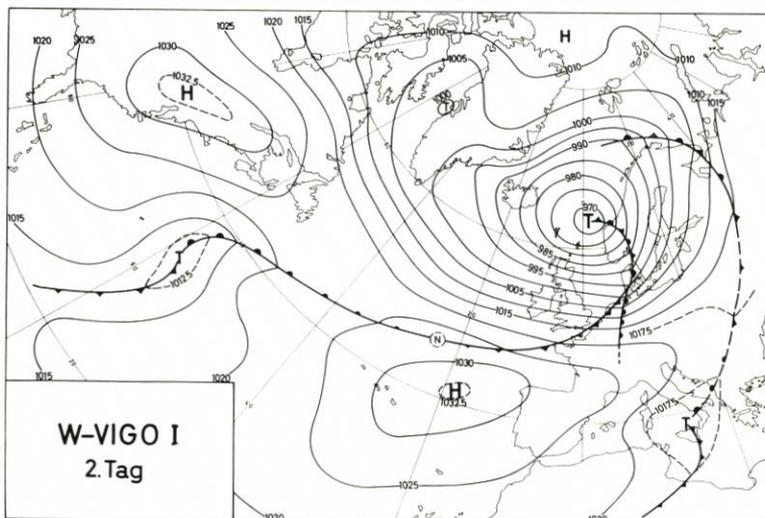


Abb. 49

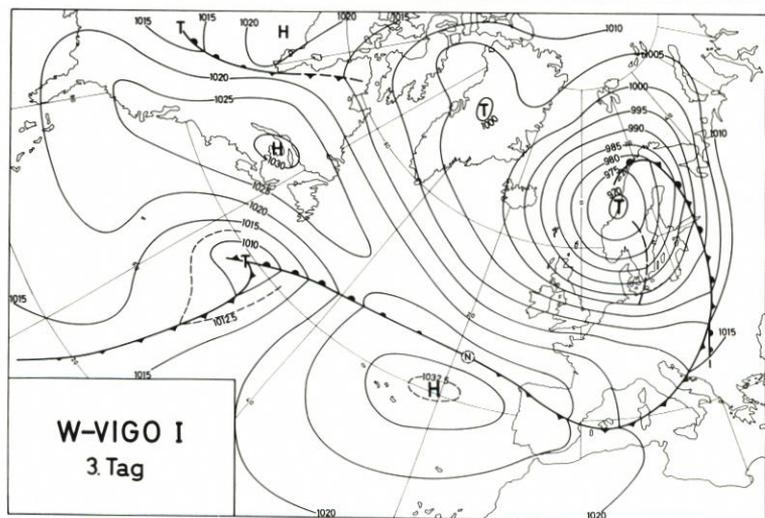


Abb. 50

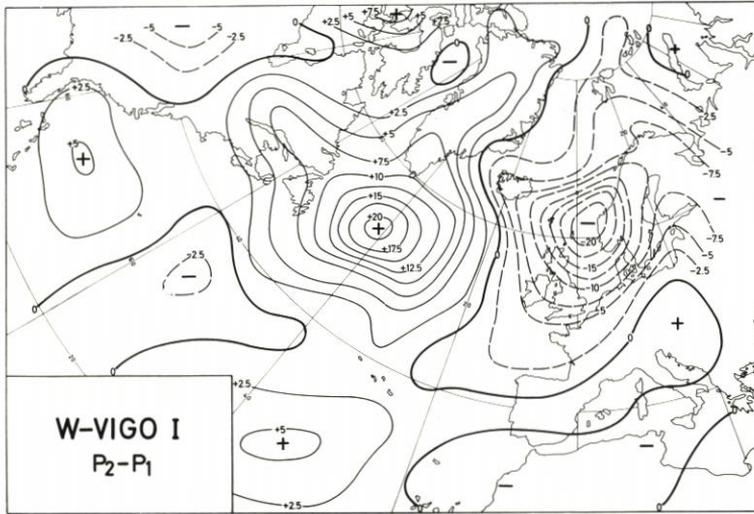


Abb. 51

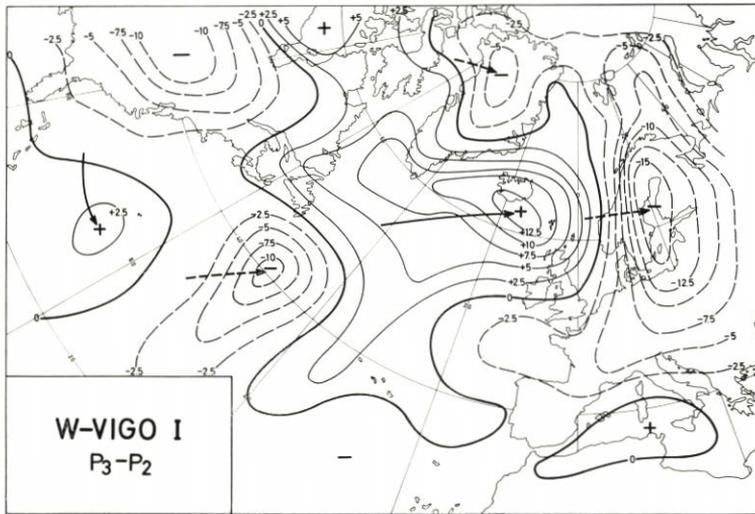


Abb. 52

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. Alters, okkludiertes Tief 985 mb Nordmeer bringt westliche Polarluft-Strömung über der Nordsee.

2. Tag: Aus der Warmsektor-Störung ist ein Sturmtief 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.

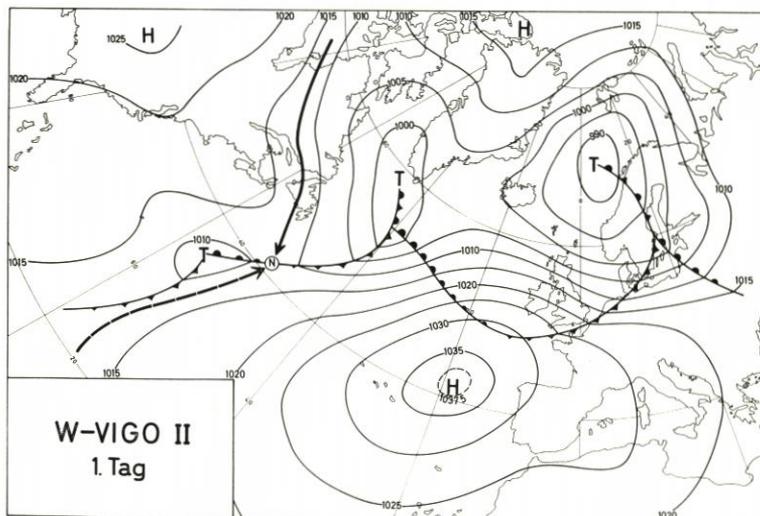


Abb. 53

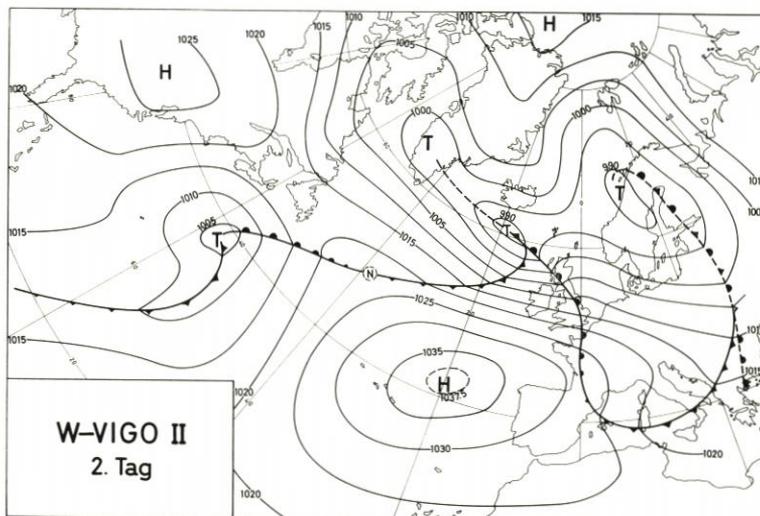


Abb. 54

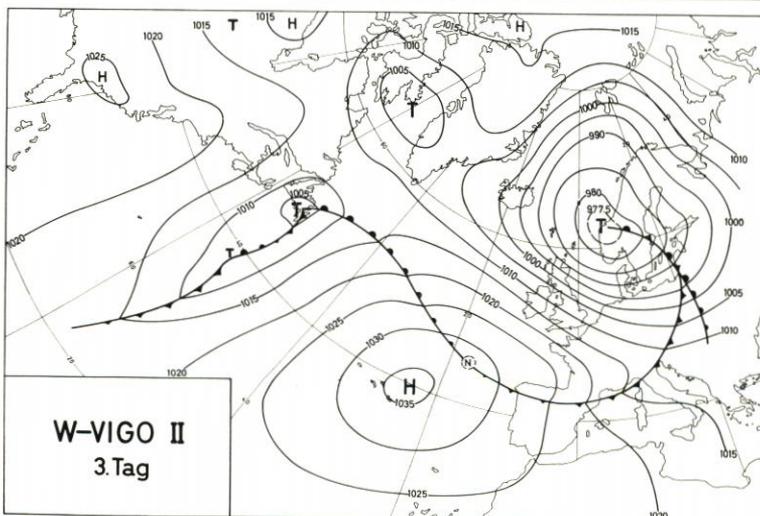


Abb. 55

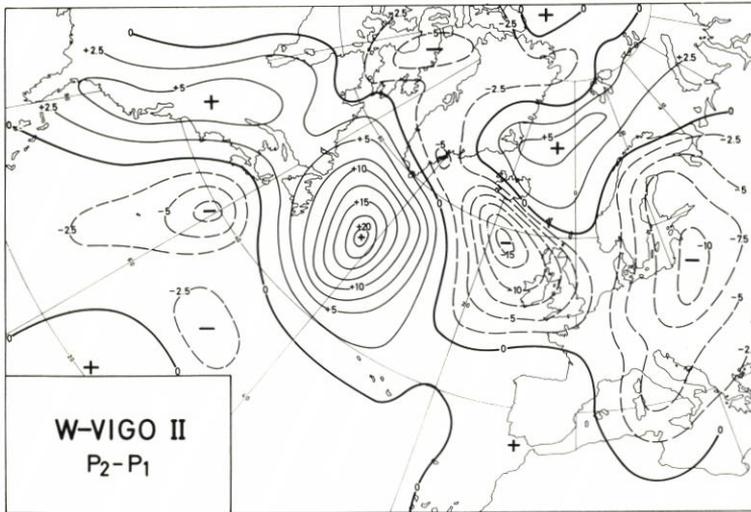


Abb. 56

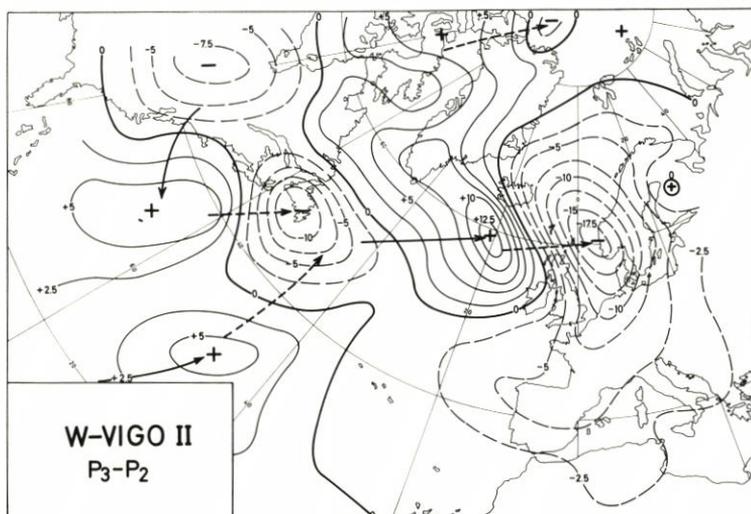


Abb. 57

### Typ: Hoch westlich Vigo (W-VIGO II)

1. Tag: Warmes Hoch 1038 mb bei  $42^{\circ}$  N,  $19^{\circ}$  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  $41,5^{\circ}$  N,  $50^{\circ}$  W und Warmsektor-Neubildung „stromabwärts“ im Gebiet um  $54^{\circ}$  N,  $40^{\circ}$  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  $60,5^{\circ}$  N,  $18^{\circ}$  W). Verlagerung seit Vortag ( $54^{\circ}$  N,  $41^{\circ}$  W) nach ENE mit 35 Knoten. Noch offener Warmsektor läßt weitere Vertiefung und rasche Wanderung der Zyklone erwarten. Neutraler Punkt auflösend bei  $48^{\circ}$  N,  $39^{\circ}$  W.

3. Tag: Okkludierendes Sturmtief unter 977 mb über SW-Norwegen ( $62^{\circ}$  N,  $7^{\circ}$  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.

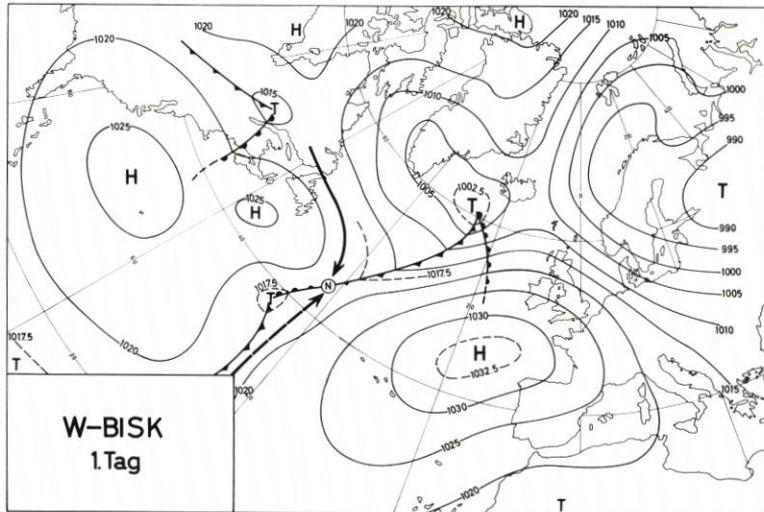


Abb. 58

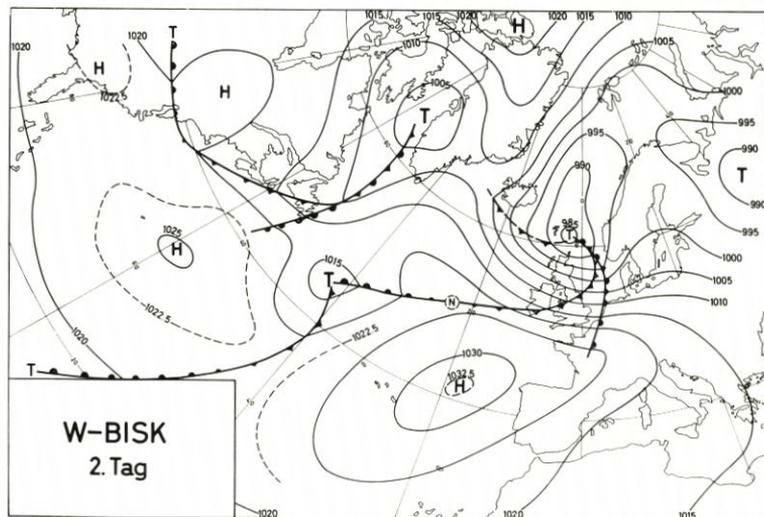


Abb. 59

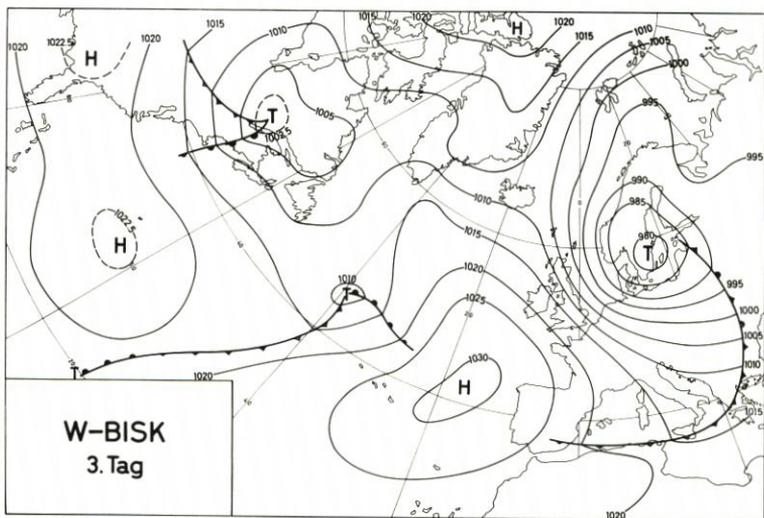


Abb. 60

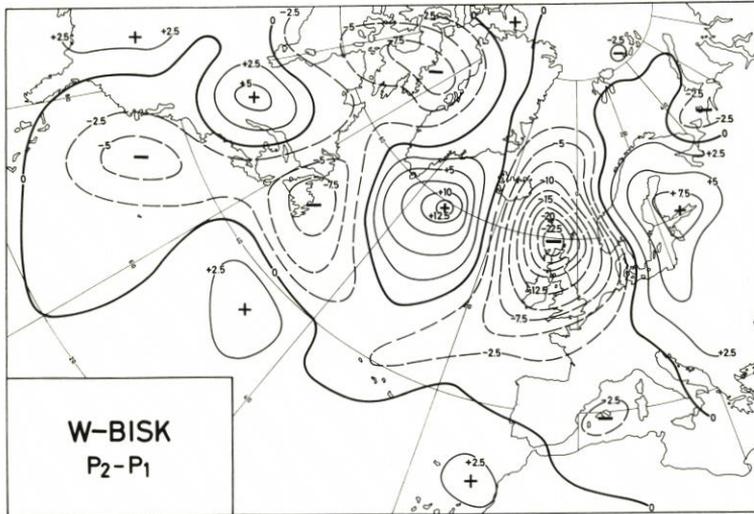


Abb. 61

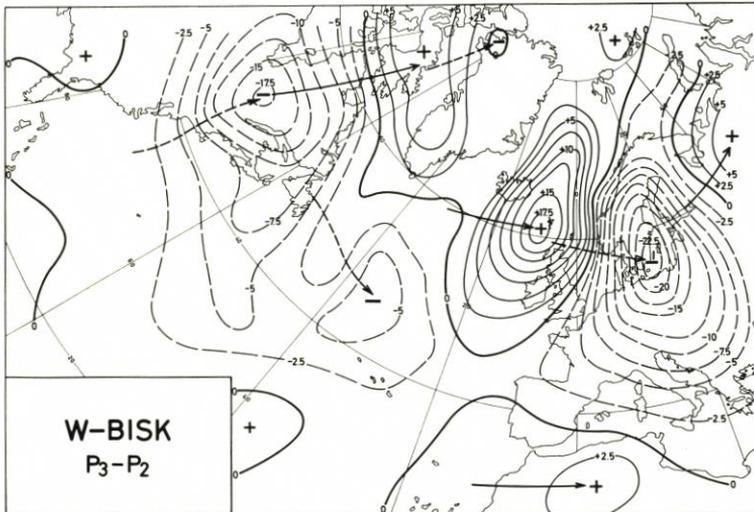


Abb. 62

### Typ: Hoch westlich der Biskaya (W-BISK)

1. Tag: Hoch 1034 mb bei  $45^{\circ}$  N,  $17^{\circ}$  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  $43,5^{\circ}$  N,  $41,5^{\circ}$  W und Neubildung von Warmsektor-Tief 1000 mb „stromabwärts“ bei  $61^{\circ}$  N,  $28^{\circ}$  W. Kaltes Hoch 1025 mb südlich Neufundland.

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

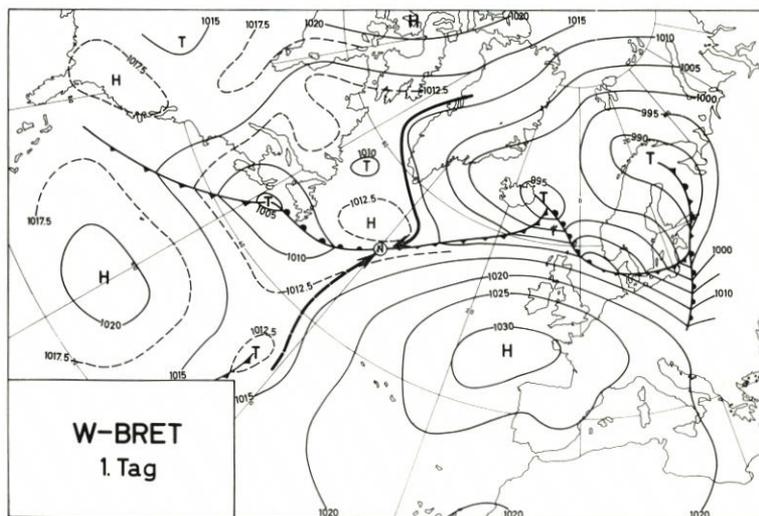


Abb. 63

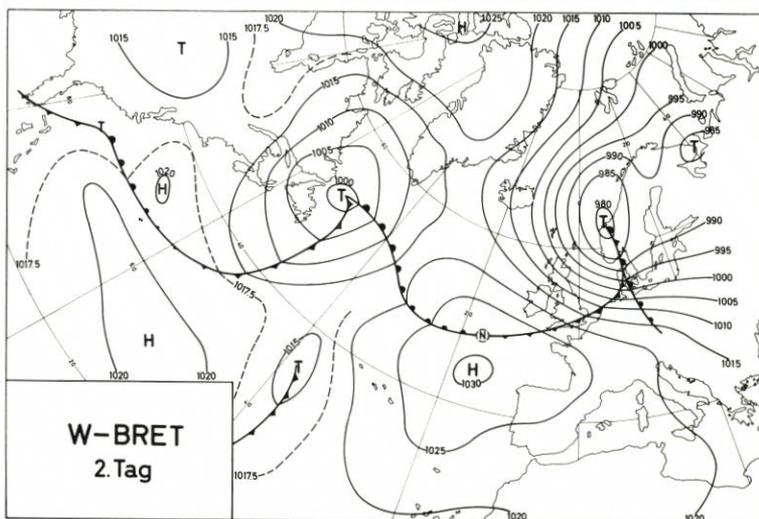


Abb. 64

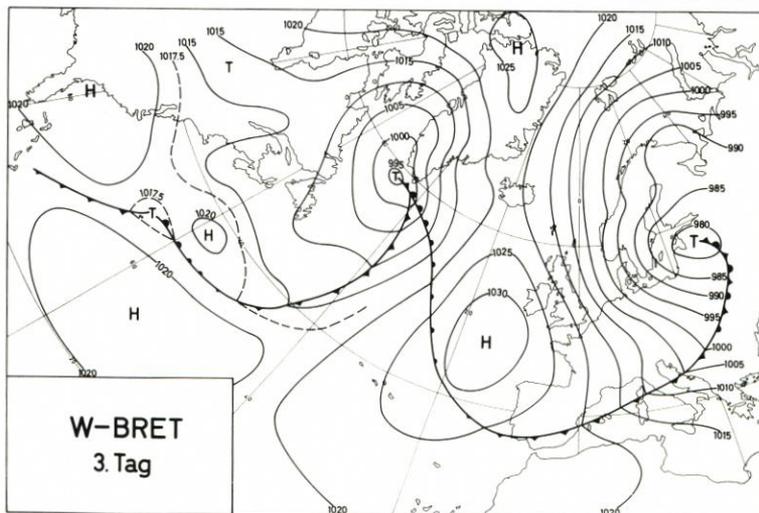


Abb. 65

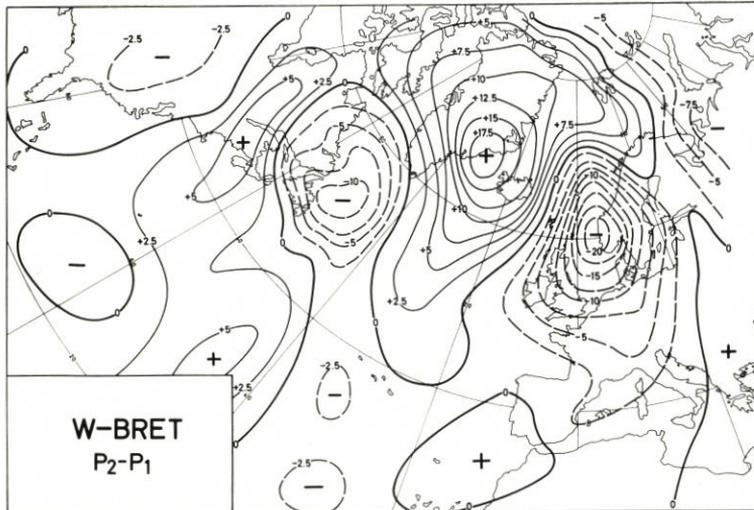


Abb. 66

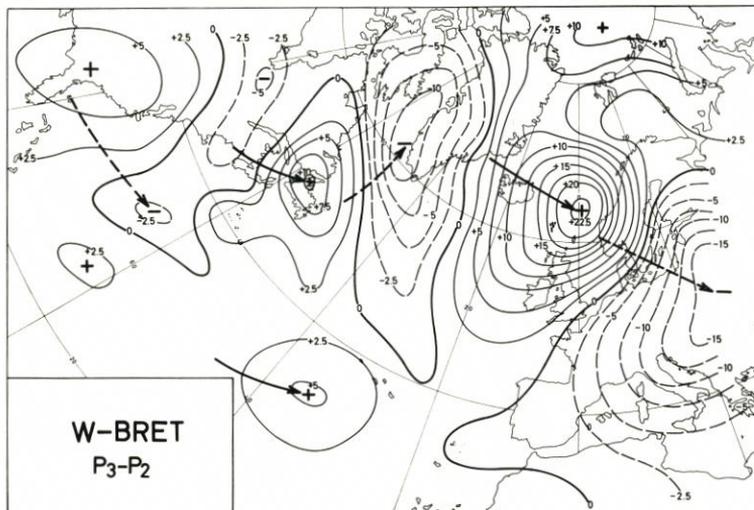


Abb. 67

### Typ: Hoch westlich der Bretagne (W-BRET)

1. Tag: Warmes Hoch 1032 mb bei 47°N, 12°W, umströmt von Tropikluft vom Azorengebiet bis Mittelnorwegen. Kaltes „Gegenhoch“ nur schwach ausgeprägt (1013 mb) östlich Neufundland. Älteres Haupttief 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-Tief 994 mb „stromabwärts“ bei 64°N, 10°W. Weitere Frontalzyklone 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.

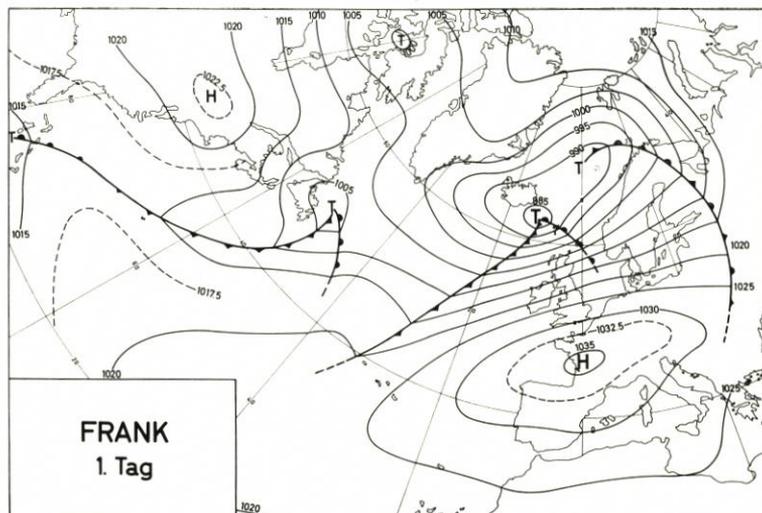


Abb. 68

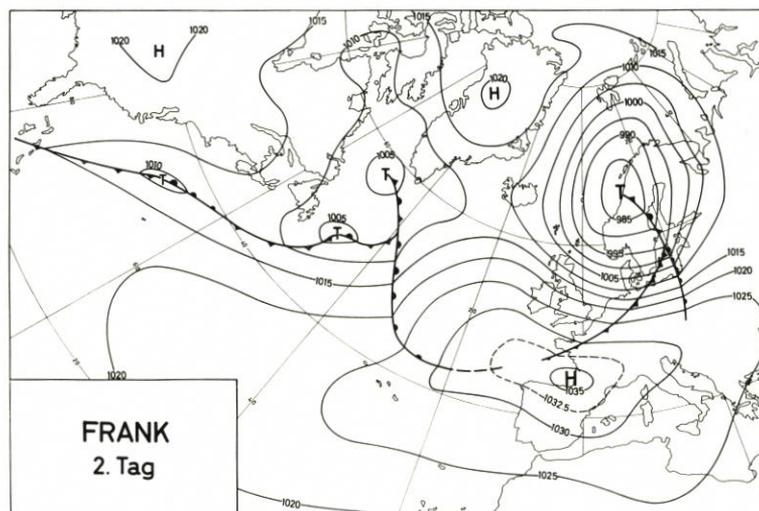


Abb. 69

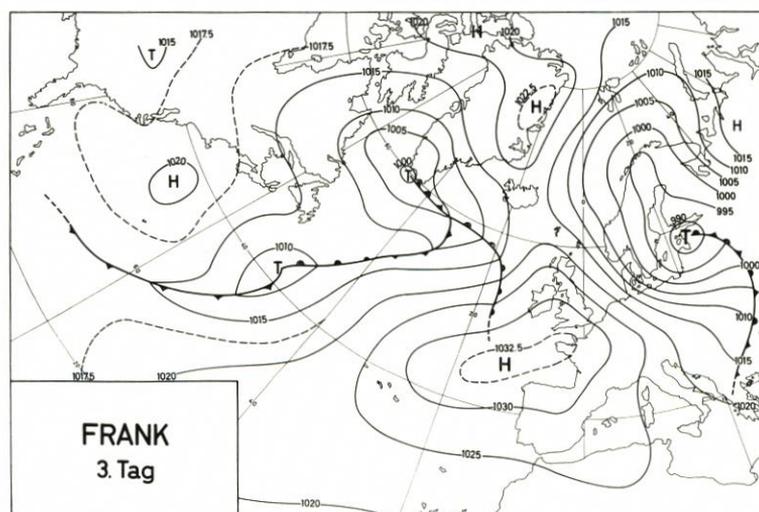


Abb. 70

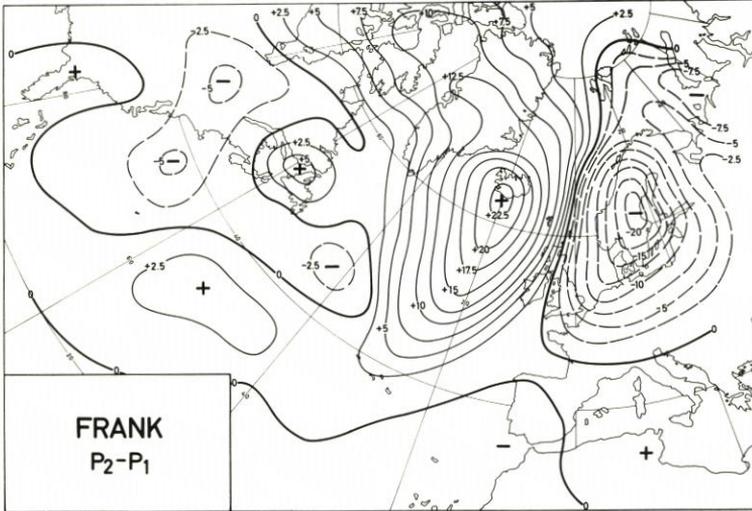


Abb. 71

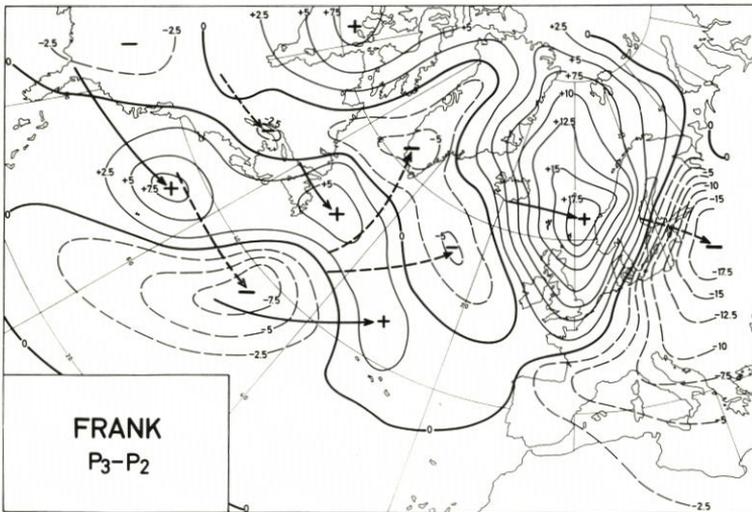


Abb. 72

### 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.

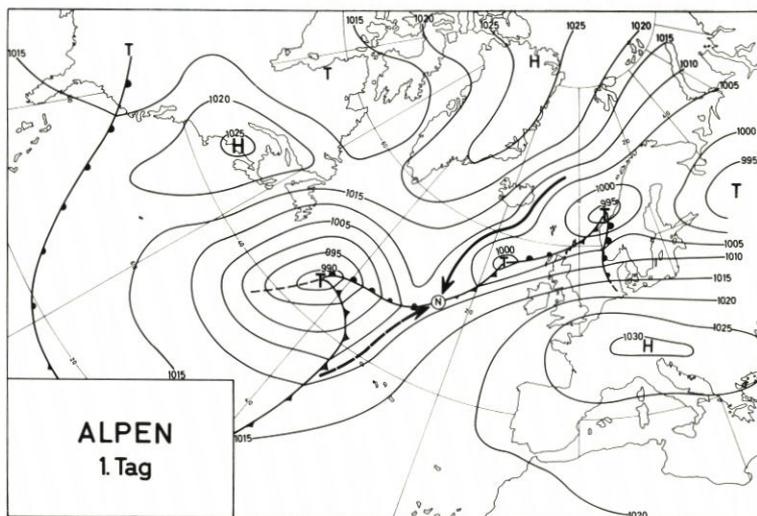


Abb. 73

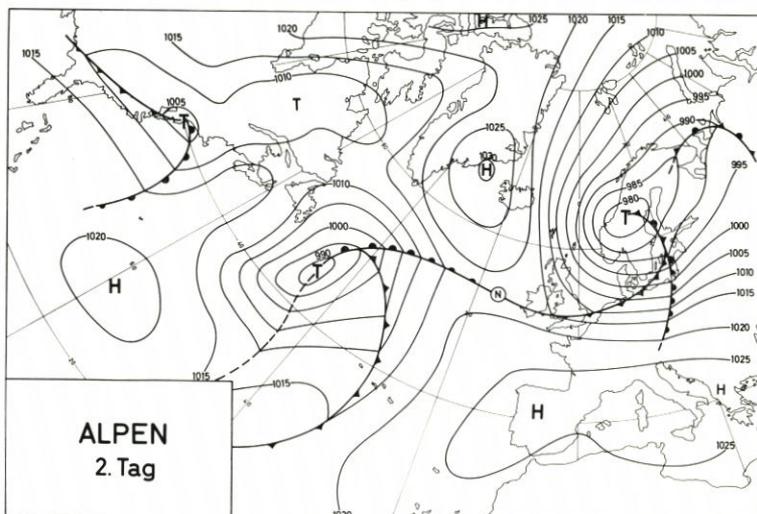


Abb. 74

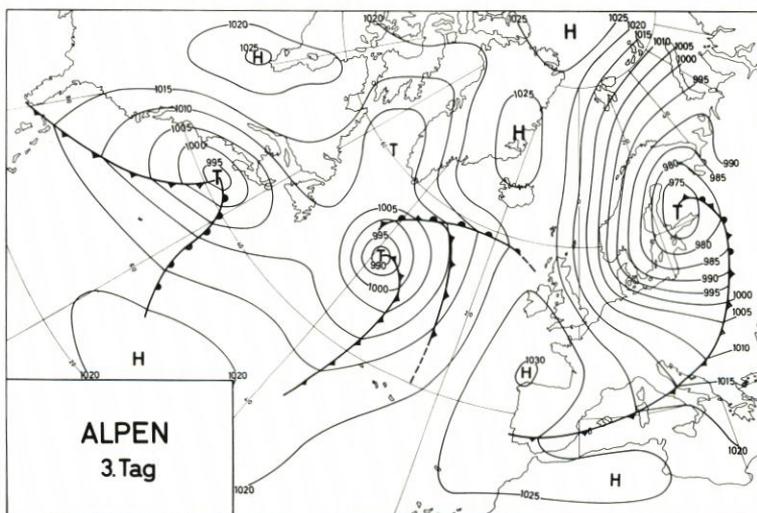


Abb. 75

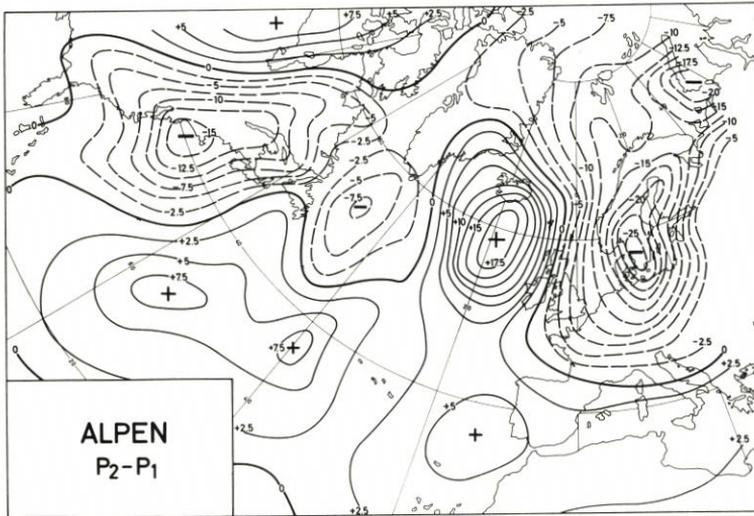


Abb. 76

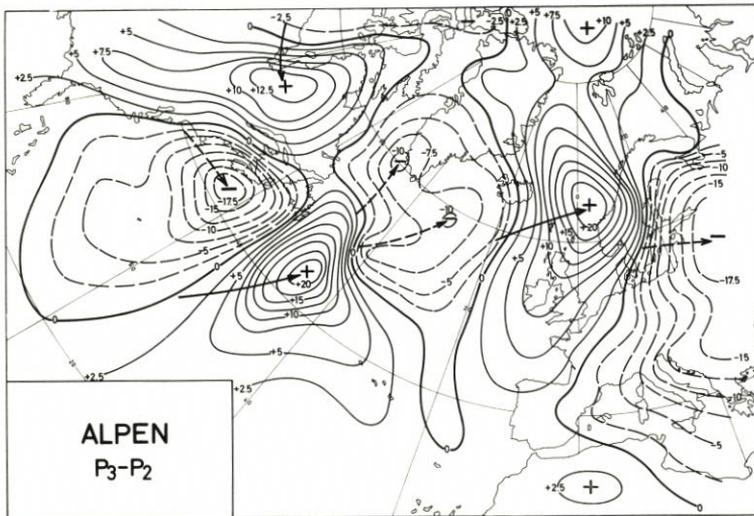


Abb. 77

### 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. Tiefssystem 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 GEFÄHR“ 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 ( $30^{\circ}$  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.

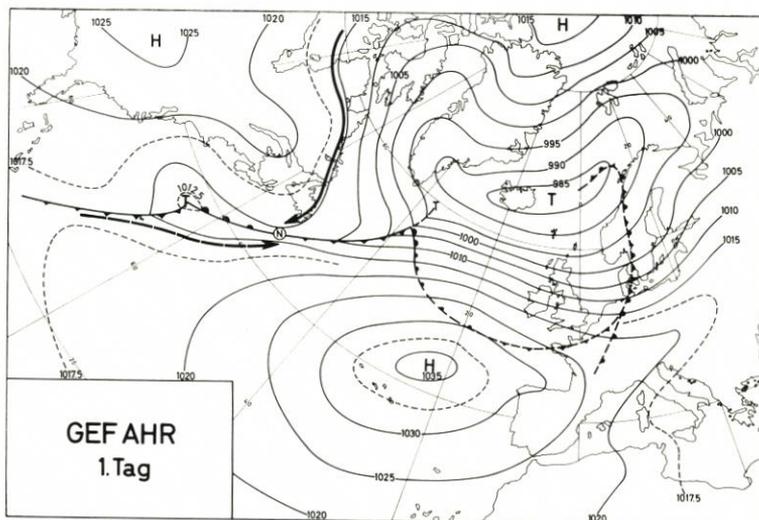


Abb. 78

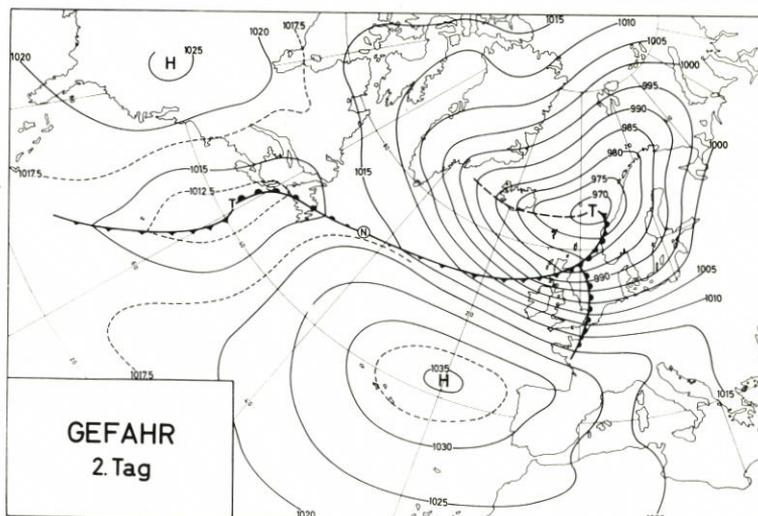


Abb. 79

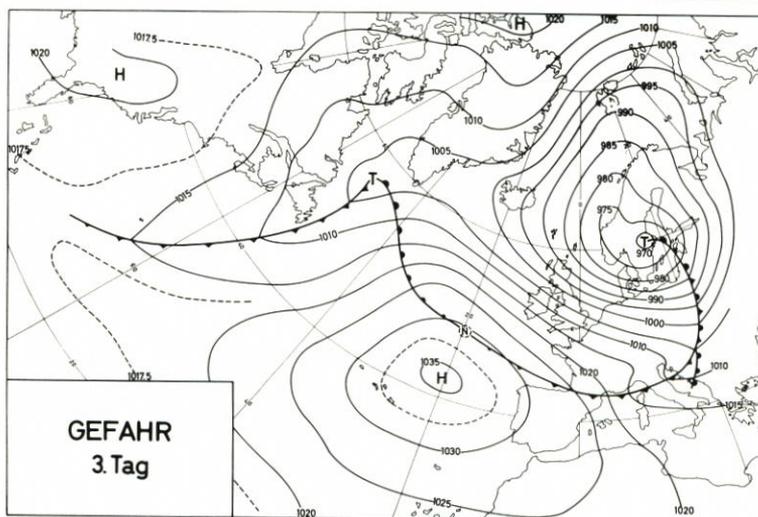


Abb. 80

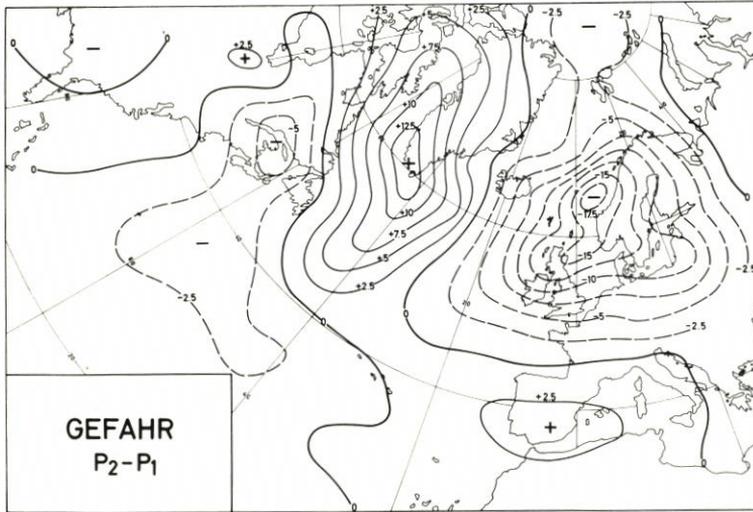


Abb. 81

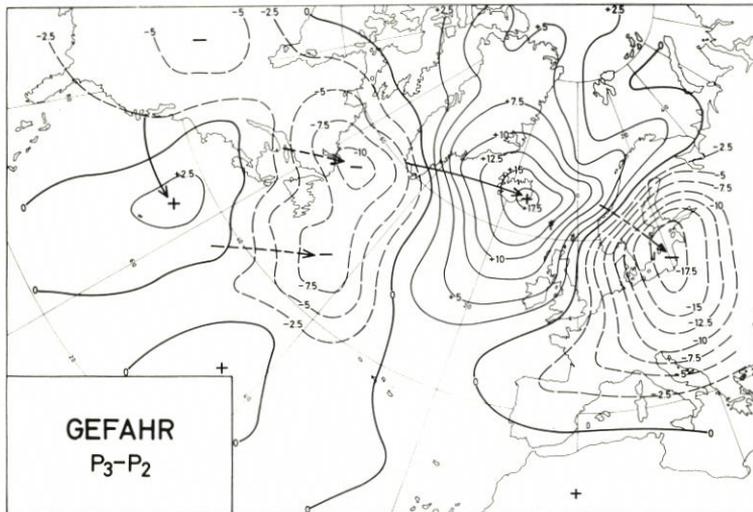


Abb. 82

#### Muster: Schwere Sturmfluten (GEFAHR)

1. Tag: Warmes Hoch 1037 mb auf  $42^{\circ}$  N,  $23^{\circ}$  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  $44^{\circ}$  N,  $53^{\circ}$  W. „Stromabwärts“ Warmsektor-Störung mit Tief-Neubildung 994 mb bei  $59^{\circ}$  N,  $37^{\circ}$  W.

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

3. Tag: Sturmtief etwa gleichbleibend (969 mb) jetzt auf  $60^{\circ}$  N,  $15,5^{\circ}$  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  $48^{\circ}$  N,  $20^{\circ}$  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 GEFÄHR (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 GEFÄHR (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 GEFÄHR 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 hauptsächlichliche 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) Tympittel 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;

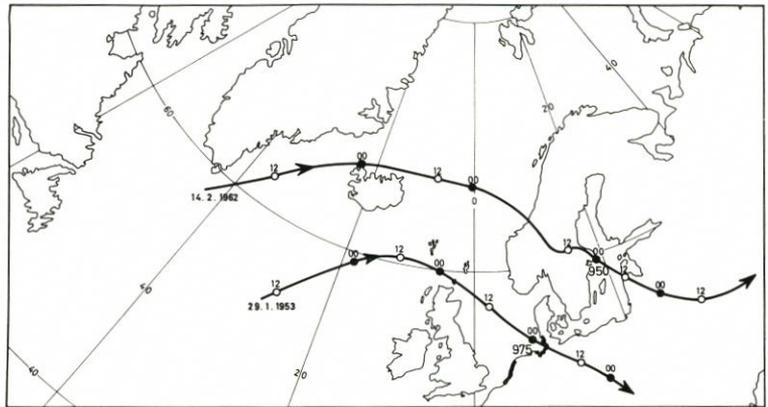


Abb. 83

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 Halbtagsstrecken, 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  $55^{\circ}$  und  $65^{\circ}$  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  $57^{\circ}$  bis  $60^{\circ}$  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.

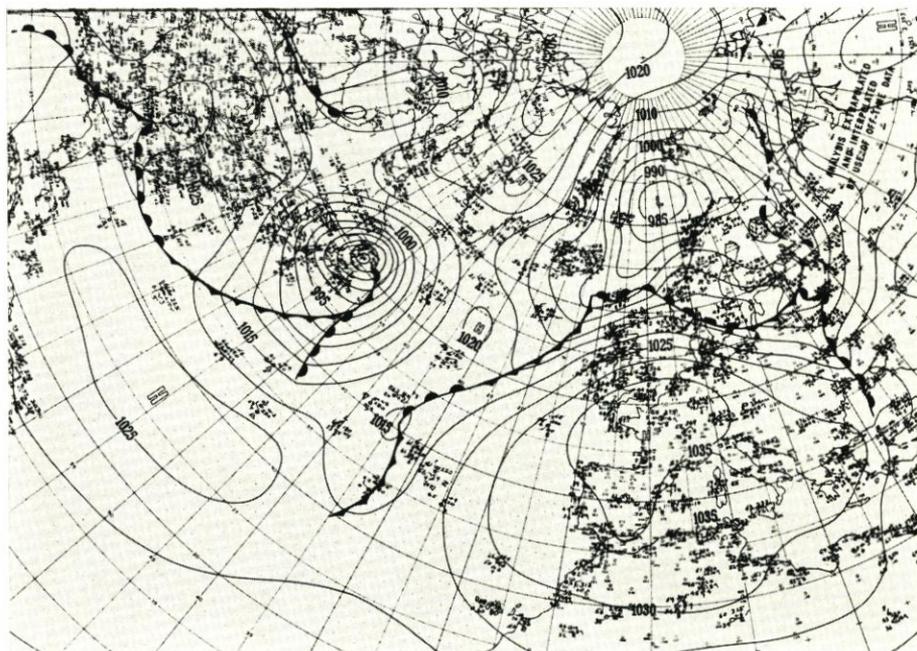


Abb. 84. Wetterlage vom 28. Februar 1945 mittags

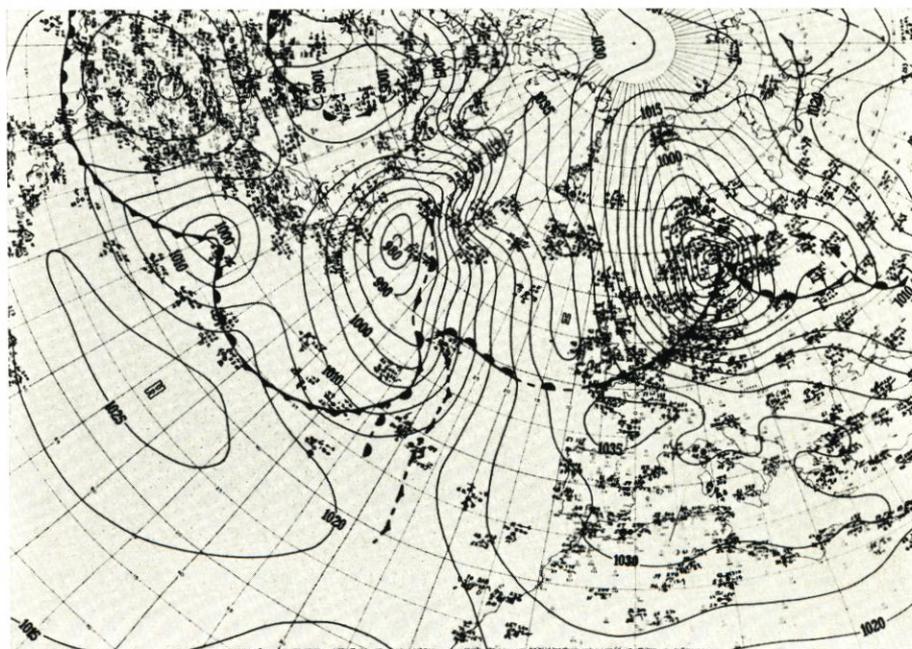


Abb. 85. Wetterlage vom 1. März 1945 mittags

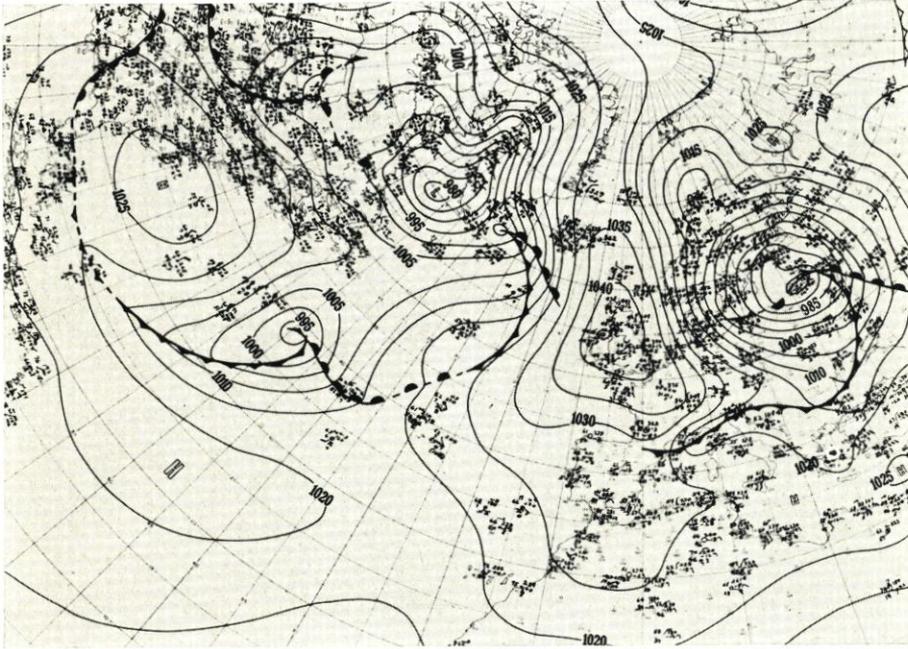


Abb. 86. Wetterlage vom 2. März 1945 mittags

### 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  $48^{\circ}$  N,  $27^{\circ}$  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.

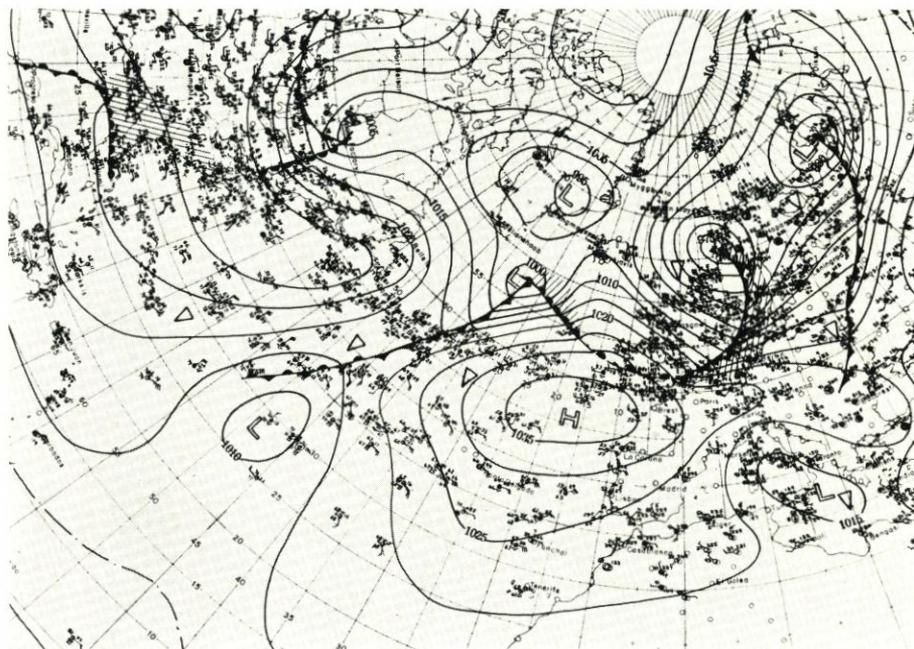


Abb. 87. Wetterlage vom 16. Dezember 1923 mittags

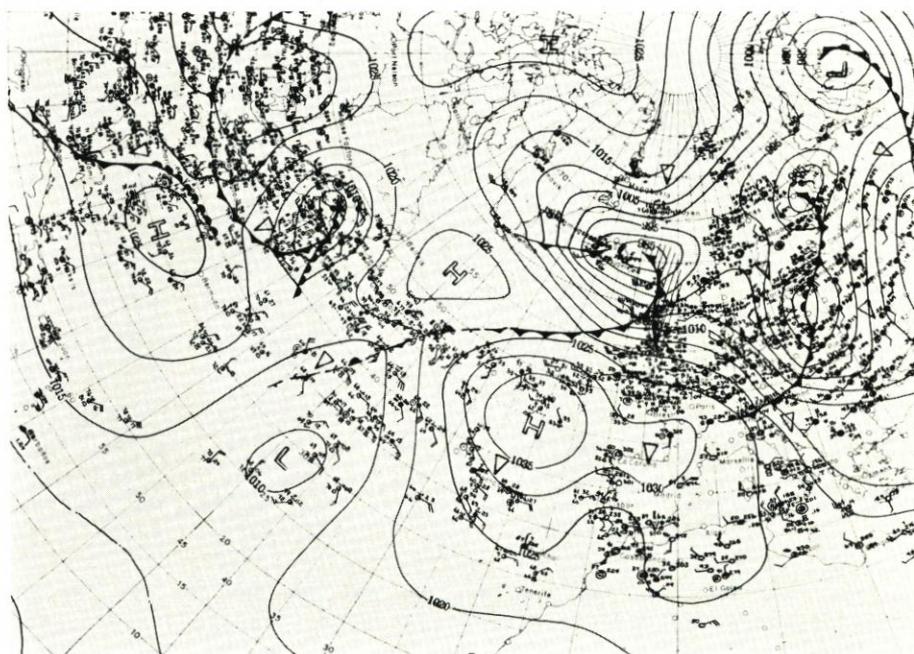


Abb. 88. Wetterlage vom 17. Dezember 1923 mittags

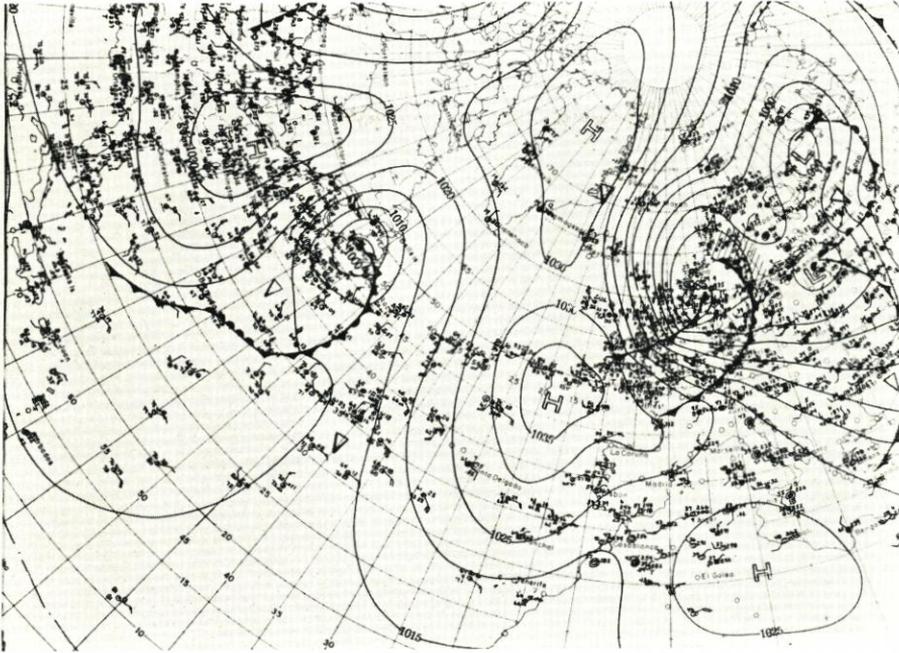


Abb. 89. Wetterlage vom 18. Dezember 1923 mittags

### 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 Druckanstieg 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.)

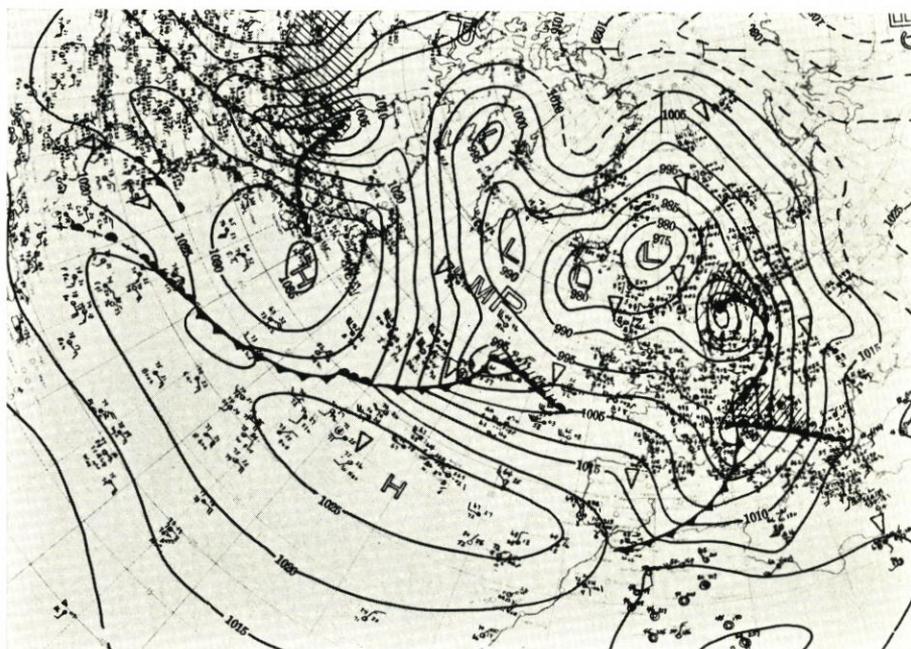


Abb. 90. Wetterlage vom 22. November 1938 mittags

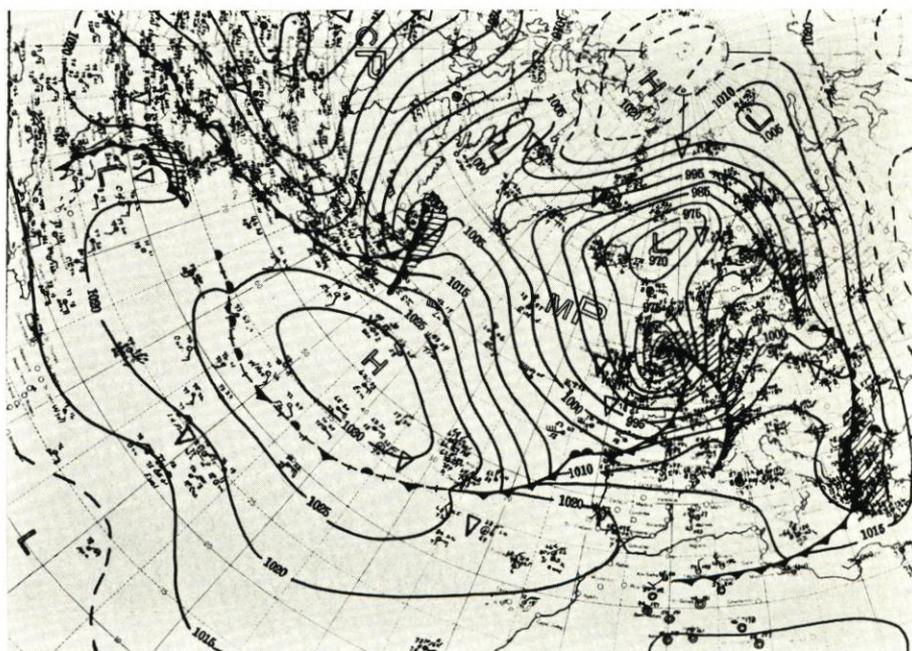


Abb. 91. Wetterlage vom 23. November 1938 mittags

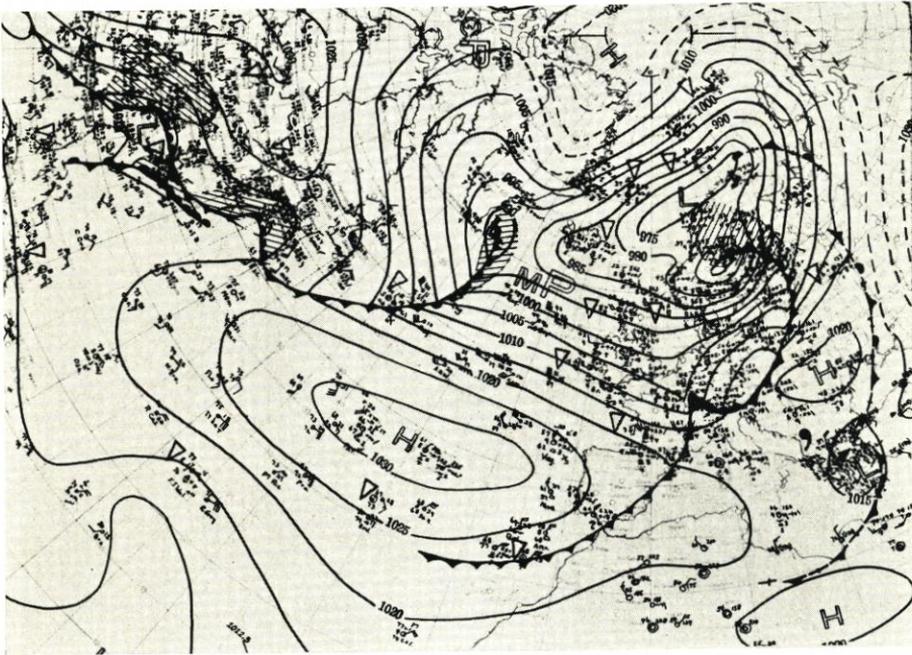


Abb. 92. Wetterlage vom 24. November 1938 mittags

### 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  $34^{\circ}$  N,  $30^{\circ}$  W — am 22. XI. 38 zeigt sich ein junges Warmsektor-Tief von 995 mb bei  $50^{\circ}$  N,  $28^{\circ}$  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  $37^{\circ}$  N,  $47^{\circ}$  W angedeutet. Eine starke NW-Strömung von der Labrador-See faßt hinter das Warmsektor-Tief.

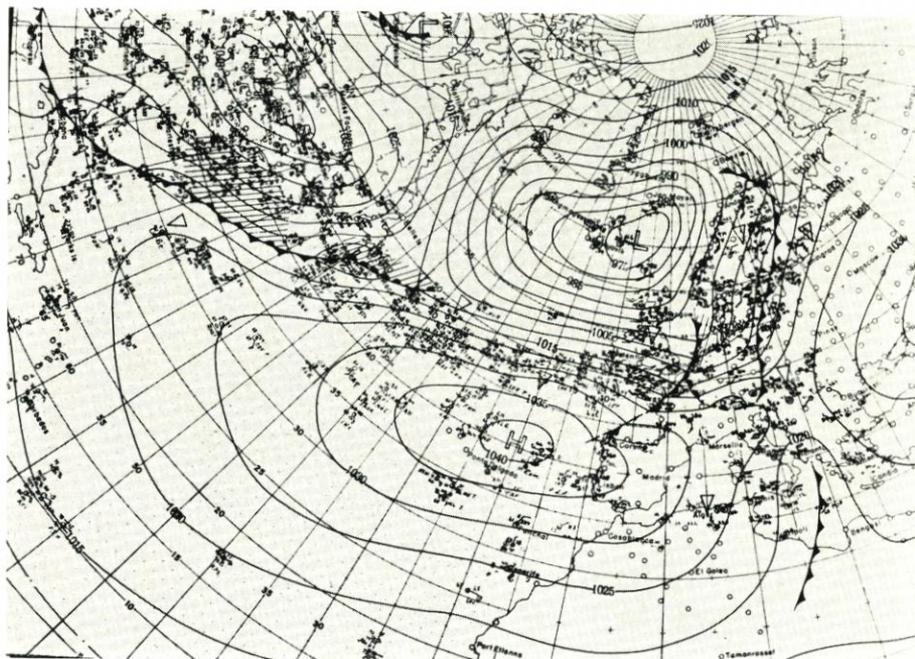


Abb. 93. Wetterlage vom 14. Februar 1916 mittags

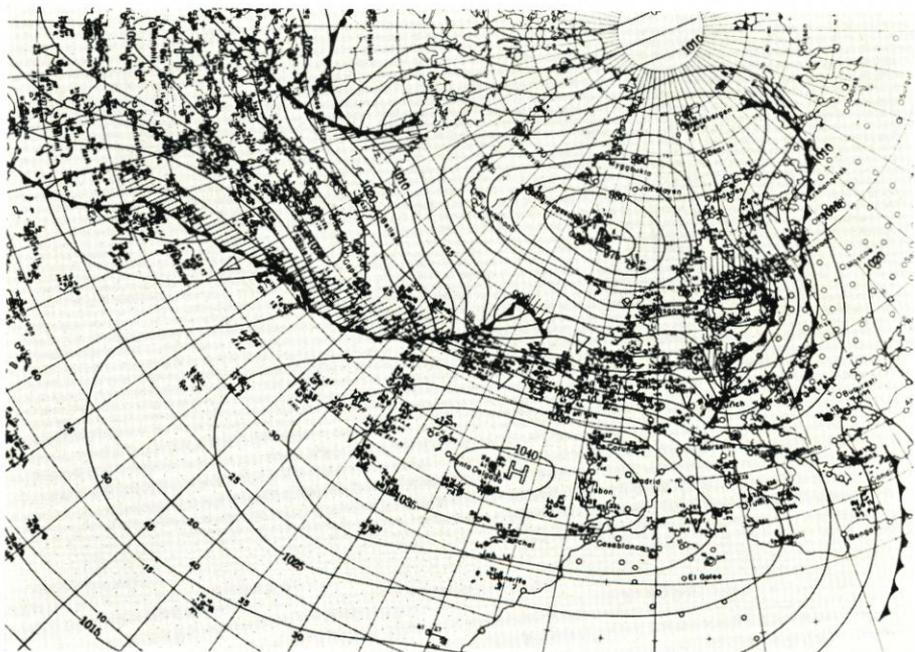


Abb. 94. Wetterlage vom 15. Februar 1916 mittags

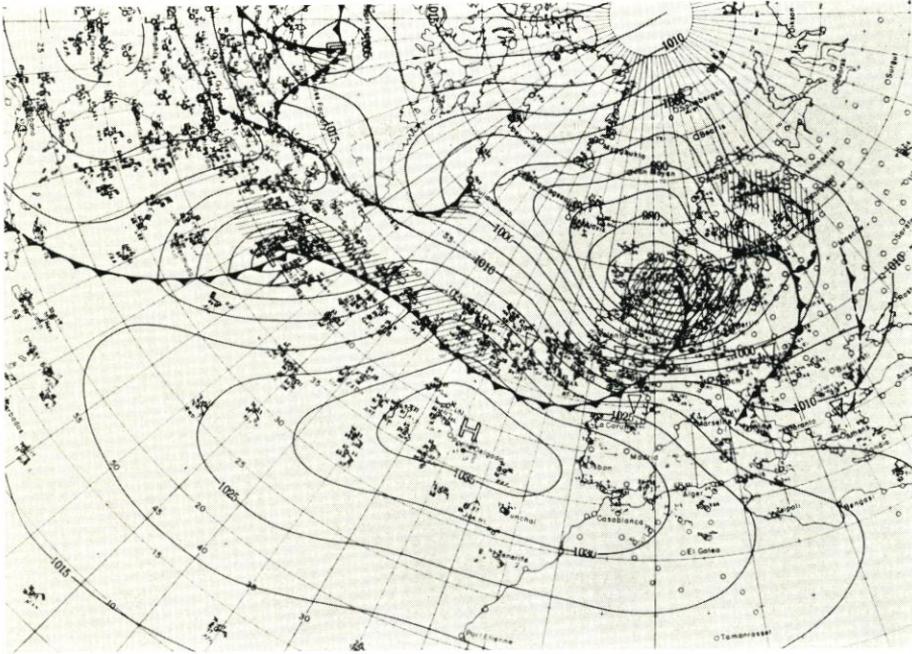


Abb. 95. Wetterlage vom 16. Februar 1916 mittags

### 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  $40^{\circ}$  N,  $20^{\circ}$  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  $43^{\circ}$  N,  $43^{\circ}$  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.

# Naturnaher Küstenschutz am Beispiel der Hörnum-Düne auf der Insel Sylt nach der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962

Von Hermann Czock und Peter Wieland

## Inhalt

1. Einführung . . . . .	61
2. Örtliche Verhältnisse . . . . .	61
3. Folgen der Sturmflut . . . . .	64
4. Wiederaufbau der Randdüne . . . . .	66
5. Die naturnahe Methode . . . . .	66
6. Kosten . . . . .	70
7. Unterhaltung und Ergänzungen . . . . .	70
8. Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	72
9. Schriftenverzeichnis . . . . .	72

### 1. Einführung

Der ständige Angriff des Meeres und des Windes entlang der Nordseeküste bringt Aufgaben mit sich, die nur dann optimal gelöst werden können, wenn es gelingt, in der Natur zu lesen und sich ihrer Gesetze zu bedienen. Die Westküste der Insel Sylt stellte in dieser Hinsicht schon immer besondere Anforderungen. So wurden auf Sylt zum erstenmal im Jahre 1867 Meereseinbrüche durch Verwendung von Sandfangzäunen geschlossen (GERHARDT, S. 307), während auf der Kurischen Nehrung nach demselben Verfasser hintereinander gestaffelte Zäune schon im 16. Jahrhundert angewendet wurden. Wie im folgenden zu zeigen sein wird, konnte hier naturnah in kurzer Zeit aufgebaut werden, was das Meer zerstörte. Naturnah, das heißt, die Grenzen des Gesamthaushalts der Natur achten, Maßnahmen einordnen in die Kräftebewegungen, diese nutzen und Stoffe verwenden, die die Natur anbietet.

### 2. Örtliche Verhältnisse

Sylt ist dem Kräftespiel zwischen Meer, Wind und Sand wesentlich mehr ausgesetzt als die übrigen nordfriesischen Inseln. Vergleiche mit älteren Karten zeigen deutlich ihren Gestaltwandel, der noch heute andauert. So bildeten sich in Jahrhunderten durch Abtrag des einst linsenförmigen Diluvialkerns im Westen und späterer Ablagerung der durch das Meer weitertransportierten Teilchen im Strömungsschatten der nördliche (List) und südliche (Hörnum) Nehrungshaken (Abb. 1). Meeresströmungen und Winde höhten den Sand auf und schufen die Dünenkette entlang der heute etwa 40 km langen Westküste (2).

Dieses wechselnd breite Dünenmassiv bildet eine natürliche Wehr und schützt auch den Ort Hörnum vor den vom Westen drohenden Fluten. Es besteht aus zahlreichen verschiedenen hohen Kuppen, schmalen und massigen Rücken und darin eingestreuten Kesseln, reicht teilweise bis an den Ort heran, schrumpft aber an einigen Stellen zu einem schmalen Grat zusammen. Diese Situation ist nördlich Hörnums beim Zeltplatz zu finden (Abb. 2). Die Düne riegelt hier

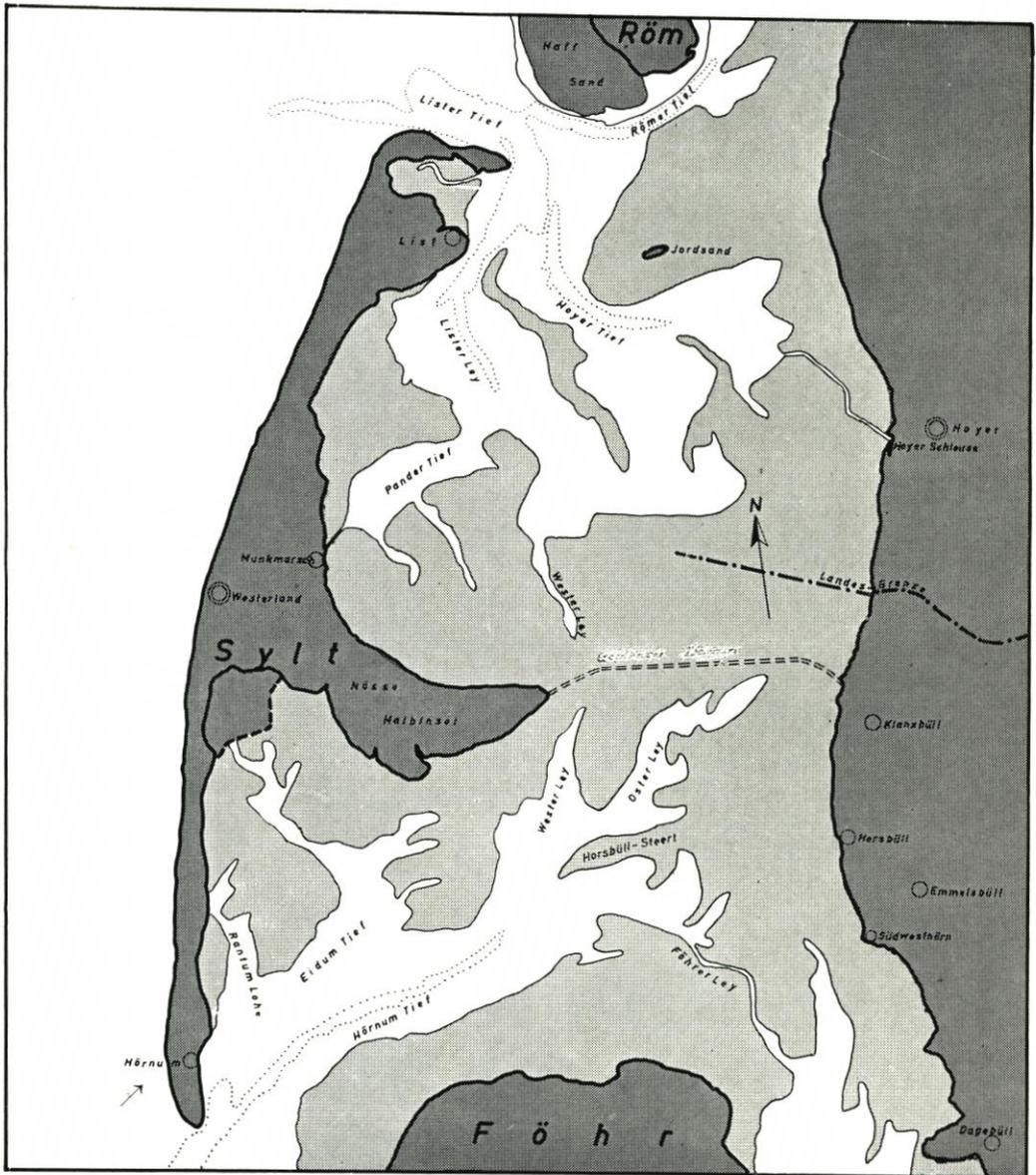


Abb. 1. Die Lage der Insel Sylt vor der nordfriesischen Küste. Die hellgrau getönten Flächen stellen die bei Niedrigwasser trockenfallenden Watten dar. Der Pfeil (links unten) zeigt auf die Einbruchsstelle vom Februar 1962

ein weites Tal ab, das sich bis an den Ort erstreckt. Ähnlich, jedoch weitläufiger, sieht es westlich des Ortes, vor der im Jahre 1960 trotz deutlicher Warnung vor den vom Meer drohenden Gefahren errichteten KERSIG-Siedlung aus (Abb. 3). Diese steht auf einer bis zu etwa NN + 20 m hohen und etwa 300 m breiten Düne. Zwischen Meeresufer und dem Fuß dieser nach Westen steil geböschten Düne erstreckt sich ein Tal, das durch einen relativ niedrigen Dünenwall von im Mittel NN + 4,8 m vom Meer getrennt ist, am nördlichen Siedlungsende be-



Abb. 2.  
Schmales Randdünenglied  
beim Zeltplatz nördlich von  
Hörnum vor der Februar-  
sturmflut 1962



Abb. 3.  
Schwaches Randdünenglied  
westlich Hörnum am Fuße  
der KERSIG-Siedlung (links)  
vor der Februarsturmflut  
1962  
Aufn. WAAK



Abb. 4.  
Die schmale Randdüne, ein  
natürlicher Schutzwall vor  
dem Meer, wird während  
der Februarsturmflut 1962  
von mächtigen Brandungs-  
wellen durchgebrochen  
Aufn. WAAK

ginnend, dann breiter werdend und einen Bogen beschreibend (Abb. 5). Diese Situation war bis kurz vor Eintreten der großen Sturmflut im Februar 1962 vorhanden.

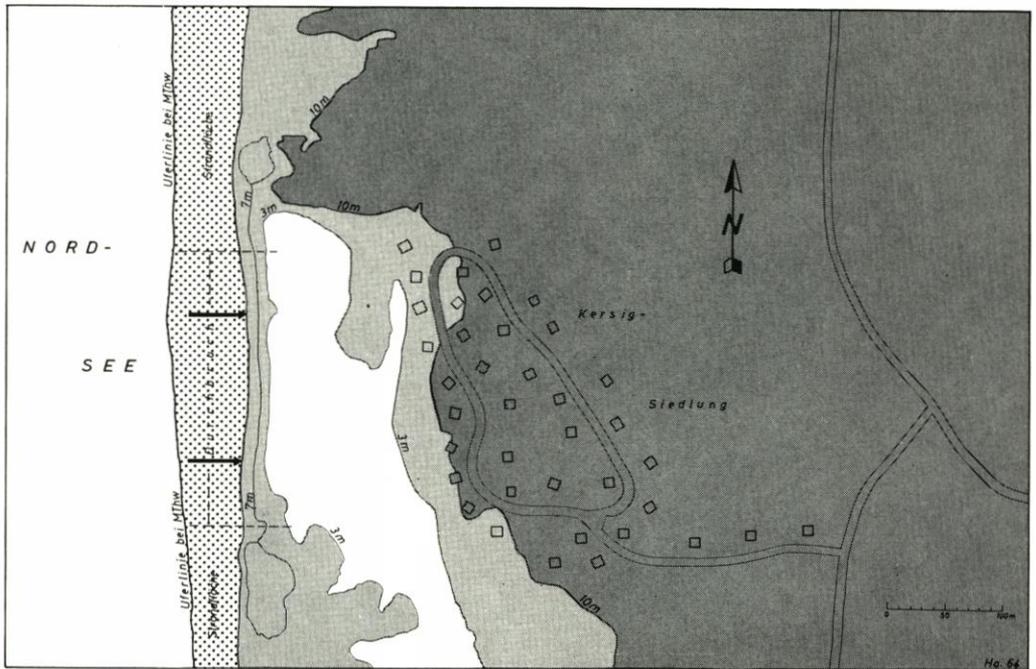


Abb. 5. Lageplan der Einbruchsstelle mit der wiederhergestellten Randdüne und der KERSIG-Siedlung. Zwischen den beiden schwarzen Pfeilen befand sich die Durchbruchsstelle vom 16./17. Februar 1962. Das zwischen neuer Randdüne und KERSIG-Siedlung gelegene Tal (weiß) erstreckt sich bis an den Ortsrand Hörnums im Süden

### 3. Folgen der Sturmflut

In der Nacht vom 16. zum 17. Februar 1962 setzte nach langandauernden Stürmen mit Orkanböen aus gleichbleibend nord-westlicher Richtung eine Sturmflut ein, die bisher nicht gemessene Wasserstände hervorrief. Der Pegel in Hörnum zeigte ein HHT<sub>hw</sub> von 882 cm bezogen auf ein Pegel-Null von NN - 5,0 m. Bezogen auf ein in der Jahresreihe 1951/60 ermitteltes MTH<sub>w</sub> von PN + 581 cm stieg das Wasser also um 3,01 m darüber auf NN + 3,82 m an. Der höchstmögliche für diesen Küstenabschnitt zu erwartende Wasserstand liegt nach den jüngsten Ermittlungen auf NN + 4,50 m. Die ausschließlich aus Sand aufgebaute Düne war der Gewalt der Sturmflut nicht gewachsen (Abb. 4). Der sie nur rund 90 cm unterhalb ihrer Krone berührende Wasserspiegel führte zur Durchsickerung, und die auftreffenden Wellen durchbrachen beide vorgenannten Schutzwälle in kurzer Zeit und ebneten sie auf ihrer ganzen Länge ein. Vor der KERSIG-Siedlung entstand eine Lücke von rund 250 m Breite, und der Strand reichte bis an den Fuß der Hauptdüne heran, auf der die Siedlung steht. Dort, wo vorher eine NN + 4,80 m hohe Düne war, war jetzt ein breiter, bis auf NN + 2,0 m reichender Strand (Abb. 6). Das Tal beim Zeltplatz wurde überflutet. Die dort entstandene Durchbruchlücke in der Düne ist durch einen rückwärtigen Sanddeich mit Asphaltbedeckung ungefährlich gemacht worden, und die südliche Düne wurde wieder aufgebaut.



Abb. 6.

Nach der Februarsturmflut reicht der breite Strand bis unmittelbar an den Fuß der sehr steil geböschten, jetzt ungeschützten KERSIG-Siedlung (Vordergrund rechts). Blickrichtung nach Nordwesten  
Aufn. HEROLD



Abb. 7.

Erste Arbeiten, um der Natur beim Wiederaufbau der von ihr zerstörten Düne zu helfen: Setzen von Sandfangzäunen. Blickrichtung nach Südwesten  
Aufn. HEROLD

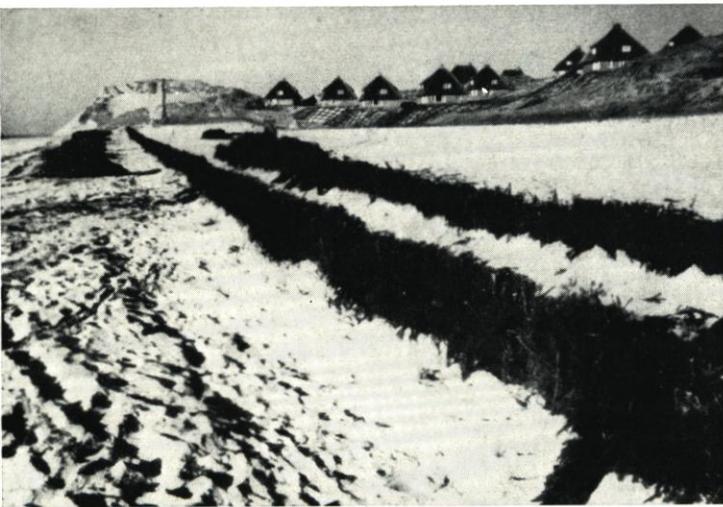


Abb. 8.

Setzen von Sandfangzäunen von 0,5 m lichter Höhe aus totem Laubreisig. Blickrichtung nach Norden  
Aufn. HEROLD

#### 4. Wiederaufbau der Randdüne

Als erste Reaktion nach Abflauen der Flut erfolgte eine Ausschreibung. Sie sah vor, mit Lastkraftwagen Sand aus den inneren Dünenbereichen in die Bruchstellen zu fahren, um auf diese Weise künstlich einen Dünenwall aufzuschütten. Die Böschungen sollten in Anlehnung an die wahrscheinlich bei den dortigen Verhältnissen zu erwartende Form außen 1:4 und innen 1:3 geneigt und die Krone 8,0 m breit sein. Ihre Höhe sollte auf NN + 6,0 m liegen. Insgesamt waren rund 50 000 m<sup>3</sup> Dünensand in ungünstigem Gelände zu bewegen und einzubauen. Das Ausschreibungsergebnis dieser Maßnahme erbrachte eine Kostensumme von rund 200 000 DM. Das war am 10. April 1962.

Bereits während der Vorbereitungen hierzu wurde versucht, das Ziel auf einfachere Weise zu erreichen. Es hatte sich nämlich bei früheren auf Sylt durchgeführten Dünenbaumaßnahmen bestätigt, was der klassische Dünenbau (1) bereits im 19. Jahrhundert gezeigt hat, daß nämlich die Natur bei nur geringer technischer Mithilfe des Menschen unter Ausnutzung ihres unentwegten Kräftespiels der beste Baumeister ist.

Weil dieser Vorgang witterungsabhängig war und man nicht voraussagen konnte, ob die Natur schnell genug arbeiten würde, wurden die genannten Sandtransportarbeiten vorbereitet. Sie brauchten aber nicht ausgeführt zu werden, da sich bald herausstellte, daß die Windverhältnisse günstig waren und eine schnelle natürliche Dünenentwicklung wahrscheinlich war. Als weiteres, sehr wesentliches Moment kam begünstigend hinzu, daß sich ein Teil der aus der Randdüne gerissenen Sandmassen im engeren Strandbereich abgelagert hatte, so daß der Strand aufgehört und vor allem verbreitert worden war. Auf diese Weise trat der Strand selbst als „Stofflieferant“ in Funktion.

#### 5. Die naturnahe Methode

Am 22. Februar 1962 wurden etwa in der Achse der fortgerissenen Düne quer zur Hauptwindrichtung zwei Sandfangzäune von je rund 250 m Länge gesetzt (Abb. 7 und 8).

Hierzu wurde totes Reisig von Birke, Haselnuß, Weide und Eiche verwendet. Es entspricht den Bedingungen, zu 40 % durchblasbar zu bleiben, damit eine Windwirbelbildung und damit ein Ausblasen des Sandes direkt vor und hinter dem Hindernis vermieden wird. Das Reisig wurde in 70 cm lange Ruten gehackt, die 20 cm tief dicht stehend senkrecht in den Sand gesetzt wurden, so daß ihre oberen Enden eine durchgehend horizontale Linie bildeten. Das ist deswegen zu beachten, da andernfalls nicht ein gleichmäßiges Überströmen des Windes gewährleistet ist. Unruhige Zonen in der Windströmung führen zu Unregelmäßigkeiten in der Dünenkrone und können den Ausgangspunkt zu den schwer wieder zu schließenden Windrissen bilden.

Die freie Höhe der Fangzäune ergab sich aus der Bedingung, daß sie bei den gegebenen Windverhältnissen noch elastisch sein mußten, aber nicht mehr umbiegsam sein durften. Darüber hinaus wurde bei der gewählten Höhe von 50 cm über der neuen Strandoberfläche die natürliche Profilierung der Düne am wenigsten behindert, und es war leichter möglich, den Entwicklungsvorgang in Länge und Breite zu beeinflussen, da jeweils in kurzer Zeit nur relativ flache Schichten aufwehten.

Die so errichteten Fangzäune waren nach rund sechs Wochen eingeweht. Es hatte sich im Bereich der durch dies Hindernis verminderten Windgeschwindigkeit und infolge seiner „sandkämmenden“ Wirkung eine flache Sandwelle gebildet. Hierauf wurde sofort ein neuer Doppelzaun gezogen, etwas nach Osten versetzt, um eine ausreichende Breite der wachsenden



Abb. 9.  
Durch neues Setzen von Sandfangzäunen auf die bereits zugewehten unteren erhöht sich die Düne langsam. Blickrichtung nach Süden  
Aufn. WAAK

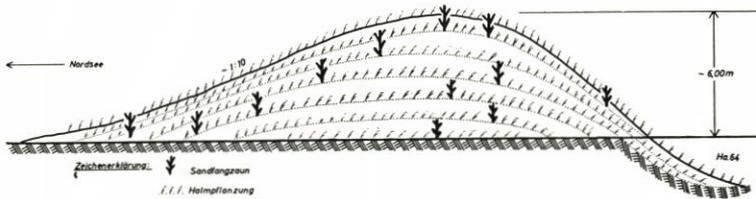


Abb. 10. Schematische Skizze vom Wiederaufbau der Randdüne mit Hilfe von Buschzäunen und Helm-Pflanzungen



Abb. 11.  
Neuerrichtete Randdüne im Sommer 1963. Sie hat hier bereits wieder eine Höhe von  $+6,0$  m NN erreicht. Deutlich sichtbar sind die zwei Reihen Sandfangzäune auf der Krone und zur Sicherung am Fuß sowie die Strandhaferbepflanzung. Blickrichtung nach Süden  
Aufn. E. WOHLBERG

Düne zu erhalten. Bereits in knapp drei Wochen, gut doppelt so schnell wie die vorigen, waren diese Zäune eingeweht (Abb. 9 und 11). In dieser Weise wurde durch wiederholt neues Setzen von Sandfangzäunen, unmittelbar nachdem die vorhandenen nur noch mit ihren Spitzen aus dem Sand herausragten, die neue Randdüne nach und nach erhöht (Abb. 10). Die Witterungsverhältnisse konnten rückwirkend aus der jeweiligen Dauer der Einsandung abgelesen werden. Ruhigeren Perioden folgten solche mit Stürmen bis zu Stärke 10 Bft. in Böen. Allerdings nahm mit der Zunahme der Düne ihre Wachstumsgeschwindigkeit ab. Bis zum Ende des Jahres 1962 war eine Kronenhöhe von rund NN + 4,6 m erreicht worden, das waren in der Achse 2,5 m über dem Strand. Ab Jahresbeginn 1963 sind bis heute, Ende 1964, nur noch fünfmal neue Sandfangzäune gesetzt worden. Im Juli 1962 war der Fuß des neuen Dünenriegels breit genug, so daß von da an nur eine Buschzaunreihe ausreichte. Sie wurde nach jeder Übersandung so weit zurückversetzt, daß die seeseitige Böschung im MHThw-Bereich möglichst nicht steiler als 1:8, besser 1:10, darüber aber höchstens 1:3 geneigt war (Abb. 10 und 11). Durchweg genügte ein Versetzen von einem Meter landeinwärts. Es muß hier aber betont werden, daß diese Angabe sowie auch die vorangegangenen auf keinen Fall als Norm für andere Verhältnisse Gültigkeit zu haben brauchen. Die Kräfte und der Stoffhaushalt der Natur sind je nach Windstärke, -richtung und -intensität sowie je nach Strandneigung und -breite, Kornzusammensetzung und Wassergehalt des Sandes überall andere. Hinzu kommt, daß sich entsprechend dem wechselnden Spiel der Kräfte sowohl in der Horizontalen als auch in der Schrägen der Böschungen gerade Linien niemals erreichen lassen werden und auch nicht erreicht werden sollen. Besonders sorgfältig sind die Anschlußstellen an vorhandene Dünen, wie hier am nördlichen und südlichen Ende, zu behandeln (Abb. 11 und 14). Die dort nicht immer zu vermeidenden Kehlen müssen so flach wie möglich ausgerundet werden.

Um solchen Feinheiten gerecht zu werden, wurde überall dort, wo es zweckmäßig war, neben dem Reisig der Helm verwendet (*Ammophila arenaria*), der Strandhafer. Nach den im klassischen Dünenbau und auch auf Sylt gewonnenen Erfahrungen eignet sich der Helm von den in Frage kommenden Dünengräsern am besten als Sandfänger für quantitativ geringere Anforderungen. Er besitzt ausreichend Blattmasse, ist widerstandsfähig und bekanntlich befähigt, mit dem aufwehenden Sand, der zugleich Nahrungsbringer ist, hochzuwachsen. Die sich immer wieder an den Halmknoten bildenden Sekundär- oder Triebwurzeln festigen den Sand. Der Strandhafer sollte außerdem die Sandablagerung beschleunigen und vor allem den Kronenbereich der Düne vor einem möglichen Windabtrag bei Winden aus Nord, Ost oder Süd schützen (Abb. 12 bis 14). Er wurde im Engverband (Reihenabstand 40 cm, Pflanzenabstand 30 cm), gepflanzt. Später, als die Düne hoch genug aufgeweht war, genügte ein Dreiecksverband von 50 × 50 cm zum Festlegen des Sandes. Die Strandhaferstecklinge wurden aus gesundem, dreijährigem Bestand der inneren Dünen gewonnen.

In Kauf genommen werden mußte jedoch, daß der Strandhafer mit dem Dünenwachstum, zumindest in den ersten Monaten, nicht Schritt halten konnte und oft völlig zugedeckt wurde, so daß neue Pflanzen gesteckt werden mußten. Die dadurch erforderlichen geringen Mehrkosten stehen in keinem Vergleich zu dem erzielten Erfolg und sind unbedeutend in der ohnehin sehr billigen Gesamtmaßnahme, wie noch zu zeigen sein wird.

Die in der beschriebenen Weise, also auf natürlichem Wege, entstandene Randdüne hat heute eine Höhe von NN + 7,18 m erreicht (Abb. 13 bis 15). Ihre Krone liegt damit um rund 2,4 m höher als vor der Zerstörung. Wie aus der Tabelle auf Seite 70 hervorgeht, sind insgesamt etwa 51 000 m<sup>3</sup> Sand durch Windkräfte bewegt und abgelagert worden.

Aus den in Abbildung 15 aufgetragenen Querprofilen, die in den oben aufgeführten Zeitabständen gemessen worden sind, geht deutlich hervor, daß auch das landseitig der neuen Randdüne gelegene Tal um gut 1,5 m aufgehöhht worden ist.



Abb. 12.  
Vor dem Leehang der neu  
geschaffenen Vordüne war  
eine enge Felderung der  
Sandfangzäune zweckmäßig  
(siehe Abb. 13)  
Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 13.  
Das Anlegen von Feldern  
aus winddurchlässigen  
Sandfangzäunen im *inneren*  
Dünental um dies vor Aus-  
blasungen zu schützen und  
auch hier eine weitere Auf-  
höhung zu erreichen  
(siehe auch Abb. 12)  
Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 14.  
Am Leehang der Düne  
stellt sich eine steile Bö-  
schung infolge plötzlichen  
Abfallens des über die  
Krone streichenden Windes  
ein  
Aufn. WAAK

Tabelle  
Wachstum der Randdüne aufgezeigt an der Zunahme der Massen

Zeitabschnitt von bis	Mittl. Profil m <sup>2</sup>	Länge m	Massen m <sup>3</sup>
22. 2. 1962 — 19. 8. 1963	104,44	250	26 110
22. 2. 1962 — 15. 4. 1964	138,70	250	34 675
22. 2. 1962 — 11. 9. 1964	203,70	250	50 925

In der Zeit vom 22. 2. 1962—19. 8. 1963 = 26 110 m<sup>3</sup>

In der Zeit vom 19. 8. 1963—15. 4. 1964 = 8 565 m<sup>3</sup>

In der Zeit vom 15. 4. 1964—11. 9. 1964 = 16 250 m<sup>3</sup>

zusammen: 50 925 m<sup>3</sup>

### 6. Kosten

Für den Aufbau des rund 51 000 m<sup>3</sup> Sand umfassenden Dünenwalls waren folgende Aufwendungen erforderlich:

- A. Liefern und Zubereiten von totem Buschmaterial für insgesamt 15 Sandfangzäune zu je 18 m<sup>3</sup>  
 $15 \text{ Stück} \times 18 \text{ m}^3 = 270 \text{ m}^3 \times 8,40 \text{ DM} =$  2 268,— DM
- B. Setzen von insgesamt 15 Sandfangzäunen zu je 250 m Länge  
 = 3 750 lfdm. im Stundenlohn  
 Normale Wochenleistung einer 4 Mann starken Kolonne bei 45 Stunden Arbeitszeit je Arbeiter (insgesamt 180 Std.) = 468 lfdm. Demnach Stundenleistung eines Arbeiters  $\frac{468 \text{ lfdm.}}{180 \text{ Std.}} = 2,6 \text{ lfdm.}$   
 Der Stundenlohn eines Wasserbauwerkers beträgt z. Z. 2,97 DM + 40% Sozialversicherung und Aufwandsentschädigung = 4,16 DM.  
 $\frac{3 750 \text{ lfdm.}}{2,6 \text{ lfdm./Std.}} \cong 1 442 \text{ Std.} \times 4,16 \text{ DM} =$  5 998,72 DM
- C. Gewinnen und Pflanzen von insgesamt 1 800 Bund Strandhafer in rund 160 Std. im Stundenlohn.  $160 \text{ Std.} \times 4,16 \text{ DM} =$  665,60 DM
- D. Transportieren von Buschmaterial und Strandhafer auf der Insel zum Verwendungsort: 860,— DM
- Gesamtsumme: 9 792,32 DM

Diesem Betrag von rund 10 000 DM (Naturverbau) steht die Angebotssumme von rund 200 000 DM für die ausschließlich künstlich-technische Wiederherstellung der Randdüne gegenüber. Damit ist bewiesen, daß die naturnahe Methode nicht nur einfacher durchzuführen ist und das fertige Werk sich dem Kräftespiel am besten einfügt, sondern daß außerdem mit ihr sehr viel Geld gespart werden kann, günstige Windverhältnisse wie auf Sylt vorausgesetzt.

### 7. Unterhaltung und Ergänzungen

Wesentlich für den Bestand der wiederentstandenen Randdüne ist das Festlegen ihrer Oberfläche, damit böige und nicht sandführende Stürme keinen erneuten Abtrag verursachen

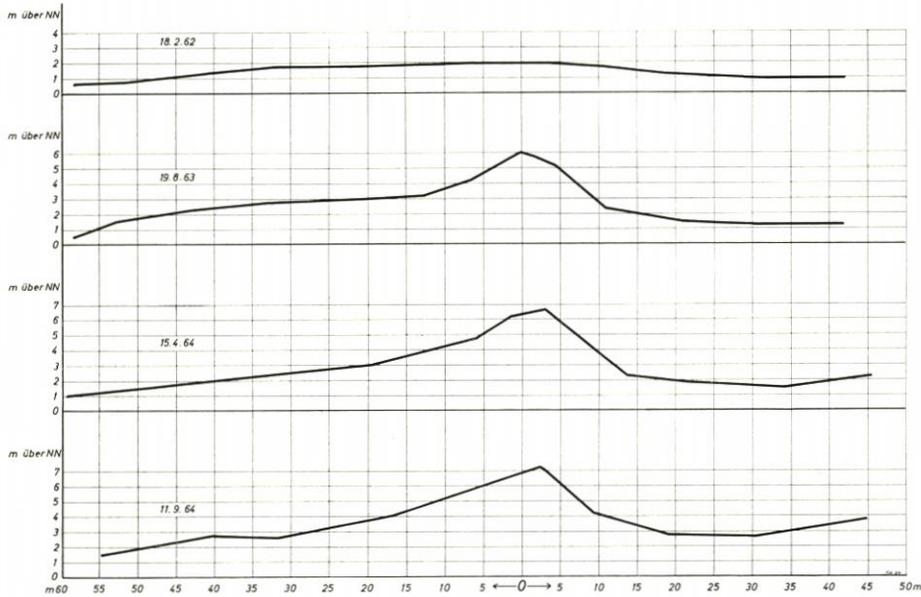


Abb. 15. Querprofile der neu geschaffenen Randdüne nach Vermessungen am 18. Febr. 1962, 19. Aug. 1963, 15. Apr. 1964, 11. Sept. 1964

können. Vor allem muß die Krone der Düne ständig eine horizontale Linie bilden, da bereits schwache, aber enge Mulden Ausgangspunkt gefährlicher Windrisse werden können. Besonders sorgfältig sind — wie oben bereits betont — die Anschlußbereiche an den beiden Enden der neuen Randdüne zu überwachen.



Abb. 16.  
In naturnaher Weise, durch Auffangen des vom Wind vom Strand heraufgetragenen Sandes konnte in relativ kurzer Zeit die durchgebrochene Randdüne wieder geschlossen und gleichzeitig verstärkt werden  
Aufn. WAAK

Der Fuß der seeseitigen Böschung hat sich bei der vorhandenen Neigung von 1:8 bis 1:10 bei den kleinen und mittleren Sturmfluten der letzten 2 Jahre bewährt. Begünstigend wirkt hierbei der davorliegende relativ breite Strand. Dennoch entstehende Abbruchkanten, wie sie als Folge einer im Februar und am 1. Ostertag 1965 eingetretenen mittleren Sturmflut entstanden sind, müssen sofort durch Vordünenbildung wieder angeglichen werden. Zum Schutz dient ein auch

hier gezogener Sandfangzaun (Abb. 11). Es ist wahrscheinlich, daß das zwischen Randdüne und KERSIG-Siedlung gelegene Tal durch sandführende westliche Winde noch weiter aufgefüllt werden wird. Das wird unterstützt durch rechtwinklig zur Randdüne im Abstand von je rund 10 m gesetzte Sandfangzäune (Abb. 12 bis 14), die das Tal in Felder unterteilen, ein Ausblasen bei südlichen und nördlichen Winden verhindern und den Sand, den geringfügig auch östliche Winde bringen, fangen. Um die Sicherheit zu vergrößern und die Schutzwirkung zu verstärken, sollte dieser Vorgang noch dadurch unterstützt werden, daß die Kuppen der nördlich und südlich angrenzenden Dünen von Bewuchs (vor allem Strandhafer) freigehalten werden und Winde aus NW über O bis S Sand in das Tal tragen können. Auf einem Strandstreifen von etwa 15 m vor dem Dünenfuß muß jeglicher Badebetrieb (Bürgenbauen u. a.) unterbleiben.

### 8. Zusammenfassung und Ausblick

Das als wichtigstes Küstenschutzwerk dienende Randdünenmassiv im Westen der Insel Sylt wurde an zwei schwachen Stellen bei Hörnum während der Februarsturmflut im Jahre 1962 durchbrochen. Durch Ausnutzen der Windkräfte und ihre Beeinflussung durch Reisigzäune mit windbremsender und sandfangender Wirkung wurden in naturnaher Weise die entstandenen Lücken geschlossen. In relativ kurzer Zeit und mit nur geringen Mitteln wurde eine neue Düne geschaffen, die in ihrer heutigen Höhe und Breite dem Hinterland einen beträchtlichen Schutz vor erneuten Sturmfluten bietet.

### 9. Schriftenverzeichnis

1. GERHARDT, P.: Handbuch des deutschen Dünenbaues. Verlag Paul Parey, Berlin 1900.
2. GRIPP, K. u. SIMON, W.: Untersuchungen über den Aufbau und die Entstehung der Insel Sylt. Westküste, Jg. 2, H. 2/3, 1940.
3. HUNDT, CL.: Die Abbruchursachen an der Nordseeküste des Ellenbogens auf Sylt. Die Küste 6, H. 2, 1957.
4. LAMPRECHT, H.-O.: Uferveränderungen und Küstenschutz auf Sylt. Die Küste 6, H. 2, 1957.
5. LINKE, O.: Die biologischen Grundlagen des Dünenschutzes auf den ostfriesischen Inseln. Die Wasserwirtschaft, Jg. 42, 1951/52.
6. LUX, H.: Die biologischen Grundlagen der Strandhaferpflanzung und Silbergrasansaat im Dünenbau. Diss.: Unveröffentlicht. Kiel 1954.
7. MÜLLER, FR. und FISCHER, O.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste: Sylt, Berlin 1938.
8. WOHLBERG, E.: Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. Die Küste 2, H. 2, 1954.
9. ZAUSIG, F.: Veränderungen der Küste, Sände, Tiefs und Watten der Gewässer um Sylt (Nordsse) nach alten Seekarten, Seehandbüchern und Landkarten seit 1585. Geol. d. Meere u. Binnengew. III, 4, 1939.
10. Archiv Marschenbauamt Husum.

# Deichbau und Deichpflege auf biologischer Grundlage

Von Erich Wohlenberg

## Inhalt:

I. Einleitung . . . . .	73
II. Der historische Deichbau	
a. Begrünte Deichböschungen und Stackdeiche . . . . .	74
b. Böschungsverhältnis und Stabilität des Deichkörpers . . . . .	74
III. Die Herstellung der Grasnarbe im traditionellen Deichbau	
a. Die Sicherung der Seedeichböschungen durch Besodung . . . . .	77
1. Schnittsoden . . . . .	77
2. Rollsoden . . . . .	80
b. Die Sicherung der Außenberme durch Besticken . . . . .	83
IV. Die biologische Deichpflege im modernen Küstenschutz . . . . .	86
a. Die standortgerechte Besodung . . . . .	87
1. Das bisherige Verfahren und seine Nachteile . . . . .	87
2. Der Soden-Versuchsgarten . . . . .	89
3. Die Einsaat in besodete Deichböschungen als Narbentest . . . . .	90
4. Die biologisch ausgerichtete Besodung der Seedeiche . . . . .	92
b. Die standortgerechte Ansaat nicht besodeter Deichböschungen . . . . .	92
1. Die Ansaat mit Süßgräsern . . . . .	92
2. Die Ansaat mit Salzgräsern . . . . .	95
3. Kultur und Saatwerbung von Salzgräsern . . . . .	95
c. Narbenpflege im Vorland durch Umbruch und Ansaat mit Salzgräsern . . . . .	96
d. Tierische Schädlinge im Seedeich . . . . .	98
V. Zusammenfassung . . . . .	102
IV. Schriftenverzeichnis . . . . .	102

## I. Einleitung

Die Seedeiche an der Nordseeküste umschließen heute den breiten Gürtel der Seemarschen. Diese wurden in ihren ältesten Zonen zu einer Zeit abgelagert, als der Mensch Deiche weder kannte noch nötig hatte. An hoch gelegenen Uferzonen der Gezeitenströme war um die Zeitwende Beweidung und Ackerbau ohne schützende Deiche möglich. In diese Zeit fällt im großen und ganzen die erste Besitzergreifung der Marsch durch den Menschen. Der damals bereits stärker einsetzende Anstieg des Nordseespiegels und die damit gleichzeitig vor sich gehende Zunahme und Stärke der Sturmfluten setzten dieser ackerbaulichen Nutzung der bis dahin aufgewachsenen Seemarsch ein Ende. Der Mensch blieb zwar auch dann noch Bewohner der Seemarsch, aber er war gezwungen, zum Schutz gegen die Sturmfluten Wohnhügel (Warf, Wurt, in den Niederlanden Terp) zu errichten (BANTELMANN, HAARNAGEL). Damit war jedoch nur für das Leben von Mensch und Tier ein Ausweg geschaffen, der Ackerbau aber kam mehr und mehr zum Erliegen, so daß infolge häufiger Überflutung der Seemarsch mit Brack- oder Salzwasser in der zweiten Hälfte des ersten nachchristlichen Jahrtausends die ackerbauliche Nutzung ganz aufhörte und seitdem für die von der sicheren Höhe der Warfen bewirtschaftete Marsch nur die Weidenutzung als extensive Wirtschaftsform übrigblieb. Diese Siedlungs- und Wirtschaftsform aus der Zeit von vor 2000 Jahren ist noch heute unverändert die einzig mögliche auf den nordfriesischen Halligen.

## II. Der historische Deichbau

### a. Begrünte Deichböschungen und Stackdeiche

Wann der Mensch den ersten Deich gegen die Nordseefluten errichtete, wissen wir nicht. Da über die Technik des frühesten Deichbaus ohnehin nichts bekannt ist, ist es im Rahmen unseres Themas ohne Belang, ob wir den Beginn vor 1100 oder 900 Jahren ansetzen. Auf jeden Fall aber führten die vom Menschen errichteten Deiche einen grundlegenden Wandel sowohl für die menschliche Existenz als auch für die Nutzung, das heißt für die Bewirtschaftung des durch einen ganz persönlichen Einsatz erstmalig gesicherten Siedlungsraumes herbei. Mögen die ersten Seedeiche (wir kennen ihre Maße aus Deichgrabungen) noch so bescheiden an Querschnitt und Höhe gewesen sein (BUSCH 1939), sie beweisen den Willen des Menschen zur Beherrschung dieser jungen Landschaft am Meer und stellen für alle Zeiten eine kulturgeschichtliche Tat beachtenswerter Größe dar.

Aus den Grabungen, die in alten Bedeichungsgebieten durchgeführt worden sind, kennen wir die Form und Höhe der frühen Deiche. Sie zeigen uns noch heute, daß sie zur Zeit ihrer Errichtung für den Schutz des Landes durchaus ausreichend gewesen sein müssen. Die Grabungen lassen weiter erkennen, daß es „grüne“ Deiche waren, nicht etwa nur einfache nackte Erdwälle, sondern mit ihrer Oberfläche Standorte für eine Pflanzendecke. Das heute in der Tiefe noch erkennbare Bodenprofil ergibt dafür den Beweis, wenn es auch die Frage nach natürlicher oder künstlicher Begrünung, wie sie uns heute interessiert, unbeantwortet läßt.

Im 13. und 14. Jahrhundert setzte eine Zeit verstärkter Sturmfluten ein. Die damaligen Deiche reichten nicht mehr zum sicheren Schutz aus. Es kam zu großen Landverlusten durch Meereseinbrüche entlang der ganzen Marschenküste von den Niederlanden bis nach Dänemark. Man schritt im Deichbau zu Notmaßnahmen, indem man die seeseitige Böschung der hart im Angriff und Abbruch liegenden Deiche mit Holzbollwerken verstärkte. So entstanden als Sekundärform die sogenannten „Stack“-Deiche, deren letzte in Nordfriesland erst im 18. Jahrhundert aufgegeben und durch „Berme“-Deiche (= zur See hin geneigt auslaufende begrünte Erddeiche) als das Werk niederländischer Deichbaumeister vom Ende des 16. Jahrhunderts an ersetzt wurden<sup>1)</sup>. Der Berme-Deich der Holländer hat seit seiner Einführung bis in unsere Tage — wenn auch mit laufenden Erhöhungen und geringfügigen Veränderungen im Bestick (Böschungsverhältnis) im Laufe der Jahrhunderte — den Schutz der Marschen übernommen. Wir sprechen vom traditionellen Deichprofil.

### b. Böschungsverhältnis und Stabilität des Deichkörpers

Der Wasserhaushalt unserer Seedeiche wird vom Grundwasser nicht beeinflusst. Die Bodenfeuchte ergänzt sich nur aus dem Niederschlagswasser und aus dem Tau. Infolge des hohen Gehalts an Ton kann ein gewisser Vorrat an Bodenfeuchte gespeichert werden. Abgesehen von extremen Trockenperioden reicht die Bodenfeuchte zur Versorgung der Grasnarbe aus. In Schleswig-Holstein ist die Bodenfeuchte der meistens ostwärts gerichteten Deich-Innenböschung jener der Deich-Außenböschung weit überlegen. Das gilt insbesondere von den Deichen, deren Errichtung bereits Jahrhunderte zurückliegt. Diese tonigen Deiche haben durchweg eine steile Innenböschung. Seit Jahrhunderten ist die Innenböschung das Stiefkind im Seedeichbau. Erst als bei den Oktober-Sturmfluten des Jahres 1936 auf den Inseln Nordstrand und Pellworm die

<sup>1)</sup> Berme = Abschnitt des mit flachem Gefälle auslaufenden Deiches.

Wellen über den Seedeich hinweggingen. BUSCH 1937, HUNDT 1955, die Außenböschung dem Angriff zwar widerstand, die Innenböschung aber durch das über die Deichkrone binnendeichs abströmende Wasser zerstört wurde, erkannte man die verhängnisvollen Gefahrenmöglichkeiten der steilen Innenböschungen. Ein weiterer unüberhörbarer Warnruf kam im Jahre 1953 aus Holland, wo die große Katastrophe durch die Zerstörung der Innenböschungen hervorgerufen wurde. Seitdem wird der Innenböschung erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet. Bei den neuesten Deichbauten und bei der Reform der Deichprofile erhält auch die Innenböschung ein flacheres Profil. Wo die Geländeverhältnisse es irgend zulassen, erhält sie eine Neigung von 1 : 3.

Abb. 1.  
Deichrutschungen ohne Sturmflut. An einem alten Seedeich der Eidermündung fanden an der nach Norden gerichteten Innenböschung infolge zu großer Steilheit und anderer Ursachen (vgl. Text) umfangreiche, die Standsicherheit des Deiches gefährdende Rutschungen statt  
März 1936. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 2.  
Die Innenböschung (wie Abb. 1) nach der Wiederherstellung des Profils und nach dem Andecken mit Rasensoden. Die Steilheit der Böschung läßt die Sicherung selbst durch Besodung nicht zu  
Juni 1936. Aufn. E. WOHLBERG



Aber noch immer gibt es Landesschutzdeiche mit sozusagen „antike“ Profil. An solchen Deichen bedarf es zum Beispiel keiner Sturmflut, um die Gefahren einer zu steilen Innenböschung vor Augen zu führen. Die Abbildung 1 zeigt einen Landesschutzdeich, dessen Innenböschung eine Neigung von weniger als 1 : 1,5 hatte. Nach dem Winter 1935 fanden bei normaler Wetterlage umfangreiche Rutschungen in einem Maße statt, daß der Deich durch den Substanzverlust bedrohlich geschwächt wurde.

Die nähere Untersuchung ergab folgende Befunde:

1. der Deich bestand aus schwerem Klei,
2. die Innenböschung hatte eine Neigung von etwa 1 zu 1,5 oder weniger,
3. die Böschung war nach Norden gerichtet,
4. die Gräser waren lang- und horstwüchsig,
5. das Untergras war ersetzt durch eine geschlossene, bis zu zehn Zentimeter mächtige Moosvegetation,
6. wegen der Steilheit der Böschung war eine Beweidung ausgeschlossen, so daß Verbiß und Vertritt unterblieben, und
7. wegen der Exposition nach Norden und der windarmen Lee-Lage blieb der obere Bodenhorizont bis zu etwa 30 cm Tiefe während des größeren Teiles des Jahres wasserreich bis wasserübersättigt.

Die durch die oben angeführten Umstände bewirkte Wasserübersättigung hatte auf der einen Seite das Bodengefüge gestört und auf der andern die böschunghaltende Kraft der Pflanzendecke überfordert. So führte das eingetretene Mißverhältnis in der Bodenfeuchte zur zunächst nicht erkennbaren Instabilität und schließlich zum Hinabrutschen der Böschung.

Die im darauffolgenden Sommer vorgenommene Ausbesserung dieser Böschungsschäden hatte noch immer mit den gleichen Instabilitätseigenschaften zu kämpfen. Um möglichst sicher zu gehen, wurde die wieder aufgefüllte und profilierte Innenböschung nicht angesät, sondern besodet. Die Abbildung 2 läßt erkennen, daß die frühere Instabilität an den ehemaligen Rutschstellen nicht überwunden war, denn die frisch angedeckten, mit dem Untergrund natürlich noch nicht fest verwachsenen Sodenbahnen klappten infolge erneuter Abscherung des Füllbodens noch im Juni weit auseinander.

Bei den Deich-Neubauten unserer Tage kann man zwar die nach Norden gerichtete Hanglage nicht beseitigen, aber das Profil der Innenböschung ist besonders nach der Februar-Sturmflut 1962 einer grundlegenden Überprüfung unterzogen worden (Bericht der Arbeitsgruppe Küstenschutzwerke im Küstenausschuß Nord- u. Ostsee, 1962, sowie SUHR, 1962), nachdem HUNDT bereits 1955 auf die Notwendigkeit der Böschungsrevision hingewiesen hatte. Heute erhält die Innenböschung eine stärkere Kleiauflage und die wesentlich flachere Neigung von 1 zu 3. Auf diese Weise sind nicht nur die Voraussetzungen für das Gedeihen narbentauglicher Gräser geschaffen, sondern vor allem die Vorbedingungen für eine regelmäßige Beweidung, worin wir die bedeutsamste deichpflegerische Maßnahme sehen. Die intensive Beweidung bewirkt am nachhaltigsten das Fernhalten horstwüchsiger Arten, unterbindet die Entstehung einer luftabschließenden und wasserspeichernden Moosdecke und führt durch den ständigen Weidetrieb zu einer Festigung des Bodens. Damit dürften die auf der Abbildung 1 wiedergegebenen „Rutschungen ohne Sturmflut“ der Geschichte angehören.

### III. Die Herstellung der Grasnarbe im traditionellen Deichbau

Deichbau ist seit altersher „Ingenieur“-Bau. Es sind technische Arbeitsweisen und Gedanken, die in erster Linie den Ablauf des Deichbaus bestimmen.

Die Abwehrkraft des Seedeiches ist aber nicht allein eine Funktion seiner Höhe, seiner Böschungsverhältnisse oder der verwendeten Bodenart, sondern in hohem Maße eine Funktion der Pflanzendecke. Selbst das bestausgeklügelte Deichprofil erliegt sehr schnell dem Angriff der See, wenn die Grasnarbe des Deiches nicht in Ordnung, d. h. nicht immer abwehrbereit ist. Das hat eindringlich die Sturmfluttragödie von 1953 in den Niederlanden gezeigt. Der Seedeich ist ein Lebensraum ganz besonderer Prägung. Die Grasnarbe ist nur dann abwehrbereit, wenn

- a) die Vergesellschaftung der Grasarten den extremen Standortverhältnissen (vgl. S. 92) entspricht und

- b) die Gräser planmäßig durch Beweidung kurz gehalten werden, so daß eine dichte teppichartige Narbe erzeugt wird.

#### a. Die Sicherung der Seedeichböschungen durch Besodung

Die traditionellen Berme-Deiche wurden bisher aus mehr oder weniger tonhaltigem Marschboden, den man innerhalb oder auch außerhalb der neuen Deichlinie gewann, errichtet. Nach Fertigstellung des voll profilierten Erdkörpers wurden die Böschungen bisher mit Rasensoden angedeckt (Abb. 3—5, 16, 17). Man unterscheidet heute in der Besodungstechnik Schnittsoden und Rollsoden. Rollsoden sind im allgemeinen jedoch erst seit den umfangreichen Ausbesserungsarbeiten im Anschluß an die große Flut vom Februar 1962 in die Deichbaupraxis aufgenommen worden, und zwar aus Gründen der Zeitersparnis und Wirtschaftlichkeit.

#### 1. Schnittsoden

Die im Deichbau verwendeten Soden (Maße:  $30 \times 30 \times 10$  cm) werden in der Regel in der Region des höheren Anwachs vor den Deichen (Vorland) gewonnen. Als Pflanzengesellschaft herrscht hier das Festucetum rubrae litoralis mit *Festuca rubra* f. *litoralis* als Hauptbestandbildner vor. Der Bodenaufbau dieser Zone ist tonig oder auch feinsandig mit Tonbeimengungen. Das Hauptmerkmal ist der geschichtete Aufbau unterhalb der Pflanzendecke (Abb. 4). Die Schichtung des Standortes geht auf Sturmflutablagerungen zurück. Die an den geschnittenen Soden auf der Abbildung erkennbaren dunklen Schichten stellen ehemalige Vegetationshorizonte dar, sie sind von tonig-humoser Beschaffenheit; die damit alternierenden hellen Schichten bilden den eigentlichen Zuwachs an Sturmflut-Sediment (WOHLENBERG 1933).

Dieser geschichtete Aufbau der Sode ist von grundlegender Bedeutung für die Güte, d. h. für die bautechnische Qualität der Sode. Eine solche Sode ist von unten bis oben durchwurzelt. Die aufeinanderfolgenden Vegetationshorizonte stehen miteinander im ungestörten biogenen Verband. Die dichte Durchwurzlung des gesamten Profils und somit auch die der geschnittenen Sode ist endlos. An keiner Schichtebene vermag man das Profil horizontal zu trennen (Abb. 4 und 6). Zu der senkrechten Durchwurzlung kommt die horizontale. Entfernt man etwa durch einen mechanischen Spülvorgang alle tonigen und feinsandigen Bestandteile, so verbleibt ein dichtes, fest zusammenhängendes Netzwerk von Pflanzenwurzeln. Hierauf beruht der vom praktischen Deichbau geforderte hohe Bauwert der Sode; wir sprechen vom biotechnischen Bauwert. Die Skala „Bauwert“ ist in erster Linie vom Herkunftsstandort, das heißt von der ursprünglichen Pflanzendecke abhängig. So hat z. B. die *Puccinellia*-Sode (Andel) einen weit geringeren Bauwert als etwa die *Festuca*-Sode (Salzrotschwingel).

Die Andel-Sode ist naturgemäß — weil genetisch jünger — weniger dicht durchwurzelt, weniger stabil geschichtet und — ihrem Standort entsprechend — stets wasserhaltiger als die *Festuca*-Sode. Man sollte die Andel-Sode daher möglichst nur im untersten Bereich der Deichberme verwenden, dort, wo sie sich noch in möglichster Nähe ihres Herkunftsstandortes, d. h. im ständig feuchten und vollmarinen Bereich befindet. Wird sie dagegen an höheren, trockenen Böschungszonen des Deiches verlegt, verliert sie durch Schrumpfung nicht nur einen erheblichen Teil ihres ursprünglichen Volumens, so daß sich die neue Sodendecke nicht schließen kann, sondern sie ist auch dem biologischen Schock nicht gewachsen, der mit der Verlegung aus dem marinen Bereich in den glykischen (ausgesüßten) der oberen Deichböschung zwangsläufig verbunden ist. So sind der Verwendung der Andel-Sode bei gewissenhafter Bauauffassung enge Grenzen gesetzt, die gleichermaßen von biologischen wie auch physikalischen Merkmalen aufgerichtet sind. Biologisch, im engeren Sinne ökologisch, weil der Standortwechsel von der vollsalzigen

Abb. 3.  
Das Schneiden der Vorland-  
soden im Festucetum rubrae  
litoralis. Im Hintergrund das  
Watt während der Ebbe  
Mai 1937. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 4.  
Nahaufnahme von exakt ge-  
schnittenen Vorlandsoden der  
Rotschwengel-Gesellschaft. Tep-  
pichartig geschorene Narbe mit  
biogen durchwachsenen Sturm-  
flutschichten bilden die Qua-  
litätsmerkmale dieses Bau-  
stoffes. Man beachte den  
Schrägschnitt, der die Vor-  
bedingung für die seitliche  
Bewurzelung der Soden unter-  
einander schafft  
Mai 1937. Aufn. E. WOHLBERG

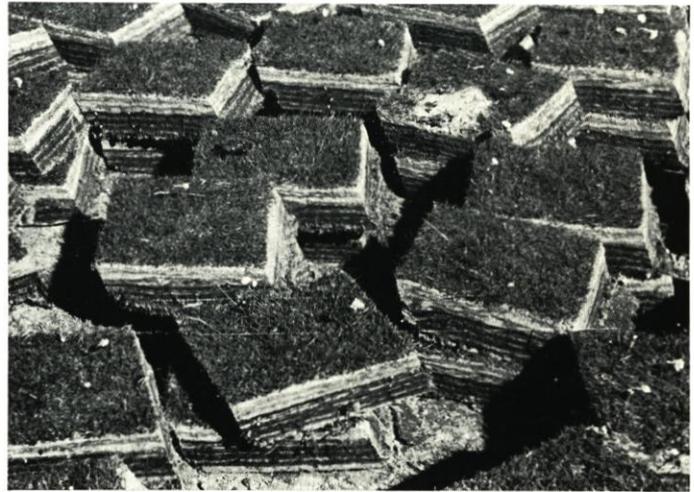
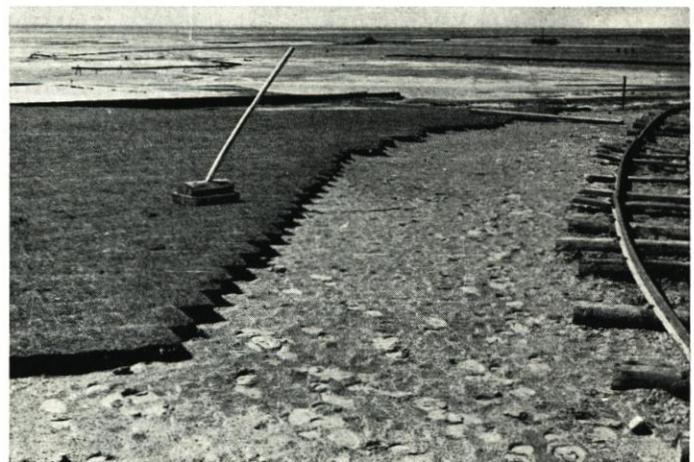


Abb. 5.  
Die neu profilierte Deich-  
böschung wird mit Soden an-  
gedeckt. Im Hintergrund das  
Wattenmeer der Meldorfer  
Bucht  
Juni 1936. Aufn. E. WOHLBERG



Andelwiese in die voll ausgesüßte Weidelgrasgesellschaft eine ökologische Valenz erfordert, über die der Andel (*Puccinellia*) nicht verfügt und physikalisch, hier transporttechnisch, weil

- a) die Festigkeit der Andel-Sode meistens zu wünschen übrig läßt und diese auf dem Transport an Formbeständigkeit einbüßt und
- b) der hohe Wassergehalt — bezogen auf das Gesamtvolumen der Sode — in der Hanglage des Deiches zu unerwünschten Schrumpfungen in allen Richtungen des Sodenkörpers führt.

Weit „toleranter“ verhält sich dagegen die Rotschwengel-Sode (*Festuca rubra f. litoralis*), tolerant in biologischer wie auch in technischer Hinsicht. Da die *Festuca*-Gesellschaft bereits aus dem vollmarinen Bereich der Küstenzone herausgewachsen, ihr Salzgehalt also geringer ist



Abb. 6.  
Der biotechnische Sodentest an Ort und Stelle am Seedeich an einem mit der speziellen Soden-Sonde gewonnenen Sodenkern. Das auf dem Bild gezeigte Biegen des Kernes demonstriert das formbeständige Verhalten als Merkmal der Güte der untersuchten Sode

Juni 1955. Aufn. C. HUNDT

als der der Andelgesellschaft, ist auch die ökologische Spanne vom gewachsenen Standort bis zur glykischen (ausgesüßten) Hanglage des Deiches, wo sie nach dem Verlegen weiterwachsen soll, wesentlich kleiner. Hinzu kommt, daß *Festuca rubra f. litoralis* nicht nur den physiologischen Entsalzungssprung besser zu ertragen vermag, sondern infolge der Ton-Sand-Schichtung, des geringeren Wassergehaltes und schließlich der außerordentlich dichten Durchwurzelung selbst bei rücksichtslosen Transporten zur Baustelle immer noch formbeständig bleibt und daher ein ideales biologisches Baumaterial darstellt (Abb. 6). Die Holländer fordern von einer guten Sode einen hohen Grad an „stevigheid“ (JONKER 1958). In weidetechnischer Hinsicht ist die Rotschwengelsode der Andelsode ebenfalls überlegen, denn keine Narbe wird so kurz verbissen und ist so homogen im Aufbau wie die der Rotschwengelsode. Überdies ist ihr geringerer Feuchtigkeitsgehalt gegenüber der Andelsode ein Vorzug von allgemeinbiologischer Bedeutung. Trockenheit in Grenzen ist durchaus kein Nachteil, sondern fördert eine intensive Bewurzelung (JONKER 1958).

Auch bodenkundlich gesehen unterscheiden sich Andel-Sode und Rotschwengel-Sode grundsätzlich. Während sich das Sediment der Andelwiese weitaus noch im reduzierten Zustand be-

findet (blauschwarzes Schwefeleisen), hat die *Festuca*-Sode sozusagen die Kinderstube der marinen Bodenbildung längst hinter sich. Alle Reduktionsstoffe sind im Schichtprofil des *Festucetums* voll oxydiert. Das ist eine Grundeigenschaft der *Festuca*-Sode, die sie streng von der genetisch jüngeren Andel-Sode trennt, ein Merkmal, das ihrem Weiterwachsen am neuen Deichstandort sehr zustatten kommt.

## 2. Roll soden

In früheren Jahren befanden sich vor den Seedeichen der Westküste Schleswig-Holsteins noch fast überall junge Anwachsgebiete, also nicht bedeichte Verlandungsgebiete. Meistens konnten die Vorlandsoden zur Ausbesserung der Sturmflutschäden an den Seedeichen an Ort und Stelle gewonnen und in der Regel ohne größere Transportwege zur Bedarfsstelle gebracht werden. Das änderte sich in den dreißiger Jahren dadurch, daß fast alle Anwachsgebiete eingedeicht wurden (PFEIFFER 1938, WOHLBERG 1939). Diese Bedeichungsmaßnahmen führten zu einer bedenklichen Verknappung an Sodengewinnungsgebieten, denn deren Vorhandensein ist eine wesentliche Voraussetzung für die laufende Durchführung des Küstenschutzes. Als Extremfall sei die Insel Pellworm genannt, die durch die Bedeichung des letzten Anwachsgebietes Buphever (Bupheverkoog, 1938) jeglicher Sodengewinnungsgebiete entblößt wurde. Ähnlich war die Entwicklung an verschiedenen Stellen der Festlandsküste. Während die umfangreichen Deichschäden nach den Sturmfluten vom Oktober 1936 noch durch Verwendung von örtlich im benachbarten Vorland gewonnenen Schnitt-Soden behoben werden konnten, war dies nach der großen Flut vom Februar 1962 nicht mehr möglich.

Inzwischen hatte sich die „Rasen-Industrie“ entwickelt. Sie belieferte ursprünglich die Baumaßnahmen im Erdbau des Binnenlandes mit sogenannten Roll soden. Sportplätze, Kanalböschungen, Gartenanlagen bedienten sich der Angebote, die besonders aus den Niederlanden kamen. Das hierfür verwendete Substrat bestand aus besonders präpariertem Torf. Das Wachstum der eingebrachten Grassaat wurde durch Einlagerung von besonders wachstumsfördernden Düngern im Tempo stark beschleunigt, und die Farbe der jungen Narbe war ein bestechendes Grün, was die Marktfähigkeit begreiflicherweise verlockend steigerte. Das gleichmäßig aufgebaute Torfsubstrat wurde schnell durchwurzelt und widerstand überdies jeglicher Krümelung, so daß der Rasen in weniger als drei Zentimeter Stärke in gleichmäßigen, etwa 25—30 cm breiten Bahnen geschält und mehrere Meter lang gerollt in den Handel gebracht werden konnte. Diese im glykischen Vegetationsbereich des Binnenlandes bewährte Begrünungstechnik war drauf und dran, die an den deutschen Seedeichen nach der Sturmflut von 1962 entstandene Notlage zu nutzen. Da stellte jedoch die genaue Untersuchung der Grasarten und des verwendeten Substrats durch den Verfasser die sachdienliche Verwendung im Seebau in Frage, so daß vor der Verwendung der im Schnellwege und auf Torfbasis hergestellten Roll soden gewarnt werden mußte.

Unsere Seedeiche sind Landesschutzdeiche, sie haben sozusagen „Hoheitsaufgaben“ zu erfüllen. Es ist nicht damit getan, daß der Deichkörper augenblicklich begrünt wird, sondern daß er gegen erneuten Meeresangriff abwehrbereit begrünt wird. Das aber kann nur durch eine Grasnarbe erreicht werden, deren Artengefüge standortgerecht ist. Die im Laboratorium in Kultur genommenen Probestücke von importierten Roll soden ergaben jedoch eine Gräserzusammensetzung, die zwar für schnell zu begrünende Parkanlagen bzw. Ausstellungsflächen ausreichend sein mag, weil sie hier in erster Linie dem Auge dienen soll, nicht aber den Schutz der Seedeichböschungen übernehmen kann. Die im Labor zum Sprossen und Blühen gebrachten Roll sodenstücke ergaben zum Beispiel in dem einen Fall einen beherrschenden Anteil am jährigen Rispengras (*Poa annua*), in der anderen Kultur einen merkwürdig hohen Anteil

an geknietem Fuchsschwanz (*Alopecurus geniculatus*). Beide Arten kommen an unsern Seedeichen zwar vor, aber ihre Abundanz und ihr Deckungsgrad dürfen bei einem abwehrfähigen Deich ein bestimmtes Maß nicht überschreiten. Rollsoden dieser Artenzusammensetzung müssen daher im Seedeichbau abgelehnt werden.

Aber die Verwendung von Rollsoden überhaupt anstelle von Schnittsoden bieten besonders heute bei der Verknappung von Arbeitskräften und angesichts des Tempos der Wiederherstellungsarbeiten an den durch die Sturmflut vom Februar 1962 zerstörten Deichen so viele



Abb. 7.  
Ein Depot von angefahrenen  
Rollsoden an der Verwen-  
dungsstelle der mittleren  
Deichböschung  
Juni 1965. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 8.  
Das Ausrollen der Rollsoden  
in meterlangen Bändern auf  
der zu sichernden und zu be-  
grünenden Deichböschung  
Juni 1965. Aufn. E. WOHLBERG

Vorteile, daß auf die Rollsoedentechnik schlechthin nicht verzichtet werden kann (Abb. 7 und 8). Statt der importierten Rollsoden auf Torfsubstrat empfahl der Verfasser im Rahmen seiner biologischen Aufgaben an der Küste die Gewinnung von Rollsoden von Grünlandparzellen innerhalb der bedachten Marsch. Es zeigte sich jedoch, daß die Empfehlung „Grünlandparzellen“ nicht genügte. So wurde zum Beispiel festgestellt, daß an verschiedenen Stellen der Küste Rollsoden angedeckt wurden, die zwar von Weiden gewonnen worden waren, aber nicht von Dauerweiden. Die Gräseranalyse und die Nachprüfung am Gewinnungsort zeigten, daß diese Rollsoden von Wechselweiden geschält worden waren. Die Wechselweide aber enthält eine Reihe Grasarten, die zur Horstwüchsigkeit neigen und vor allem keine geschlossene

und intensiv durchwurzelte Narbe bilden. Knaulgras (*Dactylus glomerata*), Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*), Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratense*), Welsches Weidelgras (*Lolium italicum*), Rotklee (*Trifolium pratense*) u. a. mehr gehören nicht an die Außenböschung unserer Seedeiche.

Rollsoden zum Aendecken der seeseitigen Deichböschungen sollten nur von alten, gepflegten und Jahr für Jahr vorschriftsmäßig beweideten Dauerweiden gewonnen werden, deren Grasbestand dem Lolietum Cynosuretum angehört. Die Hauptgräser dieser Gesellschaft werden vom Deutschen Weidelgras (*Lolium perenne*), dem Kammgras (*Cynosurus cristatus*), dem Wiesenrispengras (*Poa pratensis*), dem Weißklee (*Trifolium repens*) u. a. gestellt. Die hier genannten Arten sind unsere besten Narbenbildner, ihr Artengefüge ist standortgemäß und bei Beweidung durch Schafe (und auch Gänse) liefert ihre Gesamtheit eine teppichartig geschorene und lückenlose Pflanzendecke, die zwar nicht halophil ist, aber doch eine vorübergehende Überflutung mit Meerwasser ohne Schaden ertragen kann.

Nach dieser Empfehlung wird jetzt an der schleswig-holsteinischen Küste verfahren. Die Dicke dieser standortgerechten Rollsoden ist zwar nicht größer als die der Importware, aber ihr Substrat ist tonig, lehmig und entspricht somit genau dem Substrat des zu schützenden Deichkörpers, mit dem es schnell eine Einheit bildet. Wegen ihrer nur geringen Stärke verfügt die Rollsole im Vergleich mit der herkömmlichen Schnittsole (10 cm stark) nur über eine geringe Feuchtigkeitsreserve für die Zeit des Anwachsens an der besonnten Deichböschung. Hiermit ist ein Risiko verbunden, das um so größer ist, je länger die in die Besodungszeit möglicherweise fallende Trockenperiode andauert.

Wie bereits oben angedeutet, war die Zuwendung zur Rollsoden-Technik im Rahmen des Deichbaus angesichts der umfangreichen, 1962 schnellstens zu behebenden Deichschäden aus arbeitstechnischen und Zeitersparnis-Gründen verständlich; ob sie aber im Rahmen der Schutzaufgaben der Seedeiche die an sie gestellten Anforderungen erfüllen wird, kann im Augenblick noch nicht beantwortet werden, da die entsprechenden Untersuchungen noch nicht zum Abschluß gekommen sind. Die althergebrachte Schnittsoden-Technik hat sich in vielen Sturmfluten bewährt. Die Rollsole besitzt nur einen Bruchteil des mineralischen Gewichtes der Schnittsole. Genauso verhält es sich mit Qualität und Masse ihres biogenen Gefüges (Abb. 4 und 6). Ob also die Rollsoden-Technik das Verfahren im Deichbau der Zukunft werden wird, müssen die in der Durchführung begriffenen Spezialuntersuchungen und das Verhalten der Rollsodenböschungen in den kommenden Sturmfluten noch erweisen.

Im älteren Schrifttum über Deichbauten am Meer findet sich eine Bemerkung, der zu entnehmen ist, daß die Verwendung von Rollsoden keine Erfindung unserer Tage und unserer Zeit- und Leutenot ist. So findet sich in der Schrift von HINRICHS (1931) über den 1911 von ihm erbauten Seedeich der Marschen vor der damals noch nordschleswigschen Stadt Riepen (heute Ribe) folgende Bemerkung: „anfangs wurden Soden von 3 cm Stärke verwendet. Diese etwa drei Meter langen Streifen, auf hohem, stark mit Süßgräsern durchsetztem Vorlande gewonnenen Rasenstücke waren recht zähe und ließen sich aufgerollt gut transportieren. Teils sind sie angewachsen, teils nicht.“ Damals wurde diese Methode beim Deichbau Riepen bald fallengelassen und die Schnittsoden-Technik wieder ausschließlich angewendet. So ist es in den seitdem verflossenen reichlich fünfzig Jahren geblieben.

Für unsere Zeit bleibt nur zu wünschen, daß die Rollsoden-Technik die an sie im Deichbau gestellten Erwartungen nicht enttäuscht. Alle weiteren Prognosen bleiben dem Untersuchungsergebnis und besonders den Bewährungsproben der Böschungen in kommenden Sturmfluten vorbehalten.

### b. Die Sicherung der Außenberme durch Besticken

Das älteste Verfahren, dem Fuß der grünen Seedeiche gegen den Angriff der Wellen einen erhöhten Schutz zu bieten, darf mit großer Wahrscheinlichkeit in der Methode des Bestickens gesehen werden. „Die Strohbestickung besteht aus einer Spreitlage Stroh, die durch krampfenartig in den Erdboden gedrückte Strohseile festgehalten wird“ (HINRICHS 1931). Wie lange sie bereits im Deichbau und Küstenschutz angewendet wird, ist nicht bekannt.

Die Bestickung findet hier eine kurze Erörterung, weil es sich einerseits um eine Maßnahme handelt, die auf den Schutz der lebendigen, die Sicherung der unteren Deichberme übernehmenden Grasnarbe ausgerichtet und andererseits eng mit der Verwendung von Schnit soden verbunden ist und schließlich, weil es sich um eine gerade in unsern Tagen aussterbende bäuerliche Technik handelt. Die Arbeitsweise im einzelnen kann bei HINRICHS (1931) nachgelesen werden. Dort ist auch das sinnvoll erdachte und durch eine jahrhundertlange Praxis erprobte, einzig notwendige Gerät, die „Sticknadel“, abgebildet (Seite 54 bei HINRICHS)<sup>2)</sup>.

Durch Besticken geschützt wird vornehmlich die untere Deichberme, besonders dann, wenn diese frisch besodet worden ist. Die Bestickung soll verhindern, daß die brandende Welle die im Herbst noch nicht genügend angewachsene Sode während der Winterstürme aus dem Verband herauschlägt und der Deichkörper dadurch gefährdet wird.

Das für den Bestickungsvorgang verwendete Material muß handgedroschenes Roggenstroh sein. Hierfür sind zwei Gründe maßgebend, einmal, weil Roggenstroh genügende Länge hat und zum andern, weil es zäh und anschmiegsam ist und sich daher besonders beim „Nähen“ der „Krampen“ bewährt (Abb. 9 und 10). Im gegenwärtigen Zeitalter des Maschinendruschs ist die Beschaffung handgedroschenen Stroh nahezu unmöglich, so daß schon aus diesem Grunde heute die Technik des Bestickens zum Erliegen kommt. So mußte noch in diesem Sommer (1965) auf der Insel Föhr, wo man an verschiedenen Stellen des Seedeiches von Osterlandföhr dringend auf Strohbestickung angewiesen ist, eigens ein Bauer der Föhrer Geest beauftragt werden, seine Roggenparzelle nach alter Weise von Hand abzudreschen, damit ungebrogene Halme am Deichfuß verarbeitet werden konnten<sup>3)</sup>.

Die Strohbestickung bietet gegenüber jeder allein mit technischen, beziehungsweise anorganischen Mitteln durchgeführten Deichsicherung den Vorteil, daß die Spreitlage aus Stroh dem Deichkörper durch das Hindurchwachsen der von der Spreitlage vorübergehend zugedeckten Sodenvvegetation allmählich einverleibt wird. Abbildung 11 läßt diesen wünschenswerten Vorgang der biogenen Verzahnung erkennen. Die Sodenvvegetation ist hier bereits so weit durch die Spreitlage aus Stroh hindurchgewachsen, daß der Näh-Rhythmus zwar noch erkennbar, aber die biologische Sicherung bereits erreicht ist. Das ist der tiefere Sinn des kombinierten Verfahrens von Besodung und Bestickung.

Vor zwanzig Jahren wurde der gegen die See hin auslaufende Deichfuß noch an vielen Abschnitten unserer Küste auf diese Weise gesichert. Heute dagegen wird die Strohbestickung aus den oben genannten Gründen kaum noch durchgeführt, auch weil sie wegen ihrer Wiederholung im Frühjahr und Herbst sehr arbeitsaufwendig ist.

Es spricht für die bäuerliche Herkunft der Methode, daß zum Beispiel auf der Insel Pellworm die Bestickung nicht mit Stroh, sondern mit Reth (*Phragmites communis*) zur Ausfüh-

<sup>2)</sup> Der richtigen Darstellung wegen sei jedoch vermerkt, daß die Sticknadel nicht mit einem Brustschutz in das Erdreich gedrückt wird, wie bei HINRICHS beschrieben, sondern durch eine Abwärtsbewegung des Leibes. Der Sticker trägt zum Schutz der Leibmuskulatur einen Ledergurt, der unterhalb des Nabels durch ein nach vorn gewölbtes Lederkissen verbreitert und gepolstert ist.

<sup>3)</sup> Ähnliches kann vereinzelt von der Festlandküste Nordfrieslands und Dithmarschens berichtet werden.

Abb. 9

Die besonders gefährdete untere Außenberme wird alljährlich durch eine „aufgenähte“ (bestickte) Spreitlage aus Stroh in ihrer Abwehrkraft gegen Wellenangriff verstärkt. Die Strohkrampen werden mit der metallenen stumpfen Schneide des Nähstockes (Stickeisen) durch den Sodenkörper in den Untergrund gedrückt

Juni 1936. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 10.

Eine ordnungsmäßig mit Stroh bestickte Deichberme. Der Einstich des Stickeisens erfolgt etwa alle 15 cm, der Abstand der Krampenreihen liegt durchweg bei 25 cm

Juni 1936. Aufn. E. WOHLBERG

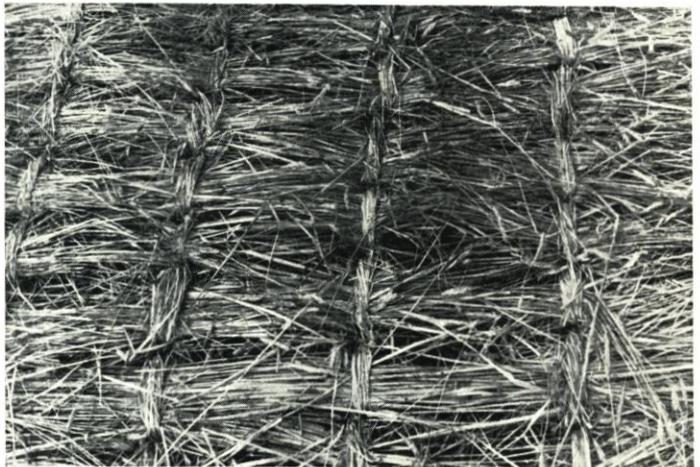


Abb. 11.

Die Strohbestickung wird durch das Hindurchwachsen der Sodenvegetation als organischer Bestandteil in die lebendige Narbe der Deichberme einbezogen. Der biogene Vorgang macht eine Wiederholung der Bestickung überflüssig

Mai 1936. Aufn. E. WOHLBERG





Abb. 12.  
Mit Reth bestickte untere Außenberme der Insel Pellworm. Hier verwendet man das in den Gräben und den alten Deichpütten (Erdentnahme) wachsende Schilf (Reth, *Phragmites*)  
Dez. 1941. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 13.  
Nahaufnahme von der mit Reth bestickten Außenberme. Die Blattmasse vom Schilf ist so groß und so dicht gelagert, daß die darunter liegende Sodenvegetation zum Absterben verurteilt ist  
Dez. 1941. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 14.  
Die allzu starre, ihrer Blattspreiten durch Erosionswirkung entblößte Rethlage unterliegt schnell der Auflösung. Eine Regeneration der ursprünglich geschützten Sodenvegetation ist nicht möglich, daher keine biogene Einverleibung in den zu schützenden Standort  
Dez. 1941. Aufn. E. WOHLBERG

zung kommt. Auf den Marschböden der Insel wird kein Roggen angebaut; Weizen-, Gersten- und Haferstroh aber sind zu kurz und brüchig. Daher nimmt man auf Pellworn das Material, das die Landschaft spendet, nämlich das in den Marschgräben der Insel wachsende Reth. Die Abbildungen 12—15 zeigen die Bestickung mit Reth. Die Rethhalme sind zwar widerstandsfähiger als das weiche Roggenstroh, doch zeigt ihre Verwendung wesentliche Nachteile. Durch den hohen Gehalt an Lignin und Kieselsäure widerstehen sie allzusehr der Verwitterung und damit der Einbeziehung in den Deichkörper während der Vegetationszeit. Der noch größere Nachteil liegt darin, daß die breiten Schilfblätter zusammen mit der Spreitlage der starren Halme den bestickten Standort vollständig gegen das für das Weiterwachsen der Sodenv egetation notwendige Sonnenlicht abdecken. Die Folge davon ist, daß die Vegetation schon im Herbst zum Erliegen kommt und im Frühjahr sich nicht erneuern kann. Es kommt also

Abb. 15.  
Durch Wellenerosion  
zerstörte Bestickung an  
der unteren Deichberme.  
Die an manchen Deichen  
bis zu zweimal im  
Jahr wiederholte Bestickung  
führt schließlich zu einer Mißhandlung  
des Bodengefüges und damit zu einer  
Gefährdung des Deichkörpers  
Okt. 1935.  
Aufn. E. WOHLBERG



nicht zur wünschenswerten biogenen Verzahnung. Die Bestickung mit Reth erschöpft sich somit in einer nur physikalisch zu wertenden und zeitlich sehr begrenzten Schutzwirkung (Abb. 14). Der Bestickungsvorgang bedarf zur Aufrechterhaltung des Deichschutzes ständig der Wiederholung. Zu welchem Grad der Mißhandlung der Deichsubstanz diese Methode schließlich führen kann, zeigt die Abbildung 15. Hier hat die Bestickungsmethode ihre Grenzen bereits überschritten und sollte durch widerstandsfähigere, von der Tradition befreite Schutzmaßnahmen abgelöst werden.

#### IV. Die biologische Deichpflege im modernen Küstenschutz

Die pflanzensoziologischen Untersuchungen von CHRISTIANSEN (1927) und des Verfassers (1948, 1955) haben gezeigt, daß die Klimax der Deichgesellschaften — ob beweidet oder nicht — oberhalb der Springtide-Grenze vom *Lolieto Cynosoretum* gebildet wird. Unterhalb dieser ökologisch wichtigen Grenze befinden sich im Bereich der unteren Außenberme Zonen mit äußerst wechselnder Salinität. Daher sind in dieser unteren Zone noch salztolerante Gesellschaften wie *Puccinellietum*, *Festucetum rubrae litoralis* und *Agrostidetum stoloniferae* standortgemäß. Diese Zonierung gilt für alle Deiche aus vorwiegend tonigem bzw. tonhaltigem Substrat. Was CHRISTIANSEN (1927) als erster durch floristische Bestandsaufnahmen an den Deichen der Insel Föhr erarbeitet hat, kann pflanzensoziologisch — wenn man von soziologi-

schen Spitzfindigkeiten absieht — im großen und ganzen auf alle Seedeiche übertragen werden. Durch seine bereits im Jahre 1927 erschienene Arbeit über die Vegetation des Föhler Anwachs und der Föhler Deiche, die bis heute nur in Holland (de VRIES 1958) Folgestudien erfahren hat, ist CHRISTIANSEN zum Wegbereiter der Deichsoziologie geworden. Hierauf aufbauend und erweitert durch eigene Analysen auf zahlreichen Deichstandorten an der ganzen Nordseeküste ist das Rüstzeug für neue, biologisch orientierte Methoden gewonnen worden.

Im Ingenieurbau an der Küste, hier in der Deichbaupraxis, ist es jedoch mit bloßen wissenschaftlichen Erkenntnissen nicht getan. Um diese für die Anwendung in der Praxis des Deichbaus nutzbar zu machen, hat der Verfasser im Rahmen der biologischen Untersuchungen der Forschungsstelle Westküste verschiedene Wege beschritten und neue Arbeitsverfahren und Versuchsanordnungen im Gelände der Küste erprobt. Von diesen auf den praktischen Deichbau ausgerichteten Arbeiten seien kurz die folgenden genannt: Biologische Testversuche an Deichböschungen zum Nachweis narbensicherer Grasarten, Anzucht und Saatwerbung von Salzgräsern, standortgemäße Ansaaten auf pflanzensoziologischer Grundlage mit Süß- und Salzgräsern, Verbesserung der Vorlandsvegetation sowie vor allem die standortgemäße Verteilung der verschiedenen Arten von Rasensoden, über deren technischen und ökologischen Bauwert weiter oben bereits berichtet wurde.

#### a. Die standortgerechte Besodung

##### 1. Das bisherige Verfahren und seine Nachteile

Die altgewohnte Andeckung der Deichböschung mit geschnittenen Rasensoden ist zwar eine biotechnische Maßnahme, aber der technische Betrieb in der Deichbaupraxis bietet wenig Raum für die Beachtung an sich selbstverständlicher biologischer Grundregeln. So blieb die Besodung der Deiche bis zum zweiten Weltkrieg infolge rein schematischer Anwendung noch mit einer Reihe wesentlicher, biologischer Unzulänglichkeiten behaftet. Die Böschung des neu gebauten Deiches wurde noch nicht als „biologischer Standort“ gewertet, daß heißt, man brachte die im Salzwasserbereich geschnittenen Soden willkürlich an die Deichböschung, und zwar ohne Rücksicht auf die Höhenlage am neuen Standort. Mit der Höhenlage der ansteigenden Böschung ändern sich aber schlagartig die Lebensbedingungen für die Gräser. Die im marinen Bereich gewachsenen Soden beherbergen je nach Höhenlage des Ausgangsstandortes entweder die „An-del-Gesellschaft“ (*Puccinellietum*) oder in der Mehrzahl der Fälle die „Rotschwinge-Gesellschaft“ *Festucetum rubrae litoralis* Chr. (oder *Armerieto Festucetum* Br. Bl.) mit *Festuca rubra* form. *litoralis* als Bestandsbildner. Durch die Besodung des Deiches wird zwar ein biologischer Vorgang eingeleitet, in der Praxis aber doch mit einer bedenklichen biologischen Zwangsjacke belastet, denn die halophilen Gesellschaften kommen nur zum kleineren Teil an den unteren Abschnitt der Deichböschung, meistens aber nicht auf einen ihrem bisherigen Lebensraum adäquaten Standort. Zum größeren Teil gelangen sie an die eigentliche, höher gelegene Deichböschung und damit in einen glykisch beeinflussten Lebensraum mit grundsätzlich anderen Umweltbedingungen. Diese sollen hier im einzelnen nicht aufgezählt, sondern nur der Salzgehalt des Bodens als entscheidender, im Wege der Besodung sich sofort ändernder Standortfaktor herausgegriffen werden. Was ist die Folge? Bereits nach wenigen Monaten ist der Gehalt der angedeckten Sode an Meersalz durch die Niederschläge, deren Wirksamkeit durch die Hanglage noch verstärkt wird, ausgewaschen. Das durch den Besodungsvorgang „verpflanzte“ *Festucetum* quält sich vom Verlegen an durch die folgenden Jahre, nicht selten Jahrzehnte, ohne Salz dahin, wenn nicht hohe Sturmfluten gelegentlich einen geringen, vorübergehenden Salz-

Abb. 16.  
Die Ausgangsvegetation der angedeckten Soden ist durch falsche Lagerung bis zur Verwendung fast restlos erstickt.  
Der biotechnische Bauwert solcher Soden ist hoch  
problematisch  
Mai 1936. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 17.  
Hier zeigt sich sehr schwach die beginnende Regeneration der durch zu lange währende Lagerung geschädigten Soden. Infolge des hohen Salzgehaltes kommt es nicht zur wünschenswerten Begrünung durch einwandernde Süßgräser, sondern die salzbedürftigen Salicornien siedeln sich auf dem „offenen“ Standort an  
Okt. 1939. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 18.  
Aus der mit „überständigen“ Soden gedeckten neuen Deichböschung ist ein Ruderalstandort mit einer üppigen Melden-Vegetation geworden. Nach ihrer Entfernung erfolgte eine Neuansaat mit standortgerechten Gräsern  
Aug. 1936. Aufn. E. WOHLBERG



gehalt wieder herbeiführen. Glücklicherweise ist die Festucetum-Sode selbst diesen extremen Standortveränderungen gegenüber außerordentlich anpassungsfähig. Weder der Salzentzug noch die meistens extrem trockene Hanglage zeigen äußerlich erkennbare Degenerationsmerkmale. Die biologische Umstimmung ist zunächst unsichtbar im Gange. Erst ganz allmählich wird die ursprünglich halophile Sodenv egetation durch Süßgräser unterwandert. Jahrzehntelange Beobachtungen und Bestandsanalysen haben gezeigt, daß die Unterwanderung durch neue, dem neuen Standort angepaßte Arten ohne Schwächung der Abwehrbereitschaft der Grasnarbe dann am sichersten vor sich geht, wenn der Deich einer planmäßigen Beweidung unterliegt, und zwar einer intensiven Beweidung durch Schafe (LAFRENZ 1957).

Lassen Vertritt und Verbiß zu wünschen übrig, so daß am Deich die Sense zur Hilfe genommen werden muß, um die Pflanzendecke kurz zu halten, dann können Umstimmungserscheinungen, begleitet von tierischen Schädlingen, zur Vernichtung der lebendigen Ausgangsnarbe führen (Abb. 27), wie Verfasser im Bereich der Warfböschungen der Hamburger Hallig nachweisen konnte (WOHLENBERG 1948).

Im technischen Ablauf der Bauarbeiten am Deich sind biologische „Mißhandlungen“ der geschnittenen Rasensoden nicht selten, aus arbeitstechnischen Gründen auch nicht immer vermeidbar. Durch unsachgemäße Lagerung und zu lang währende Stapelung kommt es zum Beispiel vor, daß die Pflanzendecke der fertig geschnittenen und gestapelten Soden infolge nahezu restlosen Abschlusses gegen Luft und Licht abstirbt. Trotzdem werden solche in ihrem biogenen Potential weitgehend geschwächte Soden im Deichbau oft noch verwendet (Abb. 16—18). Je nach dem Grad der Auslöschung ihrer Regenerationskraft bilden solche Stellen durch viele Jahre hindurch eine Gefahr für den Bestand des Seedeiches. Es kommt in solchen Fällen ohne weiteres nicht wieder zur Bildung einer standortgemäßen Grasnarbe, sondern die derart besodete Deichböschung ist zunächst nichts anderes als ein totdurchwurzelter nackter Standort, ein Ruderalstandort mit allen Schattenseiten der möglichen Zufallsgesellschaften (Abb. 18). Hier setzt die Deichpflege auf biologischer Grundlage ein.

## 2. Der Soden-Versuchsgarten

Wem die Aufgabe gestellt ist, an einem sehr intensiv durch Schafe oder Gänse beweideten, also an einem teppichartig kurz geschorenen Seedeich eine exakte Pflanzenanalyse durchzuführen, weiß, daß dem restlosen Erfassen aller Arten in qualitativer wie quantitativer Hinsicht erhebliche Schwierigkeiten entgegenstehen. Die vollkommene Artenanalyse am Standort „Seedeich“ ist aber unerlässlich, wenn Wege gezeigt werden sollen, die Grasnarbe so widerstandsfähig wie nur irgend möglich zu machen. Das wird nur gelingen, wenn das Artengefüge und der Bodenaufbau vorbildlicher Seedeiche bekannt sind. Um bei dieser Problemstellung ganz sicherzugehen, wurden zwei verschiedene Wege beschritten. Hinter dem Seedeich wurde ein Soden-Testgarten angelegt (Abb. 19). Hierher erfolgte die Übersiedlung von Rasensoden des natürlichen Anwachsens aus Zonen verschiedener Salinität. Der Sodengarten bot den Soden verschiedener Herkunft und verschiedener Artenzusammensetzung gleiche Umweltbedingungen. Der Test hatte passiven Charakter. Er sollte die Degeneration der Naturphase zeigen und den Nachweis der allmählichen Unterwanderung durch Süßgräser erbringen. Der naturgemäß auf mehrere Jahre angesetzte Versuch konnte nach Beginn des Krieges nicht weiter verfolgt werden, blieb also ein Torso.

### 3. Die Einsaat in besodete Deichböschungen als Narbentest

Beim zweiten Weg war es notwendig, die Fragestellung unmittelbar vom natürlichen Standort, also vom Seedeich selbst beantworten zu lassen. Nur widerstrebend willigte ein Deichverband in die erforderliche Versuchsanordnung ein, weil durch diese eine gleichzeitige Beweidung verhindert werden mußte. Der Versuch bestand nämlich darin, daß einige Deichabschnitte fünf Jahre lang vom März bis Anfang August nicht beweidet werden durften. Etwa 20 m breite Streifen wurden so eingezäunt, daß die weidenden Schafe von der ganzen Deichböschung, also von der Deichkrone bis hinunter zum unteren Abschnitt der Deichberme, ferngehalten wurden. Bereits im ersten Versuchsjahr (1937) konnte das Artengefüge zuverlässig analysiert werden. Es war ein Deich gewählt worden, dessen Grasnarbe beim Deichbau zwei Jahre vorher durch Besodung aus dem Festucetum hergestellt worden war. Die Ausgangsarten mit vorwiegend *Festuca rubra litoralis* waren noch stark vertreten, teilweise aber, besonders im oberen Teil der Böschung, im Aspekt fast ganz verdrängt durch *Lolium perenne* und *Trifolium repens*. Auf Abbildung 20 ist der bodenkundlich und höhenmäßig gleiche Standort (gleiche Ausgangssoden) durch den trennenden Maschendraht halbiert und verrät durch die Üppigkeit des Lolietums dessen an dieser Stelle bereits vorhandene Dominanz über das hier nur noch in degenerierten Resten nachweisbare Festucetum. Das Bild zeigt ferner, wie stark das weidende Schaf den Aspekt auch artlich verändert, denn man hätte nach dem beweideten Vordergrund der Abbildung eine solche einwandfreie Vorherrschaft des Weißkleees nicht vermutet, wie sie hinter dem Draht durch Unterbindung der Beweidung sichtbar wird.

Ein weiteres Ergebnis dieses Versuchsfeldes war die Feststellung einer starken Unterwanderung mit dem Kammgras (*Cynosurus cristatus*). Der stärkste Einwanderer in die Festucetum-Besodung war jedoch das Deutsche Weidelgras (*Lolium perenne*), und zwar konnte überzeugend festgestellt werden, daß *Lolium* unter den Süßgräsern die größte ökologische Breite besitzt. Es konnte nämlich von der Deichkrone noch bis in die an der unteren Böschung ausklingenden *Festuca rubra*-Zone in vitaler Form nachgewiesen werden. Mit anderen Worten, *Lolium perenne* schreckt durchaus nicht vor einem gewissen Salzgehalt im Boden zurück, falls dieser in Trockenzeiten (vermehrte Verdunstung durch Hanglage) nicht allzu stark ansteigt.

Die gleiche Eigenschaft kann nach seiner Ausbreitung an „ausgereiften“ alten Deichböschungen dem Wiesenrispengras (*Poa pratensis*) zugeschrieben werden.

Einen empfindlicheren Salzanzeiger stellt dagegen der Weißklee (*Trifolium repens*) dar. In dem erwähnten Versuchsfeld wurde u. a. ein etwa ein Meter breiter Streifen der gesamten Außenböschung des grünen Deiches ebenfalls von der Krone bis zum unteren auslaufenden Abschnitt der Böschung mit Weißklee nachgesät, d. h. in die bestehende Sodenv egetation eingesät. Die Abbildung 21 zeigt das Ergebnis: Die Kamera ist von der Deichkrone seewärts gerichtet und läßt im Hintergrund den unteren Bezirk der Böschung erkennen. Man erkennt deichabwärts deutlich die Abnahme an Zahl und Deckungsgrad bis zum Ausklingen der Kleepflanzen. Dort unten, wo das Deutsche Weidelgras (*Lolium perenne*) sich noch bestandsbildend behauptet, erliegt *Trifolium repens* bereits den witterungsbedingten Schwankungen in der Salinität des Bodens.

Die Versuchsergebnisse an diesen natürlichen Standorten konnten im folgenden Jahr (1938) bestätigt werden. Der Ausbruch des Krieges verhinderte leider die Fortführung der Untersuchungen im vorgesehenen vierten und fünften Jahr. Die in den beiden Jahren 1937 und 1938 gewonnenen Ergebnisse reichten jedoch schon aus, dem Deutschen Weidelgras und der Wiesenrispe im Rahmen der Deichbaupraxis den ersten Platz für eine dauerhaft wirksame Narbenbildung zu sichern.

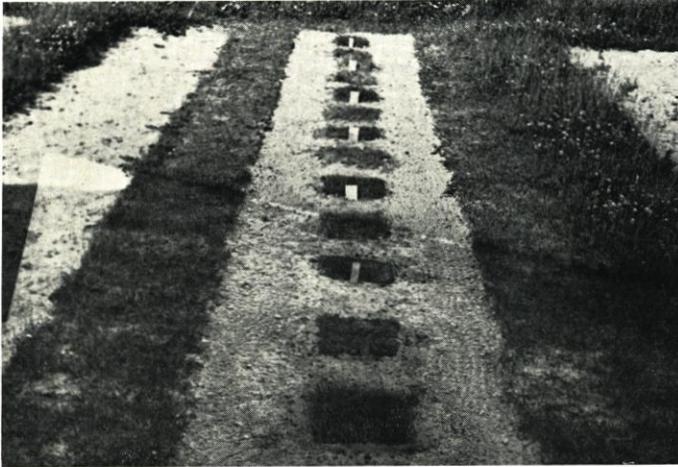


Abb. 19.  
Der erste Soden-Versuchsgarten. Hier sind Rasensoden aus biologisch verschiedenen Zonen des Vorlandes (verschiedene Gräserzusammensetzung) in ein neutrales, der Region des marin beeinflussten Vorlandes entrücktes Beet verpflanzt worden, um die weiteren biologischen Veränderungen zu testen  
Juni 1937. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 20.  
Deichböschung aus gleichem Ausgangs-Substrat, im Vordergrund beweidet, hinter dem Maschendraht unbeweidet, läßt die Bedeutung einer intensiven Beweidung durch Schafe für die Narbenbildung erkennen  
Juni 1937. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 21.  
Nachträgliche Einsaat von Weißklee (*Trifolium repens*) in einem Streifen von der obersten Deichböschung (vorn) bis zum Deichfuß (hinten) zeigt das Ausklingen des Weißklee gegen den Deichfuß. An dem unteren Abschnitt der Deichböschung bildet der Salzgehalt des Bodens eine biologische Grenze  
Juni 1937. Aufn. E. WOHLBERG

#### 4. Die biologisch ausgerichtete Besodung der Seedeiche

Zu einer ersten praktischen Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse bot der im Jahre 1954 durchgeführte Deichbau südlich des Hindenburgdammes (Friedrich-Wilhelm-Lübke-Koog [WOHLENBERG und SNUIS 1955]) eine günstige Gelegenheit. Einer einsichtsvollen Bauleitung war es zu danken, daß zum erstenmal in der Deichbaupraxis die Besodung des profilierten Deichkörpers nach biologischen Gesichtspunkten durchgeführt werden konnte. Was CHRISTIANSEN im Jahre 1927 soziologisch analysiert hatte, konnte an dem neu errichteten Seedeich durch richtige Auswahl und Verteilung der Soden von vornherein berücksichtigt werden. Die schematische Abbildung 22 zeigt den Besodungsplan und das Lichtbild, Abbildung 24, den fertig besodeten Deich. In der unteren, noch marin beeinflussten Deichberme befindet sich ein breiter Streifen Andelsoden (*Puccinellietum*, A auf Abb. 22). In der nach oben daran anschließenden mittleren Deichböschung, die bei Springtiden und Sturmfluten noch im Einflußbereich des Meerwassers zu liegen pflegt, fanden die Rotschwingsoden (*Festucetum rubrae litoralis*, R auf Abb. 22) ihren standortgerechten Platz, und oberhalb dieser Zone wurden Süßgrassoden, die einer Dauerweide hinter dem bisherigen Seedeich entnommen waren (*Lolietum Cynosuretum*), angedeckt (D auf Abb. 22).

Auf diese Weise gelang es, die biologische Umstimmung (WOHLENBERG 1948), d. h. die Entwicklung zur endgültigen Pflanzengesellschaft, in engen Grenzen zu halten und der jungen Grasnarbe von Anfang an einen der Natur des Standortes Rechnung tragenden risikolosen Start zu ermöglichen.

In ähnlicher Weise erfolgte die Erstbesodung des 1959/60 vor Bongsiel errichteten Seedeiches des Hauke-Haien-Kooges.

##### b. Die standortgerechte Ansaat nicht besodeter Deichböschungen

Die mit der Besodung eines Seedeiches verbundenen Arbeiten sind arbeitsaufwendig und kostspielig. Hinzu kommt, wie oben bereits dargelegt, daß an unserer Küste die Sodengewinnungsflächen vor den Deichen knapp geworden sind. Während im traditionellen Deichbau die gesamte Außenböschung und sogar die Deichkrone besodet wurden, werden heute die neuen Seedeiche, deren Krone bei den jüngsten Küstenschutzarbeiten als Folge der großen Flut vom Februar 1962 höher als NN + 8,00 m liegt, nur in den unteren und mittleren Böschungsbereichen besodet, während die oberen Teile der Böschung von rund drei Meter unterhalb der Krone an durch Ansaat begrünt werden, desgleichen die Krone, Innenböschung und Innenberme (vgl. schematische Abbildung 22). Es werden also nur die Teile des Deiches besodet, die auch bei Sturmflut noch im vermuteten Bereich der angreifenden Wellen liegen.

##### 1. Die Ansaat mit Süßgräsern

Die Ansaat erfolgt mit einem Artengemisch, das sich im Artengefüge des *Lolietums* bewegt. Der oben beschriebene Test der nachträglichen Einsaat verschiedener Arten in eine Deichböschung (Abb. 21) hat gezeigt, daß die Anzahl der tauglichen, d. h. narbensicheren Grasarten nicht groß ist. Vor allem hat der Narbentest ergeben, daß die in der Landwirtschaft üblichen Saatgemenge des Feldfutterbaus einschließlich der Mischung für Wechselweiden für die Schaffung einer abwehrfähigen Deichnarbe nicht brauchbar sind. Außer dem auf Abbildung 21 markant hervortretenden Teststreifen von Weißklee wurden daneben gleichbreite Streifen mit

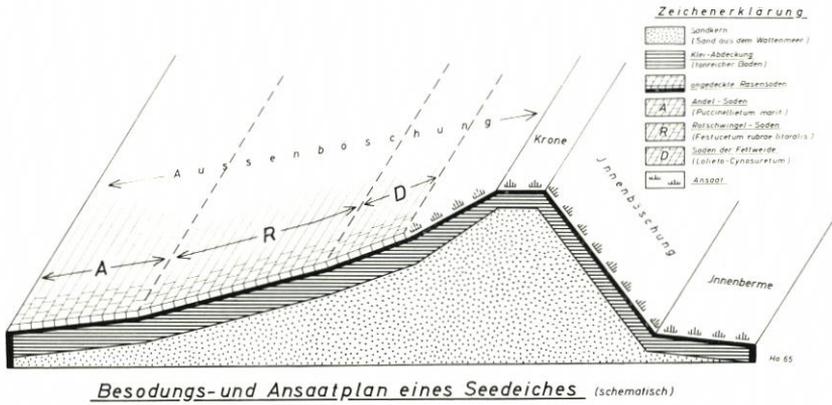


Abb. 22. Schema der Besodung und Ansaat eines modernen Seedeichs. Zuunterst, fast noch im Einflußbereich des Meeres, werden Andel-Soden (*Puccinellia maritima*) angedeckt, daran anschließend im mittleren Bereich der Böschung Rotschwinge-Soden (*Festuca rubra litoralis*), weiter oben als Abschluß der Besodungszone Süßgras-Soden (*Lolieto-Cynosuretum*). Daran anschließend anstelle von Besodung nur noch Ansaat mit standortgerechten Süßgräsern



Abb. 23. Der oberste Abschnitt der Außenböschung des neuen Seedeichs, seine Krone und Innenböschung werden mit biologisch abgestimmten Grasgemischen angesät. Wegen der im Laufe des Tages regelmäßig zunehmenden Seewinde erfolgt die Ansaat von Hand in den frühen Morgenstunden. Die Deichkrone wird beiderseits durch Einfügung eines Sodenbandes gegen Formveränderungen bis zum Aufgehen der Ansaat abgesichert  
Juli 1955. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 24. Während der ersten zwei Monate nach der Einsaat müssen die weidenden Schafe vom angesäten Teil der Böschung (links) ferngehalten werden. Bis dahin steht ihnen zur Beweidung nur der besodete Teil der Deichböschung zur Verfügung. Rechts das Wattenmeer mit den Landgewinnungswerken vor dem neuen Deichfuß  
Aug. 1955. Aufn. E. WOHLBERG

Rotschwengel, Weißem Straußgras, Kammgras, Deutschem Weidelgras, Wiesenrispengras und Rotem Wiesenklees eingesät. Auch der Rotklee (*Trifolium pratense*) ergab ein dominierendes Wuchsbild, zeigte aber eine hohe Empfindlichkeit gegen Salz im Boden und Frosteinwirkung und wurde bereits im ersten Winter weitgehend dezimiert. Für die biologisch deichpflegerischen Maßnahmen behaupteten ihren Platz die Arten: *Lolium perenne*, *Trifolium repens*, *Poa pratensis*, *Cynosurus cristatus* und *Festuca rubra genuina*. Auf diese Arten beschränken wir nunmehr unsere Ansaatgemische. Wir lösen uns damit zwar von dem streng soziologischen Artengefüge des Lolietums, bewegen uns aber unter Verwendung der Hauptformen doch innerhalb seiner natürlichen Grenzen. Nur so ist dieser Methode im Seedeichbau Erfolg beschieden. Damit gehören die früher angewendeten Saatrezepte mit Lieschgras oder Timothe (*Phleum pratense*), Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*), Fioringras (*Agrostis alba*), Knaulgras (*Dactylis glomerata*) der Vergangenheit an. Der Mengenanteil der einzelnen Sorten bedarf der örtlichen Festlegung.

Nach den oben geschilderten Versuchsergebnissen ist die Ansaat unserer beiden jüngsten Seedeiche, des Friedrich-Wilhelm-Lübke-Kooges (1955) am Hindenburgdamm und des Hauke-Haien-Kooges westlich von Bredstedt (1960/61), mit bestem Erfolg durchgeführt worden.

Abbildung 23 zeigt die Ansaat der oberen Böschung und der Krone des Seedeichs vom Lübke-Koog. Da die Kleiabdeckung (Klei = toniger Boden) dem noch salzhaltigen Vorland entnommen worden war, mußte bei der Ansaat der Böschungen noch eine biologische „Sicherung“ eingebaut werden. Wenn auch für die Ansaat möglichst Tage nach einem anhaltenden Regen gewählt wurden, die den Salzgehalt des Bodens schnell unter den für die Keimung der Gräser erforderlichen Grenzwert ermäßigen, so kann starker anhaltender Wind den Salzgehalt unvermittelt wieder in die Höhe schnellen lassen. Aus diesem Grunde wurde das Saatgemenge der Süßgräser durch Beimengung selbstgeernteten salzertragenden Rotschwengels (*Festuca rubra litoralis*)<sup>4)</sup> so weit erweitert, daß die Begrünung trotz der möglichen Salinität sogleich einsetzen konnte.

Die Begrünung der Deichkrone erfolgt zwecks Festigung der Kronenbegrenzung dadurch, daß die Ränder der Krone durch Verlegung je einer einzeiligen Sodenreihe gesichert werden (Abb. 23). Zwischen diesen beiden Sodenzeilen erfolgt im Juli/August die Ansaat vertrittfester Arten. Die Beschränkung auf *Lolium perenne*, *Poa pratensis* und Spuren von *Trifolium repens* hat sich bewährt.

Untersucht man den Artenbestand der Innenböschungen alter Deiche, so herrschen hier sehr oft horstwüchsige Gräser vor wie z. B. das Knaulgras (*Dactylis glomerata*), der Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*), das Honiggras (*Holcus lanatus*) und andere. Zum Teil mögen diese narbenuntauglichen Gräser auf die frühere falsch geübte Ansaat zurückzuführen sein. Ein anderer Grund aber liegt im Ausbleiben der Beweidung. Die alten Deiche haben nämlich eine Innenböschung vom Verhältnis 1 : 2, z. T. sogar von 1 : 1,5. Sie sind mithin für die Beweidung zu steil. Selbst die Schafe meiden diese Böschungen oder fressen hier nur gelegentlich bei Unwetter im Windschutz des Deichkörpers; daher das Vorherrschen horstwüchsiger, narbenuntauglicher Gräser (vgl. Seite 75).

Da die letzten Sturmfluten gezeigt haben, daß solche steilen Innenböschungen vom überstürzenden Wasser sehr leicht und schnell erodiert werden — die Horstwüchsigkeit der nicht verbissenen Gräser läßt keine widerstandsfähige Narbe entstehen — haben die modernen Deiche eine flachere Innenböschung erhalten. Das jetzt übliche Böschungsverhältnis von 1 : 3 läßt eine laufende Beweidung eher zu. Wie Abbildung 24 zeigt, wird die Beweidung der angesäten Flächen in den ersten zwei Monaten nach der Ansaat unterbunden. Danach aber ist sie unbedingt erforderlich, da die junge Narbe sich nur durch Vertritt und Verbiß zu einer abwehrbereiten Grasnarbe heranbilden kann.

<sup>4)</sup> Vgl. Seite 95 und 97.

## 2. Die Ansaat mit Salzgräsern

Bevor die Forschungsstelle Westküste im Jahre 1934 unter anderem ihre biologischen Arbeiten aufnahm, wurden alle durch Sturmfluten oder andere Ursachen herbeigeführten Beschädigungen in der Grasnarbe der Deiche (ganz gleich in welchem Böschungs- [= Höhen-]Bereich des Deiches sie sich befanden) entweder durch Besodung mit Schnittsoden aus dem marinen Anwachs (Vorland) oder durch Ansaat mit Süßgräsern wie Wiesenlieschgras (*Phleum pratense*), Fiorin-gras (*Agrostis alba*), Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*), Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum*), Knaulgras (*Dactylis glomerata*), Weißklee (*Trifolium repens*) und Rotklee (*Trifolium pratense*) ausgebessert. Befand sich die auszubessernde Schadstelle im Bereich der unteren Deichberme, mußte die Ansaat infolge des noch salzhaltigen Standortes naturgemäß fehlschlagen. Da Samen von Salzgräsern im öffentlichen Saathandel nicht gekauft werden können, konnte die Begrünung bis dahin nur durch die kostspielige Besodung erreicht werden.

Da es sich bei den Deicharbeiten um Maßnahmen des Staates oder der Deichverbände, also Aufwendungen aus öffentlichen Mitteln handelt, war es fiskalisch sinnvoll, die biologischen Erkenntnisse der modernen Pflanzensoziologie nutzbringend in die technische Deichbaupraxis einzubauen. Auf Grund solcher Überlegungen wurde der Versuch unternommen, in eigener Regie die Samen von den verschiedenen Salzgräsern unseres Küstenvorlandes zu gewinnen. Wenn auch die Verwendung der Soden zur Sicherung der neu errichteten Seedeiche in Zukunft die Hauptbedeutung behalten wird, so gibt es bei Instandsetzungsarbeiten beschädigter Deichböschungen zahlreiche Möglichkeiten für die preisgünstigere Anwendung der Ansaat mit Hilfe von Salzgräsern. Da Vorläufer solcher Arbeiten nicht existierten, mußten neue Wege beschritten werden.

## 3. Kultur und Saatwerbung von Salzgräsern

### Abstehender Salzschwengel (*Atropis distans*)

Im Sommer des Jahres 1938 gelang die erste in größerem Umfang angelegte Werbung von Salzgrassamen. Von einem etwa zwei ha umfassenden, durch Baggerschlick aufgespülten Versuchsfeld konnten 13 Zentner Samen vom abstehenden Salzschwengel (*Atropis distans*) gedroschen werden. Wenn auch diese Art besonders Kahlstellen, beziehungsweise die kahl getretenen Wechsel der weidenden Schafe bevorzugt, so bot sie dank ihrer Salzverträglichkeit einen dringend benötigten Ersatz für die nahe Verwandte, aber kaum samenerzeugende Art *Puccinellia maritima*, den An-del. Die weitere Nutzung dieser Werbepar-zelle wurde durch den Ausbruch des Krieges verhindert.

### Salzrotschwengel (*Festuca rubra* fo. *litoralis*) und Gerardsbinse (*Juncus Gerardi*)

Bekanntlich folgt im Landbildungsprozeß auf die An-del-Gesellschaft (*Puccinellietum*) die auf den höher gelegenen, nur noch bei Spring- und Sturmfluten überfluteten Anwachsflächen wachsende Gesellschaft des *Festucetum rubra litoralis*. Der dem natürlichen *Festucetum* adäquate Standort am Seedeich umfaßt den Teil der Deichböschung, der die stärksten Schäden durch heftigen Wellenschlag während der Sturmfluten davonzutragen pflegt (Abb. 22). In dieser äußerst beanspruchten Zone bietet die Neubesodung das sicherste Verfahren. An vielen Stellen genügt aber auch die Ansaat beziehungsweise Nachsaat mit entsprechenden Salzgräsern.

Die Saatwerbung von *Juncus Gerardi*, der Leitart dieser Gesellschaft, hatte nur Bedeutung für das wissenschaftliche Experiment, aber nicht für die Praxis, da der staubfeine Samen der Gerardsbinse sich durch Verwendung von Dreschmaschinen nicht gewinnen läßt, sondern nur im mühsamen Handdrusch.

Anders dagegen die Gewinnung des Hauptbestandbildners dieser Salzgesellschaft, des Salzrotschwingels (*Festuca rubra fo. litoralis*). Seit nunmehr zwanzig Jahren steht diese Art an erster Stelle in unserer Anzucht. Die weitgespannte ökologische Variationsbreite dieser Art hat ihren Samen bereits zu einem in der staatlichen Deichbaupraxis unentbehrlichen biologischen Helfer werden lassen. Die staatlichen Baubehörden und die Deichbauverbände rufen die nötigen Saatmengen laufend bei der Forschungsstelle Westküste ab<sup>5)</sup>.

#### Salzliebendes Straußgras (*Agrostis alba stolonifera*)

Am natürlichen Standort des Festucetum rubrae geht im Bereich seines oberen, ausklingenden Grenzbezirks die Einwanderung des salzliebenden weißen Straußgrases vor sich. Auch in die durch Festuca-Soden gesicherte Deichböschung wandert *Agrostis alba stolonifera* nachträglich ein. Es bildet zwar nicht so reine Bestände wie *Festuca rubra*, leistet aber gerade in der biotechnisch empfindlichen und für den Deichschutz wichtigen Übergangszone vom salzigen Festucetum beziehungsweise Juncetum zum höher gelegenen glykischen Bereich, dem Lolietum, wegen seiner guten Narbenbildung (auch bei starkem, dauerndem Verbiß) außerordentlich wertvolle Dienste. Aus diesem Grunde wurde diese wertvolle Grasart in den Vermehrungsplan aufgenommen.

Die erste Versuchsparzelle für eine Reinkultur von *Agrostis alba stolonifera* wurde erst im vorigen Jahre (1964) angelegt. Erfahrungen über Samenproduktion, Ernte, Drusch und Keimfähigkeit sowie die Anwendung im praktischen Deichbau stehen also noch aus.

Wenn die Vermehrung von *Agrostis* und die Werbung der Saat ebensogut gelingen wie die vom Salzrotschwingel (*Festuca rubra litoralis*), dann sind die biologisch ausgerichteten deichpflegerischen Maßnahmen für den gesamten Salinitätsbereich, also vom vollmarinen Puccinellietum bis zum Beginn des Lolietums, gesichert. Dem praktischen, modernen Deichbau steht alsdann ein Hilfsmittel zur Verfügung, das im traditionellen Deichbau nicht vorhanden war.

#### c. Narbenpflege im Vorland durch Umbruch und Ansaat mit Salzgräsern

Es gibt Deichböschungen, an denen sich trotz intensiver Beweidung keine gute Grasnarbe erzeugen läßt. Im mittleren Abschnitt der oberen Berme siedelt sich nicht selten die rhizomführende Salzquecke *Agropyrum litorale* an. Ihr Auftreten im Festucetum hängt sehr häufig mit sandigen Sturmflutablagerungen zusammen. Aber auch dort, wo entgegen den gesetzlichen Vorschriften die Spülsäume höherer mittlerer Wasserstände (Springfluten) nicht rechtzeitig fortgeräumt wurden, so daß die von Licht und Luft abgeschlossene Pflanzengesellschaft, meistens das Festucetum, erstickt, siedelt sich mit Vorliebe die Salzquecke an. Die meistens dichten Bestände dieser Art werden vom weidenden Vieh ängstlich gemieden. So entstehen mehr oder weniger ausgedehnte Horste. Die für die Sicherheit des Deiches Verantwortlichen betrachten die Quecke nicht nur als wertloses Futtergras, sondern sehen in ihrem Auftreten als Narbenschmarotzer eine Gefährdung der Deichböschung. Im Bereich der Queckenbestände

<sup>5)</sup> Auch das Ausland ist an diesen salztoleranten Gräsern interessiert. So wurden Dreschproben sowohl nach den USA als auch nach Australien geliefert, um dort in salzgefährdeten Gebieten erprobt zu werden.

bildet sich ein feuchtes Kleinklima, das viele Bodentiere anzuziehen pflegt. Der Deichkörper wird an diesen Stellen nicht von den Schafen festgetreten, da sie die Quecke nicht fressen. Als Folge der ständigen Beschattung und der Besiedlung mit wühlenden Insektenlarven, Spinnen und Würmern ist der Boden stets feucht und locker. Dieser Zustand wird noch verschlimmert, da oft der Maulwurf in dieser Zone der Jagd auf die genannten Bodentiere nachgeht.



Abb. 25.

Ein für Beweidung und Soden-gewinnung nutzloses Vorland. Die Salzquecke (*Agropyrum litorale*) — von uns Küstenleuten „Hartgras“ genannt — ist ein lästiger Narben- und Futterschmarotzer (Bekämpfungsmaßnahmen siehe Text) Juni 1937. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 26.

Gepflügte und von den Queckenrhizomen befreite Versuchsparzelle wurde zwecks Herstellung einer weidefähigen und gut benarbteten Oberfläche mit dem Salzrotschwengel (*Festuca rubra litoralis*) angesät. Hinter dem Maschendraht das wertlose Vorland mit fast reinem Bestand von *Agropyrum litorale* Juli 1953. Aufn. H. LAFREZ

So kommt es, daß bei Sturmfluten die Quecken-Zone zuerst angegriffen wird. Hier reißen die brandenden Wellen zunächst das Erdreich fort. Stets entstehen hier die ersten Deichschäden, während die Wellen über die glatt verbissene und kurz geschorene Umgebung der Horste ohne Erosionswirkung zunächst hinwegrollen.

Die Bekämpfung der Quecke ist außerordentlich schwierig, weil das zähe Rhizom immer noch in Resten im Boden der Deichböschung verbleibt. Eine wichtige Gegenmaßnahme liegt darin, die Samenzufuhr an die Deiche zu unterbinden. Die Bekämpfung der Salzquecke hat daher bereits auf dem vor den Deichen liegenden Vorland einzusetzen. Wie die von ihr besiedelte Deichböschung, so macht auch das von ihr verseuchte Vorland einen ungepflegten Eindruck. Abbildung 25 gibt eine Vorstellung eines solchen Anwachsgebietes. Die kurz verbissene Umgebung der Queckenhorste wird vom *Festucetum rubrae litorale* besiedelt.

Ein solches Anwachsgebiet hat für den Küstenschutz zweierlei Nachteile. Auf der einen Seite wird die gesamte Samenproduktion bei höheren Wasserständen an die Deichböschungen verdriftet und auf der anderen Seite können in einem solchen Vorland keine Soden geschnitten werden! Es ist also für den Küstenschutz wertlos. Da diese harten langen Horste überdies als Viehfutter vollkommen ausscheiden, ist die wirtschaftliche Last, die dieses Gras den Deichverbänden auferlegt, beträchtlich. Aus diesem Grunde wurde der Versuch unternommen, die lästigen Queckenbestände zu beseitigen, und zwar in diesem Fall durch bäuerliche Maßnahmen. Zum erstenmal in der Geschichte des Deichbaus und der Landgewinnung wurde der Pflug außerhalb des Deiches angesetzt. Nach einem tiefen Umbruch der Vorlandnarbe wurden die Queckenrhizome durch mehrmaliges sorgfältiges Eggen mit der Ackeregge entfernt, danach das Ackerprofil wiederhergestellt und schließlich die Ansaat vorgenommen. Da der Salzgehalt des gepflügten Vorlandbodens noch beträchtlich war, kam nur eine Ansaat mit Salzgräsern in Frage. Nach dem Einbringen des selbst kultivierten Salzrotschwingels wurde die Parzelle angewalzt und sich selbst überlassen, allerdings zunächst unter Fernhaltung der im Anwachsgebiet weidenden Schafe. Der Versuch gelang ausgezeichnet (Abb. 26). Das eingesäte Festucetum hat sich bis heute, zehn Jahre nach der Einsaat, rein erhalten. Die Beweidung erfolgt jetzt wieder normal. Selbst die Gewinnung von Soden ist wieder möglich.

Zwei Faktoren sind für das Gelingen dieser Maßnahme von Bedeutung. Erstens muß die Saat von Salzgräsern zur Verfügung stehen und zweitens ist der Zeitpunkt für das Pflügen so zu wählen, daß während der Keimperiode keine höheren Wasserstände mit Überflutung des gebrochenen Standortes zu erwarten sind.

#### d. Tierische Schädlinge im Seedeich

Ein Seedeich ist nur dann abwehrfähig, wenn seine Grasnarbe kurz und restlos geschlossen ist. Daher bedarf es kaum der Erwähnung, daß alle wühlenden und im Deichkörper Gänge bauenden Tiere vom Deich zu verbannen sind. Da aber der Deich durch Boden und Begrünung ein mit Leben erfüllter Standort ist, gehören zwangsläufig auch Tiere zum organischen Bestand der Deiche. Bei jeder Sturmflut werden die Schädwirkungen, die durch die Gänge des Maulwurfs, der Mäuse und stellenweise auch durch die Erdhöhlen der Kaninchen verursacht werden, offensichtlich. Den während einer Sturmflut an der Deichböschung auf- und ablaufenden Wellen wird das Eindringen in den Deichkörper zuerst stets durch die Gänge der Tiere ermöglicht (Abb. 28 und 29). Jedes Mäuseloch ist ein Schwächepunkt in der Abwehrkraft der Grasnarbe und des Deiches. Daher gehört die Bekämpfung dieser Tiere zu den wichtigsten deichpflegerischen Maßnahmen. Es ist ein Übelstand unserer aus tonigem, daher fruchtbarem Boden aufgebauten Deiche, daß sie gegen den Herbst hin in fast allen Jahren einen solch starken Graswuchs tragen, daß die pro Flächeneinheit abgestimmte Anzahl Weidetiere nicht in der Lage ist, den Graswuchs zu bewältigen. Anstatt der durch die Beweidung angestrebten kurzgeschorenen Grasnarbe kommt es dann zu einer hohen Pflanzendecke, die den wühlenden Tieren beste Lebensbedingungen bietet<sup>6)</sup>. So entstehen die von den Seedeichen her bekannten Mäuseplagen. Die Deichböschung ist dann gezeichnet von einem dichten Gewirr von Laufwechsellern der kleinen Nager. Wenn dann während des ersten Abschnittes einer Sturmflut die Wellen die Deichböschung überbranden, ist nicht selten eine Massenflucht von Mäusen zur Deichkrone hin zu beobachten. Heute versucht man, solcher Mäuseplagen mit Giftpräparaten Herr zu werden. Bei

<sup>6)</sup> Das gleiche gilt von den Unkrautnestern der Ackerdistel und Brennessel, deren laufende Bekämpfung im Rahmen einer vorschriftsmäßigen Beweidung keine besonderen Schwierigkeiten bieten sollte.



Abb. 27.  
Hamburger Hallig.  
An der seewärts abfallenden  
Böschung der Warf konnte  
man die Grasnarbe als Ganzes  
wie eine tote Filzdecke vom  
Untergrund abheben.  
Die Larven des Rüsselkäfers  
*Phyllobius* hatten den Wurzel-  
hals der Gräser durchgenagt  
(aus WOHLBERG 1948)  
Okt. 1939. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 28.  
Deichböschung nach der Sturm-  
flut vom Februar 1962. Die  
Sturmflutwellen haben die  
Grasnarbe zerstört und den  
inneren, von Maulwürfen und  
Mäusen durchlöchernten Deich-  
kern freigelegt  
Febr. 1962. Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 29.  
Zerstörter Deich bei Husum  
nach der Sturmflut vom Fe-  
bruar 1962.  
Die Gänge des Maulwurfs —  
sonst stets der unmittelbaren  
Beobachtung entzogen —  
wurden im Bereich der Durch-  
bruchstelle an der senkrecht  
abgestürzten Böschung noch in  
einer Tiefe von über 100 cm  
unter der Deichkrone ange-  
troffen (vgl. Maßstab)  
Febr. 1962. Aufn. E. WOHLBERG

der großen Ausdehnung der Seedeiche finden jedoch diese Möglichkeiten der Bekämpfung bald ihre Grenze und es bleibt nur die Erwartung, daß Seuchen oder starke Winter die Plage beenden.

Bei der Bekämpfung des Maulwurfs sind größere Erfolge möglich. Für die Deichverbände sind hinter dem Deich wohnende Hilfskräfte tätig, die über eine außerordentliche Geschicklichkeit im Bedienen der Fallen verfügen. An den mehr sandigen Deichen der dithmarscher Küste, wo der Graswuchs infolge des leichteren Bodens auch im Herbst nicht so üppig ist, bringt es ein Maulwurffänger zu einer Tagesleistung von 30 bis 50 Tieren.

Eine zwar seltenere, aber besonders starke Gefährdung erfährt der Seedeich, wenn das Wildkaninchen in der Deichböschung seine großräumigen Bauten anlegt. Ausgangspunkt für eine Kanincheninvasion sind fast immer hinter dem Deich lagernde Baustoffe, Holz, Steine, Faschinen oder ähnliches. Bei den Deichen, deren Kern aus Klei besteht, ist diese Gefahr geringer als bei sandigen Deichen. Erhöhte Aufmerksamkeit erfordern in dieser Hinsicht unsere modernen Deichbauten, da deren Kern heute nicht mehr aus Klei, sondern aus Sand besteht, der mit Hilfe der Spülbagger aus dem Wattenmeer in die Deichtrasse gespült wird. Nicht zuletzt aus Gründen der Abwehr gegen wühlende Kaninchen ist daher der den sandigen Deichkörper schützende Mantel aus Klei möglichst stark, bis zu 90 und 100 cm, zu bemessen. Ein solcher Kleimantel ist die beste Gegenmaßnahme.

Was für das Wildkaninchen gilt, hat gleiche Gültigkeit für den Fuchs und dessen Bau. Er sucht die Nähe des Seedeiches, weil er mit Vorliebe nach dem Zurücktreten der Flut den Spülsaum nach Aas, angeschwemmten Fischen und Krebsen absucht und hier einen stets reich gedeckten Tisch vorfindet. Als Bekämpfungsmaßnahme führt bei Kaninchen und Fuchs nur der Abschluß zum Erfolg.

Aber nicht nur Maus, Maulwurf, Kaninchen und Fuchs gefährden die Widerstandskraft der Seedeiche, sondern auch die im Verborgenen lebende Kleinfafauna wie Käfer, Spinnen, Würmer sowie alle Arten von Larven und deren bodengebundenen Entwicklungsstadien. Die durch sie sicher schon immer hervorgerufenen Schadwirkungen blieben zunächst noch ungeklärt, weil keine Untersuchungen an Ort und Stelle im Gelände angesetzt wurden.

Im Jahre 1939 wurden in der Grasnarbe an den Warfböschungen der Hamburger Hallig flächenmäßig umfangreiche Verödungen festgestellt. Der Rasen bedeckte zwar noch den Warfkörper, aber die Gräser kränkelten offensichtlich. Sie zeigten eine gelblich-graue Verfärbung. Die nähere Untersuchung klärte die Ursachen (WOHLENBERG 1948). Die Grasnarbe befand sich nicht mehr im Wurzelverband. Man konnte sie mühelos als toten Filz vom Warfkörper abheben (Abb. 27). An der Grenzzone zwischen Wurzelhals und Sproß waren die Gräser durchgenagt. Etwa zehn Millimeter unter der Oberfläche wurde ein dichter Befall weißer beinloser Larven (bis zu 400 je Quadratmeter) als Urheber der Verödung festgestellt. Angesichts der hohen Bedeutung der Grasnarbe für den Schutz der vor dem Meer liegenden Böschungen wirkte dieses Ergebnis der Bodenanalyse alarmierend. Aufschlußreich war die Feststellung, daß nur solche Gräser von der Larve angenommen und vernichtet wurden, die sich als Bestandteil der an die Böschung verpflanzten Sode in der ökologischen Umstimmung befanden, also nur die Salzgräser, deren Widerstandskraft durch den böschungs- und lagebedingten Salzatzug geschwächt war. Bereits eingewanderte Süßgräser wie *Lolium perenne*, *Poa pratensis* und *Agrostis stolonifera* sowie alle Rosettenpflanzen blieben unangetastet. Die Heranzucht der Larven als nicht identifizierbare Bodenstadien zeitigte im Labor das überraschende Phänomen, daß der Rüsselkäfer *Phyllobius piri* L., der bis dahin nur von Obstbäumen des Binnenlandes bekannt war, hier draußen vor der Küste in einem ausgesprochen baumlosen, noch dazu marinen Gebiet der äußersten Nordseeküste seine Entwicklung durchmacht.

Als Bekämpfungsmaßnahme erhielt die biologische gegenüber der chemischen den Vorzug.

Die alte Grasnarbe wurde entfernt und die nackt gewordene Böschung mit standortgerechten Gräsern neu angesät (WOHLENBERG 1948).

Ein anderer Narbenschmarotzer ist die *Tipula*, die bis zu vier Zentimeter lang werdende graue Larve der Wiesenschnake.

Infolge des kurzen Verbisses der Gräser kommt die *Tipula* an unsern Deichen kaum vor. Bei der Besodung des südlich vom Hindenburgdamm 1954 errichteten Seedeiches (Lübke-Koog) mußte jedoch auf Vorlandsoden zurückgegriffen werden, deren Standort nördlich vom Hindenburgdamm liegt. Die landwirtschaftliche Betriebsform der dort hinter dem Deich wohnenden Bauern bringt es mit sich, daß diese das Heu für die Winterfütterung nicht im Koog, sondern im Vorland ernten. Auf diesen Parzellen ist die Beweidung natürlich unterbunden. Durch die jahrzehntelange Nutzung dieser Salzwiesen ausschließlich als Mähland hatte das Gelände allmählich eine rohumusartige Auflage erhalten. Da die Beweidung ausblieb, kam es außerdem weder zur Bestockung der Gräser noch zur Festigung der Oberfläche. In diesem Zustand kamen die hier gewonnenen Soden an die gut durchwärmte, der Sonne zugewandte Böschung des neuen Seedeiches. In kurzer Zeit war die Pflanzendecke dieser Soden von einem Massenvorkommen der *Tipula* aufgezehrt. Da der Salzgehalt des Ausgangsstandortes durch die Hanglage am Deich bereits weitgehend abgenommen hatte, erfolgte als Gegenmaßnahme gegen den *Tipula*-Befall die mechanische Beseitigung der Wiesenstruktur mit nachfolgender Einsaat von Süßgräsern. Auf die kostspielige Neubesodung konnte verzichtet werden.

Durch die vorstehend dargelegten Befunde müssen die Larven des Rüsselkäfers *Phyllobius piri* und der Wiesenschnake *Tipula oleracea* als ausgesprochene Schmarotzer der Grasnarbe und daher als Schädlinge unserer Seedeiche bewertet werden.

Es erhebt sich die Frage, welche Bewertung die hinsichtlich Arten- und Individuenzahl endlose Gemeinschaft der weiteren Kleinf fauna unserer Seedeiche erfahren soll.

Durch die umfangreichen und mühevollen Untersuchungen von HEYDEMANN (1962, 1963) haben wir neuerdings den ersten umfassenden Einblick in die den Seedeich besiedelnde Kleintierwelt erhalten. Was auf botanischem Gebiet seit langem bekannt war, konnte nunmehr auch zoologisch belegt werden, nämlich an der unteren Deichberme eine „halobionte-hygrobionte Tiergruppe“, daran nach oben anschließend im Festucetum rubrae litoralis eine „halophile-hygrophile Gruppe“ und daran anschließend im Agrostidetum-Lolietum-Cynosuretum eine „halotolerante-oligohygrophile Gruppe“ (HEYDEMANN 1963). Auch nach diesen Untersuchungen erweist sich der Seedeich als ein hochspezialisierter Biotop.

Zum Abschluß seiner Untersuchungen hat HEYDEMANN auch die Frage nach der Nützlichkeit und Schädlichkeit der Kleinf fauna gestellt. Mit Recht weist er darauf hin, daß die Ausbildung einer dichten vitalen Grasnarbe von einem Boden großer biologischer Aktivität abhängt. Der bei HEYDEMANN zu findende Schlußsatz „Der größte Teil der Arten und Individuen der behandelten Tiergruppen gehört nicht zu den Schädlingen, sondern ist räuberisch oder an der Bodenaufbereitung tätig und damit nützlich“ bedarf jedoch hinsichtlich der biologischen Abwehrkraft der Deichböschung der Überprüfung. Wie oben dargelegt wurde (Seite 98) ist am Seedeich nicht etwa eine optimale Grasproduktion erstrebenswert, sondern eine durch Verbiß und Vertritt gefestigte Grasnarbe. Einschränkungen in der Vitalität durch starke Beweidung, durch Besonnung und Wasserentzug müssen hingenommen werden, wenn nur die Narbe regenerationsfähig bleibt. Mit anderen, auf den praktischen Deichbau bezogenen Worten, eine kurz verbissene, durch Vertritt gefestigte, dicht geschlossene und somit abwehrfähige Grasnarbe steht der optimalen Entwicklung einer das feuchte Kleinklima bevorzugenden tierischen Lebensgemeinschaft entgegen. Wie oben dargelegt wurde (Seite 96), bieten zum Beispiel die hohen, vom Weidevieh ängstlich gemiedenen Hartgraszonen (*Agropyrum litorale*, vgl. Abb. 25 auf Seite 97) sowie Unkrautnester von Brennesseln und Ackerdisteln der tierischen

Lebensgemeinschaft willkommene Lebensbedingungen, aber für die Abwehrkraft der sturmflutkehrenden Deiche bleiben sie mit dem Menetekel des „Lindenblattes“ belastet.

## V. Zusammenfassung

1. Die Bedeutung der Pflanzendecke für die Abwehrkraft der Seedeiche wird herausgestellt. Die Grasnarbe widersteht dem Angriff der Wellen nur dann, wenn der Pflanzenverband durch intensive Beweidung stark verbissen ist und einen teppichartig geschorenen Aspekt liefert.
2. Das Problem der standortgerechten Besodung und Ansaat der Seedeiche wird diskutiert. Vor- und Nachteile der heute üblichen Rollsoden-Technik werden mit der traditionellen Schnittsoden-Technik verglichen.
3. Vor- und Nachteile der althergebrachten bäuerlichen Methode des Bestickens der Deichberme mit Stroh beziehungsweise mit Reth werden erörtert.
4. Der biotechnische Bauwert der Rasensoden wird getestet.
5. Entgegen der bisher willkürlich vorgenommenen wird die biologisch ausgerichtete, d. h. standortgerechte Besodung in den verschiedenen Böschungszonen im Interesse des Küstenschutzes gefordert.
6. Erstmals wurde im Jahre 1937 ein Soden-Versuchsgarten zum Nachweis der auf die Verpflanzung der Sode folgenden Veränderungen im Artengefüge angelegt.
7. Standortgemäße und narbensichere Grasarten werden durch Testversuche an Ort und Stelle am Seedeich ermittelt.
8. Der oberste Abschnitt der Deichböschung, soweit diese Zone nicht mehr direkt von den Sturmfluten berührt wird, die Deichkrone, die Innenböschung und die Innenberme werden durch Ansaat begrünt. Die herkömmlichen, aus dem landwirtschaftlichen Futterbau abgeleiteten Saatgemische werden als narben-untauglich verworfen. Grundlage für die Zusammensetzung standortgerechter Saaten ist die pflanzensoziologische Analyse an alten sturmbewährten Seedeichen.
9. Zwecks Begrünung salzhaltiger Deichböden entfällt die Verwendung von Handelssaatgut. Für die Gewinnung von Salzgrassamen werden die drei wichtigsten, an der Küste vorkommenden Wildgräser auf salzreichen Parzellen in eigene Vermehrung genommen.
10. Mit Hilfe der gewonnenen Salzgras-Saaten können jetzt Böden verschiedener Salinitätsgrade begrünt und mit Erfolg gegen Erosion geschützt werden.
11. Nachdem nunmehr Salzgras-Samen verfügbar sind, können Vorlandflächen, die durch schlechte Narbenbildner verseucht sind, gebrochen und mit geeigneten salztoleranten und narbensicheren Grasarten angesät werden.
12. Die Gefährdung der Deichsicherheit durch die Tierwelt im Seedeich und die erforderlichen Gegenmaßnahmen werden beschrieben.
13. Hohe Graserzeugung am Seedeich fördert die tierischen Lebensgemeinschaften, aber schwächt die Abwehrkraft der Deiche.

## Schriftenverzeichnis

- BANTELMANN, A.: Forschungsergebnisse der Marschenarchäologie zur Frage der Niveauveränderungen an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste 8, 1960.
- BEEFTINK, W. G.: *Conspectus of the Phanerogamic Salt Plant Communities in the Netherlands*. Biolog. Jaarboek Dodonaea, 1962.
- BUSCH, A.: Bilder von und nach den Oktoberfluten 1936. Die Heimat 1, 1937.
- BUSCH, A.: Alte Deichquerschnitte auf Sylt. Ein Beitrag zu den Fragen der Anfangsentwicklung des Deichbaus. Westküste 2, H. 1, 1939.
- CHRISTIANSEN, W.: Die Außendeichvegetation von Schleswig-Holstein mit besonderer Berücksichtigung von Föhr. Föhrer Heimatbücher Nr. 16, 1927.
- HAARNAGEL, W.: Die Marschsiedlungen in Schleswig-Holstein und im linkselbischen Küstengebiet. Schriftenreihe d. Provinzialstelle f. Marschen- u. Wurtenforschg. Bd. I, 1940.
- HEYDEMANN, B.: Der Einfluß des Deichbaus an der Nordsee auf Larven und Imagines von Carabiden und Staphyliniden. Dt. Ak. d. Landw.wissensch. zu Berlin, 1962.

- HEYDEMANN, B.: Deiche der Nordseeküste als besonderer Lebensraum. Ökologische Untersuchungen über die Arthropoden-Besiedlung. Die Küste 11, 1963.
- HINRICHS, W.: Nordsee-Deiche, Küstenschutz und Landgewinnung. Husum 1931.
- HUNDT, Cl.: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste 3, 1955.
- KÖNIG, D.: Standortuntersuchungen auf einem Vorlandrasen an der schleswig-holsteinischen Westküste bei Husum. Biolog. Zentralblatt 68, H. 11/12, 1949.
- Küstenausschuß Nord- u. Ostsee, Arbeitsgruppe Küstenschutzwerke: Empfehlungen für den Deichschutz nach der Februar-Sturmflut 1962. Die Küste 10, 1, 1962.
- LAFRENZ, P.: Über die Pflege und Nutzung des Anwaches und der Deiche an der Dithmarscher Küste. Die Küste 6, H. 2, 1957.
- PFEIFFER, H.: Die Arbeiten an der schleswig-holsteinischen Westküste seit 1933. Westküste 1, H. 1, 1938.
- PRUMMEL, B., JONKER, J. J., DE VRIES, D. M., EDELMAN, T., THIERRY, J. W.: Grasmatt op Dijken. Bericht Koninkl. Nederlands Genootschap voor Landbouwwetenschap Kampen (Nederland) 1958.
- SUHR, H.: Welche Folgerungen zieht das Land Schleswig-Holstein für seinen Hochwasserschutz aus den Erfahrungen mit der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962. Wasser und Boden 14, 8, 1962.
- TÜXEN, R.: Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. Mitt. florist.-soziol. Arb.Gem. Niedersachsen, H. 3, 1937.
- TÜXEN, R.: Die Pflanzengesellschaften des Außendeichslandes von Neuwerk. Mitt. florist.-soziol. Arb.Gem. N. F., H. 6/7, 1957.
- TÜXEN, R., WESTHOFF, V.: *Saginetta maritima*, eine Gesellschaftsgruppe im wechselhalinen Grenzbereich der europäischen Meeresküsten. Mitt. florist.-soziol. Arb.Gem. N. F., H. 10, 1963.
- WOHLENBERG, E.: Das Andelpolster und die Entstehung einer charakteristischen Abrasionsform im Wattenmeer. Wiss. Meeresuntersuchungen Helgoland XIX, 4, 1933.
- WOHLENBERG, E.: Unsere jungen Köge. Meyns Schleswig-Holsteinischer Hauskalender 1939.
- WOHLENBERG, E.: Die Gefährdung einer Halligwarft durch Käferlarven. Verhdl. Deutscher Zoologen in Kiel 1948.
- WOHLENBERG, E.: Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. Die Küste 2, H. 2, 1954.
- WOHLENBERG, E. und SNUIS, H.: Anwachs, Landgewinnung und Deichbau in Nordfriesland. Schr. d. Nissenhauses in Husum, Nr. 3, 1955.

# Beitrag zur Entwässerung der Marsch

Von Ernst Müller und Walter Müller-Späth

## Inhalt:

1. Vorbemerkung . . . . .	104
2. Hydrologische Grundlagen . . . . .	105
3. Natürliche Entwässerung . . . . .	107
4. Dränung . . . . .	111
5. Künstliche Vorflut . . . . .	113
6. Zusammenfassung . . . . .	117
7. Schriftenverzeichnis . . . . .	118

## 1. Vorbemerkung

Das Gebiet der Marschen umfaßt die Niederungen an der Küste und in den Urstromtälern der Strommündungen. Die Marsch ist entstanden aus der Wechselwirkung zwischen Erosionen, Ablagerungen und Verlandungen bei gleichzeitigem Einfluß der sogenannten Küstensenkung im Bereich der dynamischen Wirkung der See und der unter Tideeinfluß stehenden Ströme und Flüsse. Durch die Bedeichung, die erst vor wenigen Jahrhunderten einsetzte, wurde dieses Gebiet der formenden Gewalt der Überflutungen entzogen und einer ständigen Nutzungsmöglichkeit zugeführt.

Durch die lange Einwirkung der Tideströmung und der Überflutungen entstand der für die Marschen an den Strömen und der See charakteristische Aufbau. Das Deichvorland, das am längsten den sinkstoffreichen Überflutungen ausgesetzt ist, hat mit etwa 2,00 m über NN und oft noch darüber die höchste Lage.

Hinter den Deichen finden wir das Land oft schon etwa  $\frac{1}{2}$  bis 1 m tiefer, es fällt zum „Sietland“, dem niedrigsten Streifen, etwa 5 km vom Deich entfernt, auf etwa NN  $\pm$  0,0 m und oft auch darunter ab. Hier befindet sich das Niederungsmoor mit nur wenig Überschlückung. In einer Entfernung von etwa 10 km vom Deich steigt das Gelände wieder an und geht dort in Hochmoor oder in die Geest über. Von diesem schematisch skizzierten Aufbau gibt es naturgemäß viele Abweichungen, da jedes Marschgebiet seine eigene Entstehungsgeschichte hat.

Dieser Querschnittsaufbau mit dem landeinwärts zum Sietland gerichteten Gefälle bringt schon erhebliche Schwierigkeiten für die Entwässerung mit sich, da das Wasser entgegen dem Geländegefälle mit zunehmender Einschnittstiefe bis zur tideführenden Hauptvorflut geleitet werden muß. Bei starken Niederschlägen oder durch Sturmflut verhindertem Abfluß wird daher zunächst das fern vom Deichsiel gelegene Sietland überschwemmt. Die Leistung der Vorflut ist also nach dem im Sietland erforderlichen Wasserstand zu bemessen. Weitere Schwierigkeiten ergeben sich durch den ständigen Anstieg des Meeresspiegels (auch „Küstensenkung“ genannt) und durch die Sackung der Moore als Folge der Kultivierung und Entwässerung.

Die vorliegenden Untersuchungen und Ergebnisse wurden in der Praxis bei der Entwässerung der linkselbischen Marschen gewonnen. Sie beschränken sich auf die Entwässerung und Dränung. Die Grundsätze der Planung gehen von der unabdingbaren Forderung aus, eine unter allen Umständen völlig ausreichende Vorflut zu schaffen.

2. Hydrologische Grundlagen

Grundlage für alle wassertechnischen Berechnungen ist die Höhe der Niederschläge in ihrer Verteilung über das Jahr, ihren Extremwerten und der Intensität mehrtägiger Perioden mit starken Niederschlägen. Im Gebiet um Stade liegen Regenmessungen von 40 Jahren (1924 bis 1963) vor [6]\*), aus denen die Zahlenwerte der Abbildung 1 ermittelt werden konnten.

In Abbildung 1 ist die Verteilung der Niederschläge über das Jahr angegeben. Die eingeklammerten Zahlen geben das Jahr an, in dem der Extremwert aufgetreten ist. Um längere nasse Perioden festzustellen, die für die Entwässerung besonders kritische Verhältnisse hervorrufen, sind in Abbildung 2 die Höchstsummen der Niederschläge aufgetragen, die in jedem Monat in 10 aufeinanderfolgenden Tagen gefallen sind.

Im tidefreien Gebiet läßt sich der Abfluß eines Gewässers leicht aus dem jeweiligen Wasserstand ermitteln. Das ist in den Marschen wegen der Einwirkung der Tide nicht der Fall. Die Tore in den Deichsielen öffnen sich erst, wenn der Tidewasserstand unter den Binnenwasserstand gefallen ist und schließen sich, nachdem bei Flut der Abfluß zum Stillstand kommt. Die kurze Zeit der Öffnung ist die Sielzugzeit, die lange Zeit bis zur Wiederholung des Spiels die Sielschlußzeit. Falls das gesamte Wasser am Deichsiel durch Schöpfwerke abgepumpt wird, läßt sich aus deren Leistung der Abfluß ermitteln, im übrigen, insbesondere zur Ermittlung der Höchstabflüsse, müssen die Messungen außerhalb des Tidegebietes herangezogen werden. Ein Deichschöpfwerk muß so bemessen sein, daß es den maximalen Abfluß — gemittelt über einige Tiden — auch bei betriebsbedingten Pausen bewältigen kann. Solche Pausen entstehen durch zu große Druckhöhe bei hohen Außenwasserständen und Sperrstunden in der Stromzuführung.

Zur Ermittlung der Abflußspenden im Raum um Stade wird der Pegel Ramshausen herangezogen, dieser liegt an der Ramme, einem Nebenfluß der oberen Oste. Er erfährt ein Nieder-

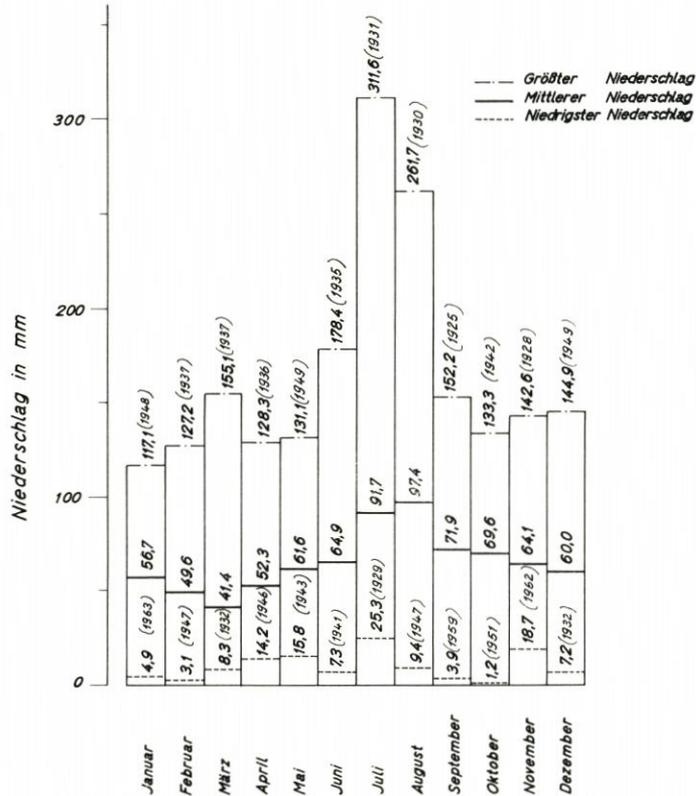


Abb. 1. Hauptzahlen der Niederschläge im Dienstbezirk des Wasserwirtschaftsamtes Stade aus den letzten 40 Jahren

\*) Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Schriftumsverzeichnis.

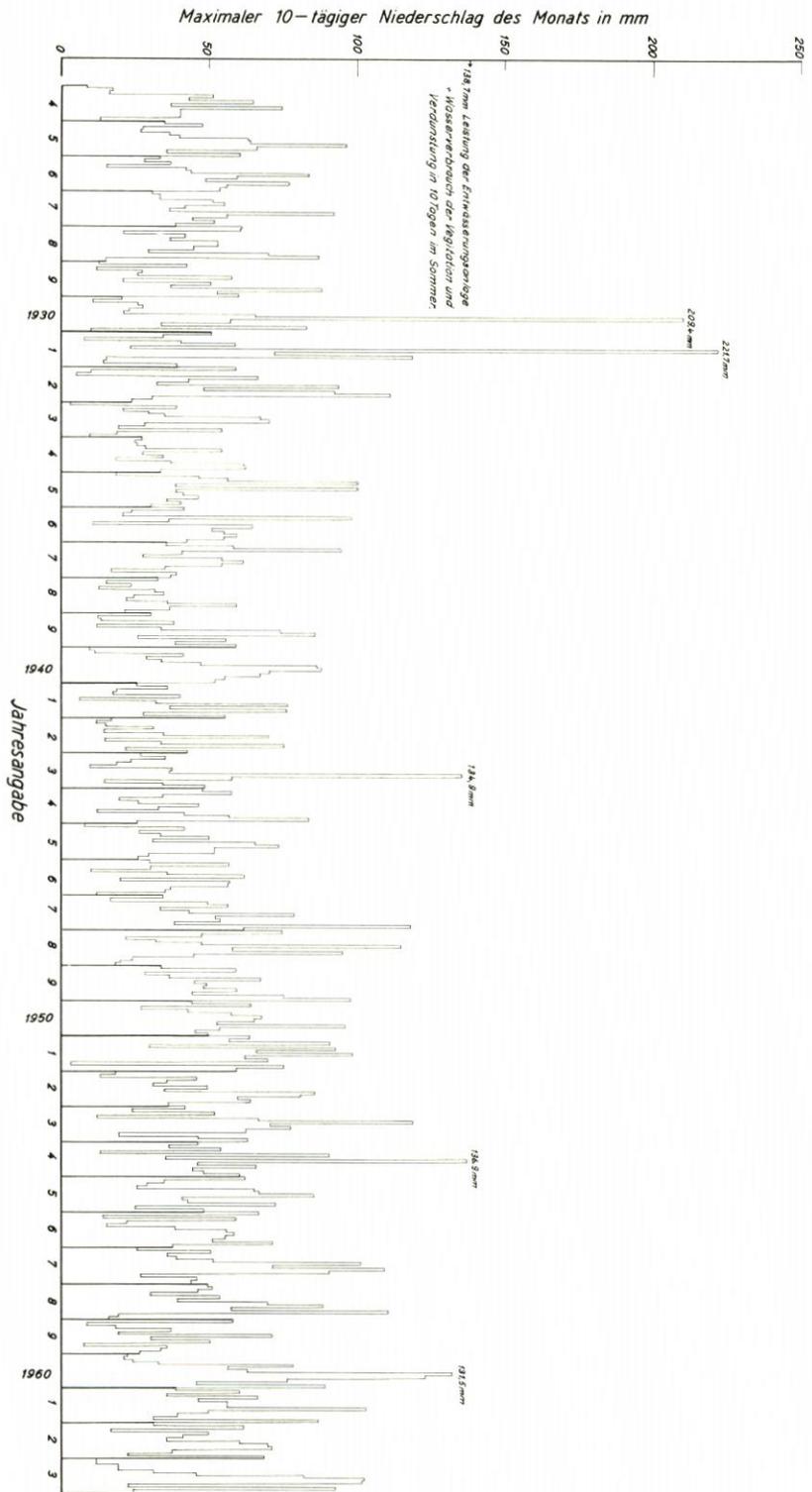


Abb. 2. Niederschlagssumme derjenigen Dekade (zehn zusammenhängende Tage) eines jeden Monats, die jeweils den größten Niederschlag brachten

schlagsgebiet von 65,1 km<sup>2</sup>. Beobachtungen und Abflußmessungen liegen ab 1936 vor. Vergleiche dieser Abflußwerte mit Schöpfwerksleistungen bei großem Abfluß und annähernd gleichem Niederschlag in beiden Gebieten führten zu guter Übereinstimmung der Ergebnisse, so daß die in Ramshausen ermittelten Abflüsse in die Marsch bei Stade übertragen werden können.

In Trockenzeiten haben Marschgebiete ohne Fremdwasserzufluß (etwa von der Geest) keinen Abfluß, der Verbrauch durch Vegetation und Verdunstung ist dann gleich dem Zufluß aus den Niederschlägen. Qualmwasser aus dem Grundwasser und dem Tidevorfluter tritt nur in sandigen Gebieten auf und erreicht nur geringe Werte, die allerdings bei starker Absenkung des Wasserspiegels durch Schöpfwerke größer werden können. Das bisherige umfangreiche Grabensystem in der Marsch (10—15 % der Gesamtfläche) wirkt als Speicherbecken ausgleichend auf den Abfluß ebenso wie in gedrängten Flächen der entwässerte Porenraum des Bodens.

Ausschlaggebend für die Wirkung des Sielzuges ist die Höhe des Tideniedrigwassers (Tnw). Bei höherem Tnw steigt der Wasserstand in der Marsch an, das gleiche ist der Fall, wenn größere Niederschläge fallen. Beide Einflüsse überlagern sich, daher muß die ungünstigste Gesamtwirkung für die Bemessung der Vorflutanlagen zugrunde gelegt werden.

### 3. Natürliche Entwässerung

Maßgebend für die Entwässerung der Marsch ist das MTnw des Meeres und der Tidewasserläufe. Dieses fällt vor den einzelnen Deichschleusen verschieden tief ab. Einen nennenswerten Einfluß üben Querschnitt, Sohlenlage und Länge der Außenpriele aus. Während in dem freien Tidestrom und der Nordsee das MTnw um NN — 1,50 m schwankt, wird von der Deichschleuse ab in den Außenpriele ein Gefälle bis zu 1,50 m verbraucht. Bei solcher mangelhaften natürlichen Vorflut kann in der Marsch nur ein hoher Grabenwasserstand gehalten werden, der im Sietland zwangsläufig zur Naßwirtschaft (Grünland) führt.

Falls kein Schöpfwerk für die Abführung des Wassers aus der Marsch in den Tidevorfluter eingesetzt ist, spricht man von natürlicher Vorflut. Dies gilt auch, wenn durch Polderschöpfwerke die Vorfluter im Gebiet aufgepumpt werden, der weitere Ablauf aber natürlich bleibt. Bei der künstlichen Vorflut mit Schöpfwerken am Deichsiel gibt es verschiedene Abstufungen zwischen voller künstlicher Entwässerung und dem Einsatz von Hochwasserschöpfwerken, die nur bei Abflußspitzen und hohen Tidewasserständen ergänzend zur natürlichen Vorflut eingesetzt werden.

Der Niederschlag fließt in der ungedrängten Marsch in die Beetgräben, die in Abständen von 12—20 m meist in Richtung des natürlichen Gefälles verlaufen, d. h. vom Deich zum Sietland. Das Wasser wird von Querwasserläufen aufgenommen, die man z. B. an der Unterelbe mit „Wettern“ bezeichnet. Diese wiederum münden in einen Wasserlauf, der parallel zu den Beetgräben liegt, hier überwiegend „Fleth“ genannt. Das Fleth verläuft also entgegen dem natürlichen Gefälle im Sietland beginnend durch das „Hochland“ hindurch bis an das Deichsiel. Außerhalb des Deichsieles beginnt der Außenpriel, der in den Tidefluß oder die See mündet. Die Länge des Außenpriele richtet sich nach der Ausdehnung des Vorlandes und ggf. der vorgelagerten Wattflächen.

Der Wasserspiegel im Binnenvorfluter, der sich am Ende der Sielschlußzeit oder, was dasselbe ist, mit Beginn der Sielzugzeit eingestellt hat, wird allgemein Stauspiegel genannt. Den zum Tnw zugehörigen Binnenwasserspiegel bezeichnet man mit Ebbespiegel (Abb. 3). Der Wasserspiegel am Ende der Sielzugzeit soll mit „Sielschlußspiegel“ eingeführt werden. Dieser liegt am Deichsiel über und im Sietland unter dem Ebbespiegel.

Die Abflußmengenganglinie am Siel während der Sielzugzeit ist in ihrem allgemeinen Verlauf in Abbildung 4 dargestellt. Der Abfluß, der am Siel in der Zeiteinheit  $s$  stattfindet, soll mit

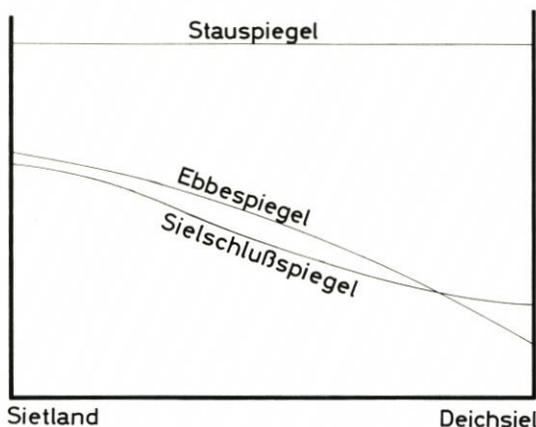


Abb. 3. Schematische Darstellung der drei wichtigsten Wasserspiegellagen im Binnenvorfluter eines Marschgebietes bei natürlicher Entwässerung

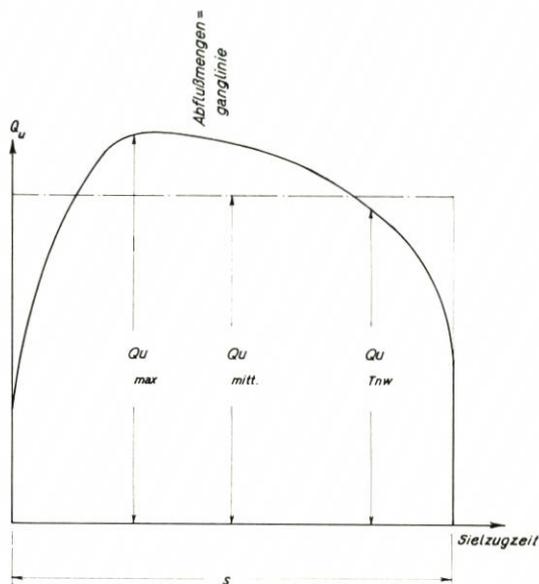


Abb. 4. Schematische Darstellung der Ganglinie  $Q_u$  am unteren Ende des Binnenvorfluters vor dem Deichsiel während Sielzugzeit

$Q_u$  bezeichnet werden ( $m^3/s$ ). Dem entsprechend ist  $\sum Q_u$  ( $m^3$ ) der summierte Abfluß während der Sielzugzeit, also die integrierte Abflußmengen-ganglinie.

Der Wert  $\sum Q_u$  dividiert durch die Sielzugzeit  $s$ , angegeben in Sekunden, ist der mittlere Abfluß während der Sielzugzeit, mithin

$$Q_{u \text{ mitt}} = \frac{\sum Q_u}{s} \quad m^3/s \quad (1)$$

Der Größtabfluß soll mit  $Q_{u \text{ max}}$  bezeichnet werden. Diejenige Wassermenge, die bei Eintritt des  $T_{nw}$  abfließt, sei  $Q_{u \text{ Tnw}}$  (Abb. 4).

Sie entspricht häufig etwa dem mittleren Abfluß, so daß man auch setzen kann [3]:

$$Q_{u \text{ Tnw}} \approx \frac{\sum Q_u}{s} \quad (2)$$

Ferner ist:

$$Q_{u \text{ max}} = k \cdot \frac{\sum Q_u}{s}, \quad (3)$$

worin der Festwert  $k > 1$  ist. Diese Gleichung soll zur Berechnung der Zubringer herangezogen werden.

Der Abfluß  $\sum Q_u$  während der Sielzugzeit entspricht im allgemeinen dem Zufluß  $\sum Q_z$  aus dem Niederschlagsgebiet  $F_N$  während einer Tide ( $12,4 \cdot 3600 = 44640$  sec). Dann ergibt sich dieser Zufluß über eine Tide aus:

$$q_T = \frac{\sum Q_u}{44,64 \cdot F_N} \quad l/skm^2 \quad (4)$$

Der Zufluß  $\sum Q_z$  während der Sielzugzeit ( $s$ ) wird in dieser Zeit zunächst vom Speicher-raum aufgenommen, so daß die Differenz zwischen Abfluß und Zufluß ( $\sum Q_u - \sum Q_z$ ) dem

jeweiligen Stauraum entspricht. Die während der Sielschlußzeit (44 640 — s) in diesem Speicher-  
raum aufnehmbare Abflußspende  $q_s$  ergibt sich somit zu:

$$q_s = \frac{(\sum Q_u - \sum Q_z) \cdot 1000}{F_N \cdot (44\,640 - s)} \quad \text{l/skm}^2 \quad (5)$$

Nimmt man während des gesamten Abflußvorganges die Abflußspende als konstant an und setzt man voraus, daß vor und nach der Berechnungstide der gleiche Stauspiegel vorhanden ist, ergibt sich:

$$q = q_T = q_s \quad (6)$$

Dieses ist die Leistung der Entwässerungsanlagen während einer Tide, sie soll daher hier mit „Tideleistung“ bezeichnet werden. Diese Leistung ist abhängig von der Höhe des Stau-  
spiegels zu Beginn des Sielzuges,

der Höhe des jeweiligen  $T_{nw}$  und damit der Sielzugzeit sowie dem Druckgefälle, das sich im Siel einstellt und besonders der Leistung des Binnenvorfluters (Sohlenlage und Querschnitt). Einen weiteren Einfluß auf den Abflußvorgang übt das Beharrungsvermögen des Wassers aus. Hierdurch wird zu Beginn des Sielzuges die Fließgeschwindigkeit verzögert und gegen Ende beschleunigt. Beide Vorgänge heben sich jedoch auf.

Die Absenkung bei Sielzug setzt sich vom Deichsiel zum Sietland hin fort. Diese Fortpflanzungsgeschwindigkeit  $c$  kann auf Grund von Messungen gleich der Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit [2] zu:

$$c = \sqrt{g t} \quad (7)$$

gesetzt werden, worin  $t$  (in m) die Wassertiefe im vorhandenen Wasser bedeutet.

Die ungünstigsten Verhältnisse treten am Siel auf, wenn größerer Zufluß auf höhere Tiden trifft, wobei die Gewichte beider Einflüsse an jedem Siel verschieden sein können. Daher wurden in Tabelle 1 die neun ungünstigsten Perioden hoher Tiden (Pegel Cux-

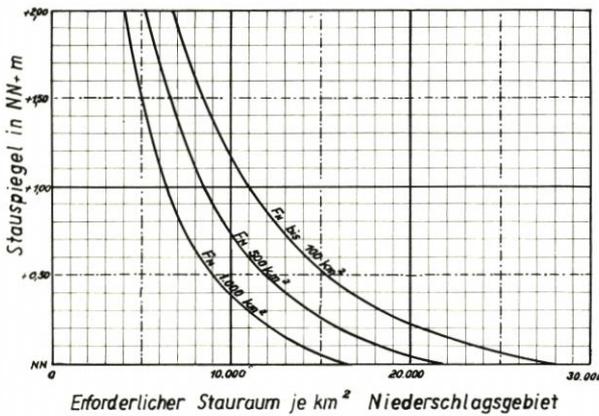


Abb. 5. Beziehung zwischen Stauspiegel und dem erforderlichen Stauraum in m³ je km² Niederschlagsgebiet

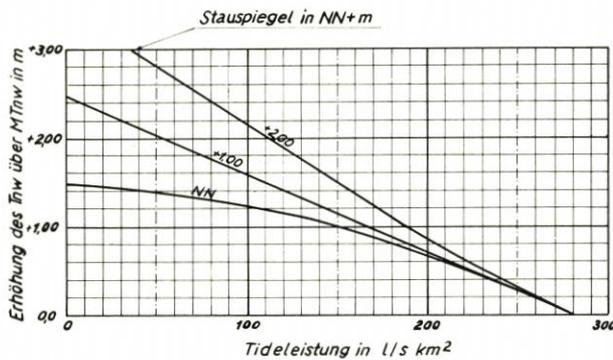


Abb. 6. Beziehung zwischen den Stauspiegelordinaten NN, NN + 1,00 m und NN + 2,00 m und der Tideleistung bei verschiedener Erhöhung des  $T_{nw}$  über  $M T_{nw}$

haven) und hohen Abflusses (Pegel Ramshausen) der letzten 25 Jahre zusammengestellt. Mit diesen Werten läßt sich der erforderliche Stauraum in Abhängigkeit von der zulässigen Stauspiegelhöhe ermitteln. Das Ergebnis ist für verschieden große Niederschlagsgebiete in Abbildung 5 aufgetragen.

Tabelle 1

Periode	Datum	Tnw am Pegel Cuxhaven NN + m	Abflußspende		Periode	Datum	Tnw am Pegel Cuxhaven NN + m	Abflußspende			
			bei Tnw	l/s km <sup>2</sup> q <sub>max</sub>				bei Tnw	l/s km <sup>2</sup> q <sub>max</sub>		
Januar 1938	28.	- 1,04	52	119	März 1951	22.	- 1,33	44	154		
	29.	- 0,10	95			23.	- 0,69	78			
		+ 0,86	107				- 1,01	112			
	30.	+ 0,13	85			24.	- 0,67	146			
		- 0,54	75				- 1,11	131			
	31.	- 1,14	66		25.	- 1,45	98				
Februar 1940	27.	- 1,98	65	160		26.	- 1,49	79			
		- 1,76	85			- 1,75	67				
	28.	- 1,59	107		März 1956	29. II.	- 1,47	48			
		- 1,62	133			1. III.	- 0,80	98			
		29.	- 1,67		160			- 1,25	127	167	
	1. III.	- 2,01	115	2.	- 0,58	152					
		- 1,87	74		- 0,45	147					
Februar 1941	8.	- 1,08	100	275		3.	- 0,92	108	117		
	9.	- 1,17	184			- 1,32	77				
		- 1,08	246		Dezember 1960	3.	- 0,92	49			
	10.	- 1,22	268			4.	- 0,63	92			
		- 1,14	208			+ 0,37	109				
	11.	- 1,27	90		5.	- 0,01	116				
März 1942	17.	- 1,92	86	195		6.	- 0,57	101	104,5		
	18.	- 1,94	115			- 1,36	79				
		- 1,77	150			- 1,46	63				
	19.	- 1,97	190		Februar 1962	12.	- 1,03	32			
		- 2,11	143				+ 0,78	42			
	20.	- 2,02	85		13.	+ 0,38	78				
		- 2,09	62			- 0,75	99				
März 1947	18.	- 1,34	67	167		14.	- 0,41	71	104,5		
		- 1,55	93			- 0,60	48				
	19.	- 1,71	123			- 1,21	33				
		- 1,45	145			- 1,54	24				
	20.	- 1,50	162			- 0,59	26				
		- 1,35	156			+ 1,67	29				
		- 1,59	135			+ 1,69	35				
		- 1,88	129			- 0,08	31				
		22.	- 1,79		132		18.	- 1,56		24	
			- 1,72		118						
	23.	- 1,52	96								
		- 1,41	79								

Die gespeicherte Wassermenge muß bei Sielzug durch die Entwässerungsanlagen abgeführt werden können. Dazu ist eine Tideleistung erforderlich, die sich wiederum aus der Stauspiegel-lage und der Erhöhung des Tnw ergibt. Diese Tideleistung ist für ein Niederschlagsgebiet bis zu 100 km<sup>2</sup> ermittelt und in Abbildung 6 aufgetragen. Bei größeren Niederschlagsgebieten vermindert sich die erforderliche Leistung (entsprechend Abb. 5) auf 77,5 % bei 500 km<sup>2</sup> und 59 % bei 1000 km<sup>2</sup>.

## 4. Dränung

Eine gute Vorflut in den Marschen soll bezwecken, daß in möglichst allen Gebieten gedrängt werden kann. Der Nutzen der Dränung geht hier aber noch weit über die Entwässerung und Bodenbelüftung hinaus, da dann viele Gräben, die bisher für die Entwässerung erforderlich waren, verschwinden können. Dadurch entfällt die teure und arbeitsintensive Unterhaltung. Die früheren Grabenflächen können genutzt werden und der wirtschaftliche Maschineneinsatz wird erst möglich.

Bei Beobachtungen und Messungen in einem gedränten Marschgebiet (Kehdingen) konnte festgestellt werden, daß bei einem Regen besonders im Winter der Grundwasserstand sehr schnell ansteigt und nach dem Regen auch bald wieder abfällt. Der spannungsfreie Porenraum im Marschboden unterhalb der Mutterbodenschicht wurde bei den o. a. Beobachtungen im Winter zu etwa 2% ermittelt. Er ist im Sommer infolge der Saugkraft der Pflanzenwurzeln, die der Adhäsion des Wassers an den Bodenteilchen entgegenwirkt, größer als im Winter.

Die Dränung ist so zu bemessen, daß sie auch bei längeren Perioden großer Niederschläge das Wasser so abführt, daß die Grundwasseroberfläche unter Gelände bleibt, abgesehen von ausgesprochenen Katastrophenfällen, für die eine Bemessung unwirtschaftlich wäre. Hierbei sind das Aufnahmevermögen des Bodens, die Verdunstung und der Wasserverbrauch von Pflanzen zu berücksichtigen.

Nach G. SCHROEDER [5] beträgt die tägliche Verdunstung im November durchschnittlich  $\frac{13}{30} = 0,43$  mm und im Monat Juli  $\frac{67}{30} = 2,23$  mm.

Im Sommer kommt zu diesem Wert noch der Wasserverbrauch der Pflanzen hinzu. Er kann, ebenfalls nach SCHROEDER [5], zu 2 mm bis zu 5 mm je Tag angenommen werden. Es soll mit rd. 3 mm gerechnet werden.

Die Gesamtmenge wird mithin im

$$\begin{array}{l} \text{Sommerhalbjahr zu } 2,23 + 3 = 5,23 \text{ mm/Tag und} \\ \text{Winterhalbjahr zu } 0,43 \text{ mm/Tag angenommen.} \end{array}$$

Die 10tägigen Perioden hohen Niederschlags sind in Abbildung 2 dargestellt. Es fiel ein Niederschlag von 136,9 mm in 10 Tagen oder durchschnittlich 13,69 mm/Tag. Zieht man von diesem Betrag den Verlust an Verdunstung und Verbrauch durch die Vegetation von 5,23 mm ab, so verbleiben  $13,69 - 5,23 = 8,46$  mm/Tag. Dies entspricht je km<sup>2</sup> einer Menge von

$$\frac{8,46}{10^3} \cdot 10^6 = 8460 \text{ m}^3/\text{Tag oder } 8460000 \text{ Liter/Tag. Auf eine Sekunde entfallen mithin}$$

$$\frac{8460000}{86400} = 98 \text{ oder rund } 100 \text{ l/skm}^2.$$

Die ungünstigsten Winterverhältnisse traten gemäß Abbildung 2 im Monat November 1947 auf. Während dieser Zeit fiel in 10 Tagen ein Niederschlag von 120,4 mm. Hiervon kann außer der Verdunstung auch die Speicherung im Boden einschließlich Mutterbodenschicht abgezogen werden, da im Winter beim Anstieg des Grundwassers bis zur Oberfläche keine Vegetation geschädigt wird. Der Porenraum wird in der unteren 60 cm starken Schicht über der Dränung mit 2% = 12 mm und in der 30 cm starken Mutterbodenschicht zu 10% = 30 mm angesetzt, so daß sich als Speichermöglichkeit rd. 42 mm ergeben. Das entspricht den Beobachtungen, da ein kurzzeitiger Sturzregen von 46,3 mm (4. 12. 1960) noch voll im gedränten Boden aufgenommen wurde.

Wird die genannte Speichermöglichkeit von 42 mm in die Bilanz der oben erwähnten 10-Tage-Periode eingesetzt, so erhält man — ausgedrückt in Niederschlagshöhe (mm) — folgendes Bild:

Die Gesamtmenge beträgt 120,4 mm. Hiervon sind der Speicherraum von 42 mm und die Verdunstung in 10 Tagen von  $(0,43 \cdot 10) = 4,3$  mm abzuziehen. Es verbleibt mithin eine erforderliche Abflußleistung von  $120,4 - (42,0 + 4,3) = 74,1$  mm oder durchschnittlich 7,41 mm/Tag.

Diese liegt unter der oben für den Sommer errechneten Leistung von 8,46 mm/Tag, so daß für den Winter ebenfalls die Leistung der Dränung mit  $100 \text{ l/skm}^2$  ausreichend bemessen ist.

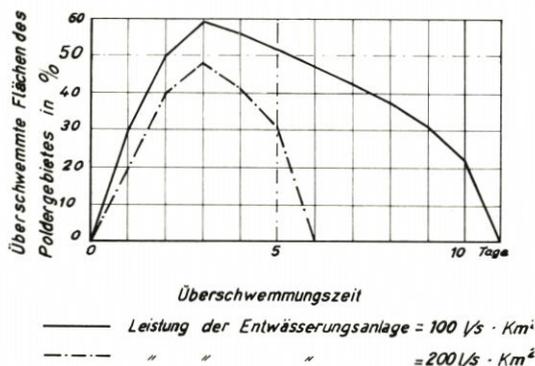


Abb. 7. Ganglinie der Größe der überschwemmten Flächen in %-Angabe vom gesamten Poldergebiet im Monat August 1930

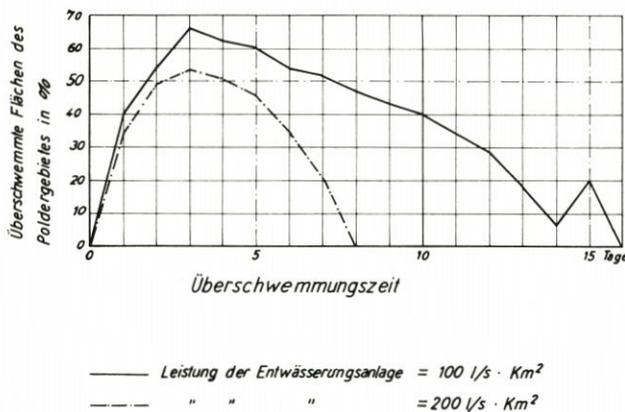


Abb. 8. Ganglinie der Größe der überschwemmten Fläche in %-Angabe vom gesamten Poldergebiet im Monat Juli 1931

den miteinander verbunden, um die Bodenbelüftung zu fördern. Die Sauger sind mit gutem Filtermaterial (Torfmull) zu umhüllen.

Die Sammler (mind.  $\varnothing$  8 cm) erhalten ein Gefälle von wenigstens 0,25% und eine Länge von etwa 200 m. Sie werden auf eine Abflußspende von  $100 \text{ l/skm}^2$  bemessen.

Bei Tonrohren und geschlitzten Kunststoffrohren müssen auch die Sammler umhüllt werden.

In die Sammler sind zur Kontrolle des Abflusses und zur Reinigung in gleichen Abständen an mindestens 3 Saugereinmündungen Überflurschächte einzubauen. Ein Schacht befindet sich am oberen Ende des Sammlers. Die Ausmündung der Sammler in die Hauptrohrleitung liegt

Bei dieser Leistung würden nur in den niederschlagsreichsten Monaten, nämlich im August 1930 und Juli 1931 kurzfristige Überschwemmungen aufgetreten sein, die sich noch nicht einmal in Folge der Beetwölbungen auf die volle Beetbreite erstreckt hätten (siehe Abb. 7 und 8).

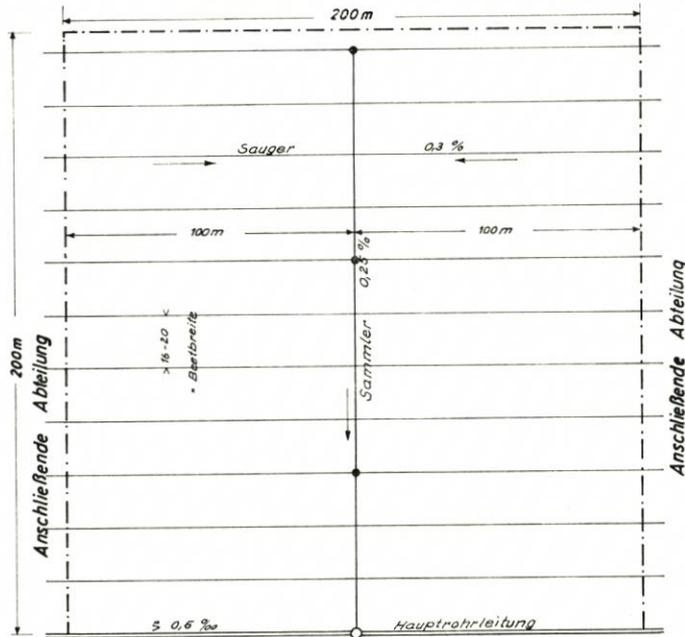
Durch eine Vergrößerung der Entwässerungsanlagen auf die doppelte Leistung von  $200 \text{ l/skm}^2$ , was an sich unwirtschaftlich sein würde, ließe sich die Überschwemmung nicht verhindern, sondern nur die Überschwemmungszeit um etwa die Hälfte verringern. Da aber selbst im Sommer alle 100 Jahre eine Überschwemmung bis zu 2 Wochen in Kauf genommen werden darf, liegt keine Veranlassung vor, die Leistung der Entwässerungsanlage noch höher als  $100 \text{ l/skm}^2$  zu bemessen.

Bei den Systemdränungen in der Marsch des Stader Raumes haben sich aus den Erfahrungen folgende Grundsätze entwickelt. Die Sauger  $\varnothing$  6,5 cm (wegen Verockerungsgefahr) mit mindestens 0,3% Gefälle und 100 m Länge liegen mindestens 1,10 m unter Beetrücken oder 0,70 m unter Beetrand, d. i. rd. 0,90 m unter mittlerem Gelände. In Obstbau-

gebieten werden die Werte um 10 cm erhöht. Die Sauger der angrenzenden Dränabteilungen werden

$(1,10 + 0,30 + 0,50) = 1,90$  m unter Beetrücken bzw. 1,70 m unter mittlerem Gelände. Die Sauger werden unmittelbar neben die Beetgräben gelegt, dadurch entspricht der Dränabstand der Beetbreite. Eine Dränabteilung hat nach den o. a. Maßen (Abb. 9) eine Größe von rd. 4 ha.

Der Abfluß zu den Saugern wird bestimmt durch das Gefälle des Grundwassers ( $h_{GR}$ ) vom höchsten Punkt der Grundwasseroberfläche (unter Beetrücken) zur Oberkante der Sauger. Dieses Gefälle ist abhängig von der Durchlässigkeit des Bodens, der Strangentfernung und der Abflußspende (Abb. 10). Auf Grund von Beobachtungsergebnissen konnte die Beziehung zwischen dem absoluten Gefälle  $h_{GR}$  des Grundwassers und der Abflußspende  $q$  zu



- Überflurschacht im Sammler 0,40m ø
- Schacht in der Hauptrohrleitung 1,00m ø

Abb. 9. Darstellung einer normalen Dränabteilung in der Marsch im Dienstbezirk des Wasserwirtschaftsamtes Stade

$$q = 150 \cdot h_{GR}^{1,4} \tag{8}$$

ermittelt werden.

Abbildung 11 gibt die zeichnerische Darstellung der Gleichung 8 wieder.

### 5. Künstliche Vorflut

Die Sammlerausmündung des rund 4 ha großen Dränfeldes (Abb. 9) hat unter der Annahme, daß das Gelände eben ist, folgende Tiefenlage:

Sauger unter mittlerem Gelände	0,90 m
Saugergefälle 100 m zu 3 ‰	0,30 m
Sammlergefälle 200 m zu 0,25 ‰	0,50 m
<hr/>	
Ausmündung unter mittlerem Gelände	1,70 m

Der Wasserstand in der Hauptrohrleitung muß also 1,70 m unter mittlerem Gelände liegen. Diese Wassertiefe ist in der Marsch nur durch die künstliche Entwässerung mit Schöpfwerken zu erreichen.

Es hat sich in letzter Zeit als sehr unwirtschaftlich erwiesen, diesen Wasserstand durch ein Schöpfwerk (Deichschöpfwerk oder Tideschöpfwerk [1]) für ein großes Niederschlagsgebiet zu

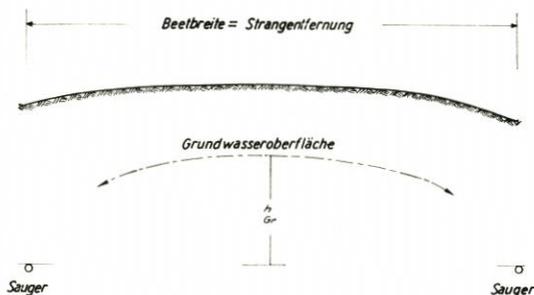


Abb. 10. Schematische Darstellung des absoluten Gefälles  $h_G$  der Grundwasser Oberfläche zwischen Beetrücken und Oberkante Sauger

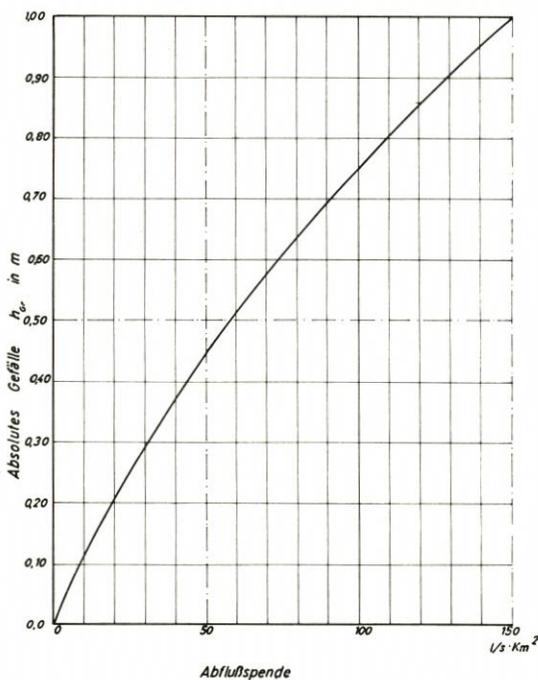


Abb. 11. Beziehung zwischen dem absoluten Gefälle  $h_G$  der Grundwasser Oberfläche und der Abflußspende im Polder Witt im Deich- und Schleusenverband Wischhafen, Kreis Stade

halten, da dafür tiefe und breite Zubringer erforderlich sind, deren Bau und Unterhaltung sehr teuer wird. Es ist daher zweckmäßig, das Gebiet in kleinere Polder aufzuteilen und mit einem Polderschöpfwerk (Tiefgebietsschöpfwerk [1]) den Zubringer zum Deichsiel oder Deichschöpfwerk aufzupumpen, so daß hierfür kein Ausbau erforderlich ist. Da dann auch der Wasserstand im Zubringer höher gehalten werden kann als bisher, ist in vielen Gebieten die weitere natürliche Entwässerung möglich. Das Deichschöpfwerk muß dann aber als Hochwasserschöpfwerk (Entlastungsschöpfwerk [1]) eingesetzt werden, um zu vermeiden, daß durch den Zulauf von den Polderschöpfwerken der Wasserstand im Zubringer über seine Ufer bzw. Deiche tritt. Die günstigste Größe für einen Polder ergibt sich aus dem niedrigsten Wert der Bau-, Betriebs- und Unterhaltungskosten für die Zubringer und das Schöpfwerk. Als wirtschaftlichste Gebietsgröße für die Zusammenfassung zu einer Hauptrohrleitung (oder offenem Zubringer) hat sich etwa 50 ha erwiesen. Je nach örtlichen Verhältnissen können 2—4 solcher Abteilungen an ein Polderschöpfwerk angeschlossen werden, so daß die wirtschaftliche Poldergröße zwischen 100 und 200 ha liegt. Für größere Gebiete werden die Bau- und Unterhaltungskosten für den Zubringer, sowohl offen als auch verrohrt, im allgemeinen so teuer, daß die Aufteilung in weitere Poldergebiete zweckmäßiger ist. Die Abgrenzung hängt jedoch wesentlich von den örtlichen Verhältnissen ab.

Auch bei Abteilungsgrößen über 50 ha sollte man die Zubringer möglichst verrohren, da dann die durch den Arbeitskräftemangel sehr fraglich gewordene Grabenunterhaltung entfällt, die Grabenfläche als Nutzfläche gewonnen wird sowie Bewirtschaftung und Maschineneinsatz erleichtert werden. Da der aufgepumpte Zubringer keiner oder nur geringer Unterhaltung bedarf, ist damit hinsichtlich der Unterhaltungslasten der Idealzustand erreicht.

In einzelnen Fällen, in denen Polderschöpfwerke weit vom Deich entfernt liegen oder der Zubringer in der hohen Marsch tief unter Gelände liegt, kann es wirtschaftlich sein, zur Vermeidung hoher Ausbaurkosten des Zubringers sowie zur Verbesserung seiner Leistung ohne Ausbau ein Stufenschöpfwerk zwischenschalten. In diesem Falle pumpt das Polderschöpfwerk das

Wasser dem Stufenschöpfwerk zu. Das Stufenschöpfwerk hebt das Wasser in die 2. Haltung, die dann frei durch das Siel oder mit einem Deichschöpfwerk in den Außenvorfluter entwässert. Falls kein Deichschöpfwerk vorhanden ist, muß der Zubringer so bemessen und bedeicht werden, daß er während der längsten Sielschlußzeit (s. Abschnitt 2) den Zulauf von den Polderschöpfwerken bzw. vom Stufenschöpfwerk speichern kann. In den meisten Fällen ist es wirtschaftlicher, statt der Bedeichung ein Deichschöpfwerk (Tideschöpfwerk [1]) zu errichten. Die Pumpkosten beim Deichschöpfwerk werden dann meistens durch die Einsparungen an Pumphöhe bei den übrigen Schöpfwerken ausgeglichen, da das Deichschöpfwerk nur bei Hochwasserabfluß und ungünstigeren Außentiden eingeschaltet zu werden braucht.

Die Polderschöpfwerke werden für eine Leistung von 100 l/skm<sup>2</sup> bemessen, die dem Größt-abfluß aus der Dränung entspricht. Es ist zweckmäßig, diese Leistung in zwei elektrisch betriebene Pumpenaggregate aufzuteilen, damit bei Ausfall einer Pumpe noch eine zweite vorhanden und bei normalem Abfluß nur die halbe Leistung aufzuwenden ist. Zweckmäßig sind beide Pumpen gleich, da sie dann wechselweise als Betriebspumpe geschaltet werden können.

Der Betrieb wird durch automatische Schaltvorrichtungen gesteuert. Hierbei hat sich folgendes Schaltschema als zweckmäßig erwiesen: Der Einschaltwasserstand der 1. Pumpe entspricht der Sohlenordinate der Ausmündung des Sammlers, der am niedrigsten liegt. Der Ausschaltwasserstand liegt 10 cm über der Sohle der Hauptrohrleitung an ihrer Einmündung in das Schöpfwerk. Die zweite Pumpe setzt ein, wenn der Zufluß höher als 50 l/skm<sup>2</sup> und dadurch der Einschaltwasserstand der 1. Pumpe um 5 cm überschritten ist. Der Ausschaltwasserstand liegt 10 cm über dem Ausschaltwasserstand der 1. Pumpe.

Bei einer größeren Anzahl von Polderschöpfwerken, die sich an einem Binnenvorfluter befinden, lohnt sich die Anlage einer gemeinsamen Starkstromleitung. Für eine Gruppe von einigen Polderschöpfwerken wird ein Masttransformator aufgestellt, der niederspannungsseitige Anschluß geschieht durch Kabel. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, für das Polderschöpfwerk ein kleines Gebäude (1,50 × 2,00 m) in Mauerwerk zu errichten, um die Maschinen und Schaltvorrichtung ausreichend zu schützen und Arbeitsgerät und Material unterbringen zu können.

Die Hauptrohrleitung, (d. h. der verrohrte Vorfluter) wird auf eine Leistung von 100 l/skm<sup>2</sup> bemessen. Sie liegt durchgehend unter der Oberkante der Dränausmündungen. Das Mindestgefälle beträgt 0,5 ‰. Es werden Betonrohre verwendet, die gegen aggressive Wässer besonders geschützt sind. Bis zu der Rohrlichtweite von 0,50 m (zum Anschluß bis zu 100 ha) werden Falzrohre mit Fugenband verlegt, darüber hinaus sind Glockenmuffenrohre mit Dichtungsring vorzusehen.

Als Unterlage für die Hauptrohrleitung sind Holzbohlen (Eiche, ungesäumt) von 4 cm Stärke erforderlich, um eine sichere Auflagerung zu gewährleisten. Die Hauptrohrleitung muß während der Arbeitspausen des Polderschöpfwerkes den Zufluß so aufspeichern, daß sich die Anzahl der täglichen Schaltspiele in erträglichen Grenzen hält.

Die Zahl der täglichen Schaltspiele (S) sollte aus hydraulischen sowie aus betrieblichen Gründen bei der 1. Pumpe 30 und

bei der 2. Pumpe 50 nicht überschreiten.

Da die maximale Zahl der Schaltspiele für jede Pumpe eintritt, wenn der auf sie entfallende Zufluß gleich ihrer halben Leistung ist, errechnet sich der Stauraumbedarf zu

$$\Sigma Q = \frac{q}{2 \cdot 100} \cdot \frac{24}{2 \cdot S} \cdot \frac{3600}{1000} \cdot F_E. \text{ Dies ergibt bei der 1. Pumpe}$$

$$\Sigma Q = \frac{50}{2 \cdot 100} \cdot \frac{24}{2 \cdot 30} \cdot \frac{3600}{1000} \cdot F_E = 0,36 \cdot F_E \quad (9)$$

und bei der 2. Pumpe

$$\Sigma Q = \frac{50}{2 \cdot 100} \cdot \frac{24}{2 \cdot 50} \cdot \frac{3600}{1000} \cdot F_E = 0,216 \cdot F_E \quad (10)$$

( $F_E$  = Einzugsgebiet in ha)

Das Deichschöpfwerk und gegebenenfalls auch das Stufenschöpfwerk sind so zu bemessen, daß sie den gesamten Abfluß der Polderschöpfwerke und dazu den Oberflächenabfluß von

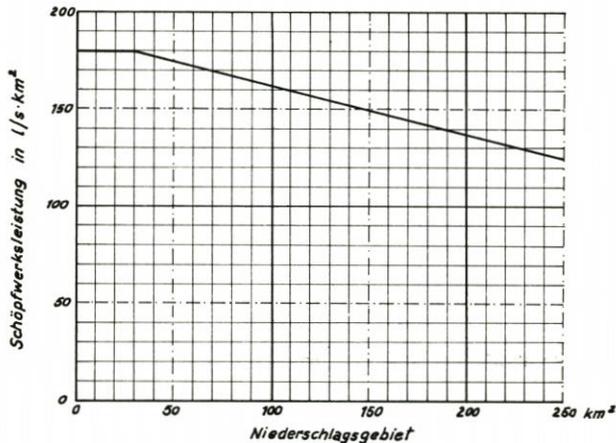


Abb. 12. Beziehung zwischen Leistung des Deichschöpfwerkes und dem Niederschlagsgebiet im Dienstbezirk des Wasserwirtschaftsamtes Stade

abgesetzt werden kann, etwa wie in Abbildung 12 dargestellt ist. Die Angaben der Abbildung 12 haben sich im hiesigen Dienstbezirk als ausreichend erwiesen.

Beim Stufenschöpfwerk gelten hier sinngemäß die gleichen Ausführungen wie beim Deichschöpfwerk.

Die Bemessung des Hochwasserschöpfwerkes richtet sich nach der Abflußspende, die noch auftritt, wenn der Stauraum binnen gefüllt ist. Da die örtlichen Verhältnisse ganz verschieden sind, lassen sich keine allgemein gültigen Leistungsangaben machen als nur diese, daß die Leistung kleiner ist als es der Abbildung 12 (Leistung des Deichschöpfwerkes) entspricht.

Die nachstehenden allgemeinen Angaben gelten für sämtliche Schöpfwerke:

a) Der Kraftbedarf, ausgedrückt in KW, ermittelt sich zu

$$KW = 20 \cdot Q \cdot h \quad (11)$$

Hierin bedeutet:

Q die Pumpenleistung in m³/s

h die geodätische Förderhöhe in m.

b) Der Blindstrom muß durch den Einbau eines Kondensators vermieden werden.

c) Jedes Schöpfwerk ist mit einer Freiflutanlage auszurüsten.

Der Gleichung (11) liegt ein Wirkungsgrad der Gesamtanlage von 0,50 zugrunde.

Fremdgebieten und das Qualmwasser abpumpen können. Außerdem müssen sie eine Reserveleistung für Ausfallzeiten durch hohe Außenwasserstände und Sperrstunden haben. Auch ist bei gedrängten Gebieten zu berücksichtigen, daß nur ein verringertes Grabensystem verbleibt, das empfindlich gegen Wasserstandserhöhungen ist, so daß zum Ausgleich eine weitere Reserveleistung vorgesehen werden muß. Hiernach ergibt sich, daß die Leistung der Deichschöpfwerke jedenfalls reichlich bemessen werden sollte. Für kleine Gebiete wird daher eine Leistung von 180 l/skm² für erforderlich gehalten, die bei größeren Niederschlagsgebieten herab-

Bei der Bemessung des Zubringers zum Deich- oder zum Stufenschöpfwerk wird, sofern Polderschöpfwerke vorhanden sind, keine Rücksicht mehr auf eine bestimmte Entwässerungstiefe zu nehmen sein. Es ist vielmehr möglichst zu vermeiden, daß die Binnenvorfluter die Triebsandvorkommen anschnitten. Die Fließgeschwindigkeit darf im allgemeinen 0,50 m/s nicht überschreiten. Deshalb wird man in den meisten Fällen den Wasserstand nicht unter die günstigste Wasserspiegellage absenken. Unter der günstigsten Wasserspiegellage soll diejenige Wasserspiegellage verstanden werden, bei der die Absenkung während Pumpbetrieb über einen bestimmten Punkt hinaus nicht mehr vorgetrieben werden kann. Die Länge der günstigsten Wasserspiegellage entspricht folgenden Abständen:

a) Ein Stufenschöpfwerk ist nicht vorhanden:

Die günstigste Wasserspiegellage reicht vom Deichschöpfwerk bis zum entferntesten Polderschöpfwerk.

b) Es ist ein Stufenschöpfwerk vorhanden:

Die günstigste Wasserspiegellage für das Deichschöpfwerk reicht von diesem Schöpfwerk bis zum Stufenschöpfwerk. Die günstigste Wasserspiegellage für das Stufenschöpfwerk erstreckt sich bis zum entferntest gelegenen Polderschöpfwerk.

Der Zubringer zum Hochwasserschöpfwerk dient in erster Linie der natürlichen Entwässerung. Das Hochwasserschöpfwerk wird nur in seltenen Fällen einspringen müssen. Die Abmessungen, die für die natürliche Entwässerung erforderlich sind, werden für die Anforderung, die das Hochwasserschöpfwerk stellt, stets ausreichen. Daher bedarf es in diesem Falle keiner besonderen Berechnung mehr für eine künstliche Entwässerung.

## 6. Zusammenfassung

Die charakteristische Geländeform in den Marschen bringt schon erhebliche Schwierigkeiten für die Entwässerung mit sich, die durch die natürliche Entwicklung noch weiter verschlechtert werden. Der maximale Abfluß ist in der Marsch wegen des Tideeinflusses nur schwer zu ermitteln, es müssen daher die Messungen auf der Geest herangezogen werden. Die ungünstigsten Entwässerungsverhältnisse treten auf, wenn länger anhaltende hohe Abflußspenden mit mehreren hohen Tiden zusammenfallen. Bei der natürlichen Entwässerung schwankt der Wasserstand in dem umfangreichen Grabensystem der Marsch etwa zwischen dem Stauspiegel und dem Sielschlußspiegel, der sich am Ende des Sielzugs einstellt. Die Füllung und Leerung des Speicherraumes zwischen diesen beiden Spiegeln ist das Maß für die Leistung der Entwässerungsanlagen in einer Tide (Tideleistung).

Der bei der natürlichen Entwässerung je km<sup>2</sup> benötigte Stauraum ist auf Grund von Untersuchungen der ungünstigsten neun Perioden bestimmt worden. Das Ergebnis enthält Abbildung 5. Die erforderliche Tideleistung geht aus Abbildung 6 hervor.

Für die Dränung der Marschen wird aus dem Abfluß in zehntägigen Perioden nachgewiesen, daß die Bemessung auf eine Abflußspende von 100 l/skm<sup>2</sup> ausreicht. Grundsätze für die Anlage der Dränssysteme werden angegeben. Anzustreben sind Dränabteilungen für 4 ha mit Saugern von 100 m Länge und mindestens 0,3 ‰ Gefälle und Sammler mit 200 m Länge und mindestens 0,25 ‰ Gefälle. Die Tiefenlage der Dränausmündung erfordert eine künstliche Entwässerung. Aus den hohen Kosten für die tiefen Gräben der Rohrleitungen ergibt sich die wirtschaftlichste Poldergröße zu 100 bis 200 ha. Die zweckmäßige Ausbildung der Polderschöpfwerke wird angegeben. Die weitere künstliche Entwässerung soll durch Stufen- und Deichschöpfwerke sichergestellt werden. Ihre erforderlichen Leistungen sind aus Abbildung 12 zu ersehen.

### Schriftenverzeichnis

1. DIN 1184: Schöpfwerke. Abschnitt 1,3.
2. Die Hütte: Teil Hydromechanik.
3. LIESE, Rudolf: Zur Berechnung der Abflußleistung der Binnengewässer in der Marsch (Sielzugberechnung). Dtsch. Gewässerkd. Mitt. Jg. 4, 1960, H. 1, S. 7—11.
4. MÜLLER-SPÄTH, W., HALL, G.: Entwässerung von Marschländereien in Kehdingen. Wasser u. Boden 1961, H. 9, S. 329.
5. SCHRÖDER, G.: Landwirtschaftlicher Wasserbau. 2. Aufl. 1950.
6. Wetteramt Bremen: Niederschlagsmessungen des Wetteramts Bremen.

# Ein im Gezeitenbereich des Wattenmeeres selbsttätig arbeitendes Sinkstoff-Schöpfgerät und die Bedeutung der Wattfauna für die Bildung von Sinkstoffen

Von Martin Plath †

## Vorwort

*Die folgende Arbeit befaßt sich mit Sinkstoff-Untersuchungen, die in den Jahren 1937 und 1938 von Dr. MARTIN PLATH im nordfriesischen Wattenmeer durchgeführt wurden.*

*Im Rahmen der damaligen biologischen und bodenkundlichen Kartierung des gesamten nordfriesischen Wattenmeeres zwischen der Insel Sylt im Norden und der Halbinsel Eiderstedt im Süden<sup>1)</sup> erhielt PLATH den Sonderauftrag, Wege zu finden und im Gezeitenbereich praktisch verwertbare Methoden zum qualitativen und quantitativen Nachweis der Zusammensetzung der vom Wasser des Wattenmeeres bewegten Sinkstoffe auszuarbeiten.*

*Die so verheißungsvoll begonnenen Arbeiten wurden durch den Krieg unterbrochen, und der Soldatentod des jungen Forschers im Februar 1942 an der Front im nördlichen Rußland verhinderte die Fortsetzung und Vertiefung dieser Untersuchungen nach dem Kriege. Über die ersten Untersuchungsergebnisse liegen einige kurze Niederschriften und Aufzeichnungen vor; sie sind Fragmente geblieben. Trotzdem bilden diese ersten Ergebnisse, von der Methode und zum Teil auch vom Ergebnis her gesehen, einen Markstein in der Erforschung der natürlichen Grundlagen der Sinkstoffbewegungen im Gezeitenmeer sowie der Entstehung der jungen Sedimente im Bereich der Landgewinnung vor der Küste. Sie haben auch noch heute aktuellen Wert, da die Sinkstoffprobleme im Wattenmeer nach wie vor zu den Grundfragen des Küstengeschehens gehören<sup>2)</sup>. Aus diesem Grunde und zum Gedächtnis des jungen Forschers wurden die vorgenannten dienstlichen Berichte zur Veröffentlichung vorbereitet.*

*PLATH hat für die Bearbeitung dieses Problemkreises unseres Wissens damals keine wissenschaftlichen Quellen zur Verfügung gehabt. Auch hat er sich mit dem Plan der Drucklegung seiner vorläufigen Ergebnisse vor seiner Einberufung zum Heeresdienst nicht mehr befassen können.*

Husum, 30. November 1964

Dr. WOHLBERG  
Leiter der Forschungsstelle Westküste

## Inhalt

I. Einleitung . . . . .	119
II. Serienmessung in der Norderhever . . . . .	120
III. Untersuchungen vor Horsbüll (südlich vom Hindenburgdamm) . . . . .	120
1. Das Sinkstoffschöpfstativ . . . . .	121
2. Die Messungen vor Horsbüll . . . . .	125
a. Die Stativproben vom Watt . . . . .	126
b. Die Schöpfproben aus den Prielen . . . . .	126
c. Das Sediment der Watten . . . . .	126
d. Die biologische Besiedlung der Sedimente . . . . .	127
e. Die Kotproduktionsgebiete . . . . .	127
IV. Zusammenfassung . . . . .	132

<sup>1)</sup> Vgl. Zeitschrift „Westküste“, Krieftsheft 1943.

<sup>2)</sup> Vgl. Aufsatz GÖHREN in diesem Heft.

## I. Einleitung

Durch einige qualitative Sinkstoffuntersuchungen im Sommer 1937 und 1938 ergab sich, daß ein auffallend bedeutender Prozentsatz der vom Wasser verfrachteten Teilchen aus den Ausscheidungsprodukten der im Watt lebenden Tiere bestehen kann. Über diese Arbeiten liegen vor:

1. eine Notiz vom 23. 12. 1937 betr. Kotballenuntersuchungen an Sinkstoffproben aus der Serienmessung in der Norderhever im August 1937,
2. ein Aktenvermerk vom 23. 6. 1938 über Sinkstoffuntersuchungen am Hindenburgdamm mit Sinkstoffstativen und
3. ein kurzer Bericht vom 13. 8. 1938 über die Vervollkommnung des Sinkstoffstativs.

Aus diesen Berichten und aus Beobachtungen im Watt soll ein zusammenfassender Überblick von dem gegeben werden, was wir von der Entstehung der Kotballen und ihrer Rolle im Sinkstoffhaushalt erkannt haben und welche Methoden dabei angewandt wurden<sup>3)</sup>.

## II. Serienmessung in der Norderhever

Die Tatsache, daß man nicht selten auf der Wattoberfläche eine Zusammenspülung von aus feinstem Material bestehenden Kotballen findet, läßt auf einen Transport dieser durch das Wasser schließen. Der formbeständige Kot, welcher vornehmlich von Detritusfressern erzeugt wird, muß also im Sinkstoff des Wassers wiederzufinden sein. Ein erster Einblick in die Zusammensetzung des Sinkstoffes wurde bei der Serienmessung in der Norderhever getan. Der konzentrierte Sinkstoff von Literproben, die mit dem waagerechten Wasserschöpfer (WOHLENBERG<sup>4)</sup> bei gleichzeitig gemessenen Geschwindigkeiten genommen waren, wurde geschüttelt und daraus mit einer Pipette 1 ccm Flüssigkeit entnommen und gleichmäßig über den Boden eines Schälchens verteilt, so daß Kotballen und Sandkörner nicht übereinander zu liegen kamen. Unter dem Binokel wurde dann der Anteil an Kotballen einerseits, Sand und Feinstem (unter 20  $\mu$ ) andererseits geschätzt. Als Maß wurde der Bedeckungsgrad in Prozenten genommen. Die Untersuchung ergab:

1. daß geformter Kot nur bei Geschwindigkeiten von 0,4 m/sec und mehr angetroffen wurde,
2. daß die Kotballen über alle Wassertiefen verteilt waren,
3. daß der Kot der kleinen Wattschnecke (*Hydrobia ulvae*) den Hauptanteil des geformten Gesamtkotgehaltes ausmacht,
4. daß bis zu 50% des Sinkstoffes (bezogen auf den Bedeckungsgrad) aus tierischen Ausscheidungsprodukten bestehen kann.

## III. Untersuchungen vor Horsbüll (südlich vom Hindenburgdamm)

Um aber einen Einblick in die Sinkstoffzusammensetzung während der Überflutung der eigentlichen Wattten zu erhalten, mußten Wasserproben verwendet werden, die über verschiedenen Wattsedimenten mit bekannter tierischer Besiedlung entnommen waren. Dafür wurde ein Gerät konstruiert, mit dem unabhängig von Schiffen und unabhängig von der Wetterlage eine objektive Entnahme von Wasserproben auf den Wattten möglich war. Dieses wurde

<sup>3)</sup> Vgl. PLATH, M.: Die biologische Bestandsaufnahme als Verfahren zur Kennzeichnung der Wattsedimente und die Kartierung der nordfriesischen Wattten. Westküste 1943, S. 26, 30, 37 und 42.

<sup>4)</sup> Der horizontale Wasserschöpfer. Dt. Hydrogr. Ztschr. III, 5/6, 1950.

im Herbst 1937 und im Sommer 1938 gebaut, im Gelände geprüft und vervollkommenet. Es sei im folgenden nach Bau und Funktion beschrieben.

### 1. Das Sinkstoffschöpfstativ (Abb. 1—9)

Das Sinkstoffschöpfstativ besteht aus zwei senkrecht stehenden, durch Querverband miteinander verbundenen Holzpfählen, zwischen denen Literflaschen aufgehängt werden können. Diese werden (vgl. Abb. 5—7) in Halter aus Band Eisen eingesetzt, die in der Höhe des Flaschenhalses um eine waagerechte Achse (aa) drehbar sind. Unter dem Flaschenboden tragen die Halter ein Gewicht. Bei Beginn des Versuches wird der Flaschenhalter so gedreht, daß das Gewicht und der Flaschenboden über der Achse zu liegen kommen, die Flaschenöffnung also nach unten zeigt. In dieser labilen Lage (Abb. 5) wird der Halter festgehalten durch ein  $\rightarrow$ -förmiges Ansatzstück (f) am Gewicht, über das sich von oben eine seitlich befestigte Öse (c) schiebt. Diese Öse ist an einer Führungsleiste (d) befestigt, die auf und ab bewegbar ist. Am oberen Ende der Gleitschiene ist ein Schwimmer befestigt, der sich in einem Holzkasten (e) mit durchlöcherter Boden über den Holzpfählen befindet. Bei einem bestimmten Wasserstand wird der Schwimmer vom steigenden Wasser gehoben. Dadurch wird auch die Führungsleiste (d) mit der Öse (c) gehoben. Diese gleitet über das  $\rightarrow$ -förmige Ansatzstück nach oben hinaus und löst den Flaschenhalter aus. Dieser dreht sich nun um  $180^\circ$  C um die Achse (aa), wobei das Gewicht (b) den Auftrieb der leeren Flasche überwindet. Die Flaschenöffnung zeigt jetzt nach oben, und das Wasser kann in die Flasche eindringen (Abb. 8). 5 mm über der Flaschenöffnung war am Halter eine runde Platte angebracht, die die Öffnung verdeckte und die eine weitere Zufuhr von Sinkstoffen nach dem Füllen in die Flasche verhindern sollte.

Durch Übereinanderschalten von zwei Flaschen wurden kleine Stative erhalten, an denen der Schwimmer in einer Höhe von 1 m angebracht war. Diese kleinen Stative können an Standorten verwendet werden, an denen das Hochwasser 1 m über Grund erreicht. An Standorten mit z. B. 2 m Wassertiefe bei MThw lösen diese Stative bei halber Tide vor Thw aus. Um die Flaschenhalter bei halber Tide nach HW auslösen zu lassen, streift man die Ösen (c) der Führungsleiste (d) von unten über das  $\rightarrow$ -förmige Ansatzstück (f) und hält die Führungsleiste von unten durch ein Winkeleisen in dieser Lage (Abb. 7). Jetzt werden bei steigendem Wasser der Schwimmer und die Leiste nur um eine kleine Strecke aufwärts gehoben, nämlich so hoch, bis die Öse an den waagerechten Teil des  $\rightarrow$ -förmigen Ansatzstückes schlägt. Dadurch wird unten das Winkeleisen frei und knickt ein, so daß der Schwimmer und damit auch Führungsleiste und Öse bei fallendem Wasser sich tiefer senken können als beim Einstellen. Dadurch gleitet die Öse von dem  $\rightarrow$ -förmigen Ansatzstück nach unten ab (Abb. 7) und löst den Flaschenhalter aus. Durch diese Vorrichtung kann also auch bei fallendem Wasser, z. B. eine halbe Tide nach Hochwasser, ausgelöst werden.

Neben diesen kleinen Stativen wurden auch große mit vier übereinandergeschalteten Flaschen angefertigt, die für eine Schwimmerauslösung bei 2 m Wasserstand über Grund eingerichtet sind (Abb. 1 und 2). Mit dieser Ausführung des Stativs wurden im Hindenburgdamm-Gebiet die ersten Untersuchungen gemacht, weil dort der Kotballengehalt der Wattoberfläche auffallend groß ist. Es zeigte sich jedoch, daß der Flaschenverschluß ungenügend war. Nach Ablauf der Tide wurden Flaschen gefunden, die z. T. bis zur Hälfte mit Sinkstoffen angefüllt waren. Nach dem erstmaligen Füllen der Flaschen mit Wasser müssen demnach zusätzlich neue Sinkstoffe in die Flasche hineingelangt sein. Eine quantitative Auswertung dieser Proben war darum nicht möglich, wohl aber eine qualitative. Ein neuer Flaschenverschluß mußte gefunden werden, der beim Umkippen der Flasche den Zutritt des Wassers gestattete, nach dem Füllen



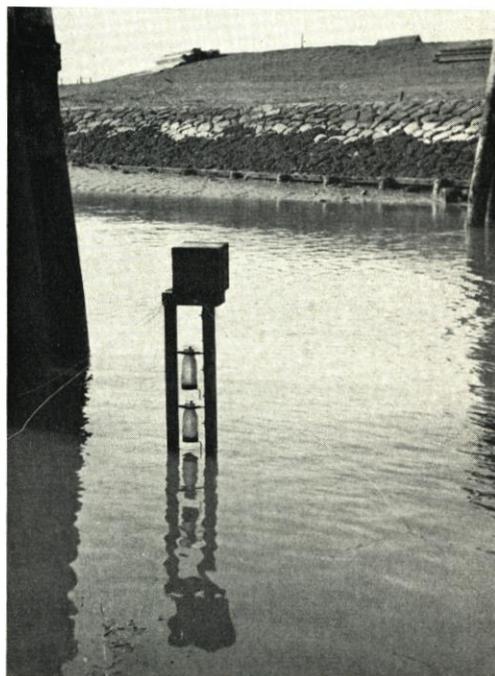
1938. Aufn. M. PLATH

Abb. 1. Die Aufstellung der Sinkstoff-Stativ im freien Wattenmeer bei Niedrigwasser



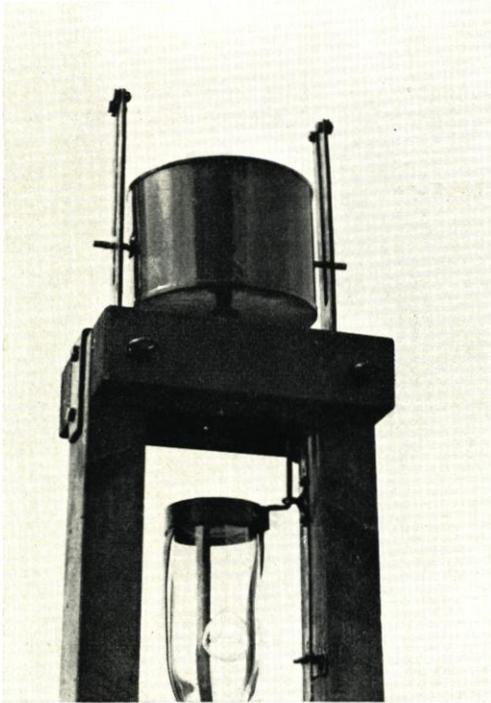
Dez. 1937. Aufn. E. WOHLBERG

Abb. 2. Das Sinkstoff-Stativ am Erprobungsstandort. Das steigende Wasser hebt den Schwimmer an und löst die Feststellung der einzelnen Flaschen nacheinander aus. Die dadurch um 180 Grad kippende Flasche füllt sich alsdann mit dem Überflutungswasser



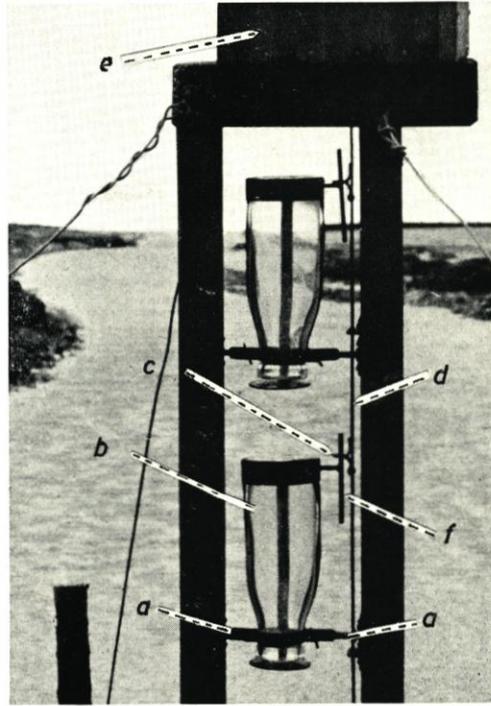
1937. Aufn. M. PLATH

Abb. 3. Das Sinkstoff-Stativ am Erprobungsstandort. Die Ebbe ist eingetreten, die gekippten Flaschen wurden während der Flut mit Wasser und Sinkstoff gefüllt



Dez. 1937. Aufn. E. WOHLBERG

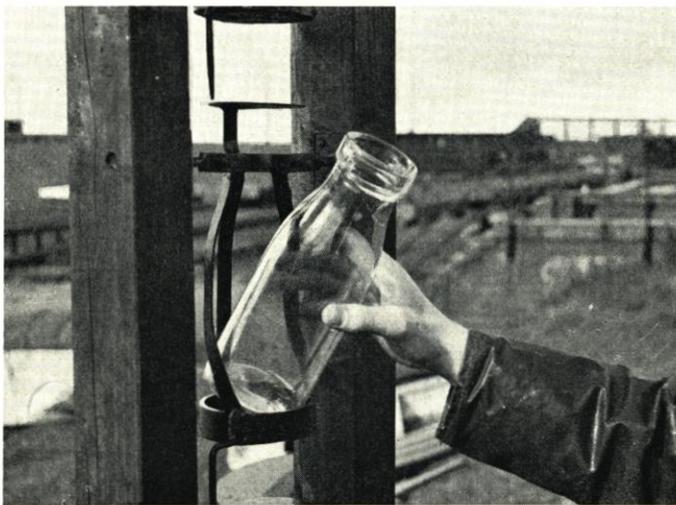
Abb. 4. Die mit dem Schwimmerkessel verbundene Führungseisen gleiten je nach Flut oder Ebbe in den Führungsgabeln auf- oder abwärts. Dabei hebt oder senkt sich die Gleitschiene mit den Arretierungsösen, die die Flaschen zum Kippen oder Füllen freigeben



1938. Aufn. M. PLATH

Abb. 5. Der Auslösungsmechanismus:

- a) Kippachse der Flaschenhalterung
- b) Sinkstoffflasche in kopflastiger Halterung
- c) Halte-Öse an der Gleitschiene umfaßt je nach Flut- oder Ebbespannung einen Schenkel des liegenden T-Stückes
- d) Gleitschiene für alle Flaschen
- e) Schwimmerkasten
- f) Ebbe-Ast des ungleichseitigen liegenden T-Stückes



Dez. 1937. Aufn. E. WOHLBERG

Abb. 6. Das Stativ wird mit den 1000 ccm fassenden Flaschen beschickt

aber jegliches nachträgliche Hineinsedimentieren von Sinkstoffen verhinderte. Es wurde ein System von Glasröhren benutzt, wie es Abbildung 9 zeigt. Beim Umkippen der Flasche liegt der gesamte Auftrieb der Flaschenluft auf der Röhre A. Das Wasser drückt auf die Röhrenöffnungen A und B gleich stark, findet jedoch bei B kaum Widerstand und fließt durch diese

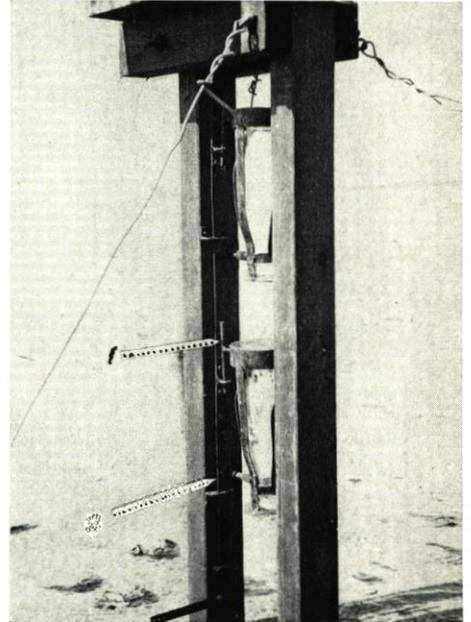


Abb. 7. Bei dem für Ebbe-Füllung hergerichteten Stativ bleibt der Flut-Ast (f) des T-Stückes frei, während die Halte-Öse den längeren Ebbe-Ast umschließt. Das in der Abbildung unten sichtbare Schienenende knickt bei sinkendem Schwimmer ein und gibt den Ebbe-Ast des  $\neg$ -förmigen Ansatzstückes für die Kippung der Flasche frei

1938. Aufn. M. PLATH



Abb. 8. Der Schwimmer steigt, die Gleitschiene mit der Halte-Öse gibt den Flut-Ast des T-Stückes frei, die Flasche füllt sich nach Entweichen der Luft (Blasen an der Wasseroberfläche links)

Dez. 1937. Aufn. E. WOHLBERG

Öffnung in die Flasche, während die Luft durch die Öffnung A entweicht. Nach dem Füllen verhindert die gebogene Form der Röhren einen Zutritt von weiteren Sinkstoffen.

Zum Nachweis der Verlässlichkeit des neuen Verschlusses wurde im Watt am Hindenburgdamm ein Kontrollversuch gemacht, der jedoch durch Abtreiben des Stativs bei Sturm scheiterte. Danach wurden vom 23. bis 25. Juni 1938 über drei Tiden im Watt bei Husum (etwa 4500 m nördlich des Husumer Dockkooges) erneut zwei Stative mit je zwei Flaschen aufgestellt, um

die Eignung des neuen Flaschenverschlusses auszuprobieren. Bei Stativ A wurden nach jeder Tide zwei mit sinkstoffhaltigem Wasser gefüllte Flaschen entnommen. Die untere Flasche (etwa 35 cm oberhalb der Wattoberfläche) enthielt 3—10mal soviel Sinkstoff wie die obere Flasche (etwa 70 cm oberhalb der Wattoberfläche). Zur Kontrolle wurde Stativ B mit zwei Flaschen neben Stativ A gestellt. Diese beiden Flaschen wurden von vornherein mit Wasser gefüllt, das vier Stunden abgestanden hatte und nur eine geringe Trübe aufwies. Die gefüllten Flaschen des Stativs B wurden in normaler Lage (Öffnung oben) mit dem neuen Verschuß versehen aufgehängt und über drei Tiden vom Wasser überflutet. Es sollte festgestellt werden, ob der neue Verschuß nach Füllen der Flasche ein nachträgliches Einspülen von Sinkstoff verhinderte. Die Ergebnisse zeigt folgende Tabelle:

	Stativ A		Stativ B (Kontrolle)		
	oben mg	unten mg	oben mg	unten mg	
Erste Überflutung	0,164	1,580			23./24. VI.
Zweite Überflutung	0,166	0,985	0,064	0,050	24. VI.
Dritte Überflutung	0,412	1,191			24./25. VI.

#### Prüfung des neuen Verschlusses:

Stativ A: Messung nach jeder Auslösung durch die Flut.

Stativ B: Messung nach dreimaliger Überflutung.

Einmal fällt der Unterschied der Sinkstoffführung des Wassers zwischen oben und unten auf. Dieser ist bei dem Kontrollversuch (Stativ B) nicht vorhanden, obwohl die untere Flasche in sinkstoffreicherem Wasser hängt und auch länger überflutet wird als die obere. Danach ist anzunehmen, daß kein Sinkstoff nachträglich in die Flasche eingedrungen ist. Der neue Verschuß kann also als geeignet angesehen werden.

## 2. Die Messungen vor Horsbüll

Auf dem Watt vor Horsbüll wurden sieben Sinkstoffstative aufgestellt. Im Bereich der Lahnungen standen Stativ Nr. 1 und Nr. 2 mit ein beziehungsweise zwei Flaschen. Wegen der hohen Lage der Watten wurden sie in den Entwässerungsgräben errichtet. In einer Entfernung von 50 m westlich der Lahnungen stand Stativ Nr. 3 und in 700 m Entfernung Stativ Nr. 4, beide mit je zwei Flaschen. 1700 m westlich der Lahnungen stand Stativ Nr. 5 mit vier Flaschen. Auf dem Horsbüll Steert waren am östlichen Ende Stativ Nr. 6 und am westlichen Ende Stativ Nr. 7, beide mit vier Flaschen, aufgebaut. Das MThw liegt im südlichen Hindenburgdamm-Gebiet auf etwa NN + 1 m. Die Höhenlage des Standortes wurde für alle Stative so gewählt, daß die Flaschen durch die Schwimmer bei einem Wasserstand von NN + 1 m (also bei Thw) ausgelöst wurden. Die Untersuchung des in den Flaschen abgesetzten Sinkstoffes konnte wegen eines Entnahmefehlers leider nicht quantitativ erfolgen. Die qualitative Untersuchung erstreckte sich auf 1. geformten Kot, 2. ungeformte feinste Teile (unter 20  $\mu$ ) und 3. Sand aller Korngrößen. Der Anteil dieser verschiedenen Sinkstoffbestandteile wurde an einem Streupräparat unter dem Mikroskop geschätzt.

Außer den Flaschenproben von den Stativen wurden im Föhrer Ley und im Oster Ley

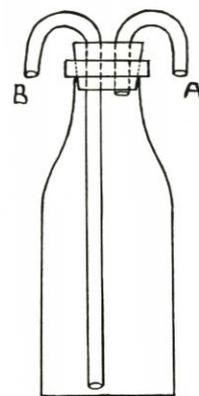


Abb. 9. Der neue Flaschenverschuß. Nach dem Kippen entweicht die Luft bei A aus der Flasche und das mit Sinkstoffen beladene Wasser strömt durch B nach und füllt die Flasche (Skizze, 1938)

Schöpfproben vom Schiff aus mit dem waagerechten Wasserschöpfer (nach WOHLBERG) entnommen, die auch auf die obige Weise untersucht wurden. Weiter wurden Untersuchungen über die Besiedlung und die Beschaffenheit der obersten 10 cm des anstehenden Sedimentes angestellt. Zu demselben Zweck wurden im Föhler Ley und im Oster Ley Greiferproben entnommen.

#### a. Die Stativproben vom Watt

Die hier angeführten Ergebnisse beziehen sich sämtlich auf Proben, die bei Hochwasser entnommen wurden. Die Probenentnahmen bei steigendem und fallendem Wasser wurden durch stürmische Wetterlage derart gestört, daß nur wenige Flaschen geborgen werden konnten. Der Kotperlengehalt dieser Sinkstoffproben war stets höher als der bei HW genommener Proben.

Im einzelnen konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

- a) Innerhalb der Lahnungen lösten die Schwimmer die Stative 1 und 2 wegen der Höhenlage des Standortes und der zur Zeit der Untersuchungen herrschenden Ostwindperiode nur selten aus. So liegen im ganzen nur fünf Flaschenmessungen vor, die aber alle dieselbe Sinkstoffzusammensetzung zeigen: etwa 25 % Kot, etwa 70 % Feinstes, etwa 5 % Sand.
- b) Kurz vor den Lahnungen liegen aus denselben Gründen nur zwei Serien mit je zwei Flaschen vor, von denen sich die eine Serie zu 65 % und die andere zu 40 % aus Kotperlen zusammensetzte. Der Rest bestand aus Feinstem.
- c) Auf dem Watt zwischen Lahnung und MTnw wurden vier Serien mit je zwei Flaschen und sechs Serien mit je vier Flaschen gewonnen. Der Sinkstoff enthielt: 75—80 % Kot, ca. 20 % Feinstes, 5 % Sand.
- d) Auf dem östlichen Horsbüll Steert ergaben vier Serien mit je vier Flaschen eine Sinkstoffzusammensetzung von: 70 % Kot, 20 % Feinstes, 10 % Sand.
- e) Der westliche Horsbüll Steert erbrachte ebenfalls vier Serien zu je vier Flaschen. Es wurde gefunden: 50 % Kot, 40 % Feinstes, 5—10 % Sand.

#### b. Die Schöpfproben aus den Prielen

- a) Dem Föhler Ley wurden über eine Tide aus allen Tiefen zusammen 15 Proben entnommen. Der Gehalt an Kotperlen, die zum großen Teil sehr stark zerstört waren, betrug im Mittel knapp 10 %. Der Rest bestand aus Feinstem.
- b) Aus dem Oster Ley liegen ebenfalls 15 Schöpfproben vor. Bei ihnen bestand der Sinkstoff zu ca. 25 % aus geformtem Kot. Die Perlen waren nicht so stark abgerollt wie im Föhler Ley, jedoch wesentlich stärker als die der Flaschenproben.

#### c. Das Sediment der Watten

Für die Untersuchung der Sedimente wurden ungestörte Sedimentblöcke von 5 mal 5 cm Querschnitt und 5—10 cm Länge entnommen und an der Luft etwas getrocknet. Nach dem Auseinanderbrechen mit der Hand wurden die Bruchflächen mit dem Binokular untersucht.

- a) In den Lahnungen wurden abwechselnd Schichten aus Sand und aus Kotperlen bestehend gefunden. Manchmal war der Übergang scharf erkennbar, manchmal auch verwischt. In 8 cm Tiefe konnte das Vorhandensein von Kotperlen noch deutlich nachgewiesen werden.
- b) Auf dem Watt zwischen den Lahnungen und der Niedrigwasserlinie war eine oberflächliche Schicht, ausschließlich aus Kotperlen bestehend, erkennbar, die viel Wasser enthielt und auf dem abgetrockneten Block durch Eintrocknen und Entnahmefehler auf 3—8 mm

zusammensank. Darunter wurde ein feinsandiges, mit Kotperlen leicht durchsetztes Sediment gefunden. Die oberflächliche Kotballenschicht bildete flache, relativ wasserarme Erhebungen auf der Oberfläche, die zu 100 % aus Kotperlen bestanden.

c) Auf dem östlichen Horsbüll Steert enthielt die sandige Oberfläche ca. 30 % Kotperlen. Im Bruch war keine Schichtung zu erkennen. Lediglich die Oberfläche zeigte in geringem Maße eine bräunliche Färbung. In den Rippeltälern wurde Kot der Herzmuschel und der Wattschnecke angetroffen.

d) Der westliche Horsbüll Steert wies eine sandige Oberfläche ohne bemerkenswerten Kotanteil auf. Eine Schichtung im Bruch war nicht zu erkennen.

e) Im Föhrrer Ley und im Oster Ley zeigten die Greiferproben, daß die Sedimentoberfläche aus grobem bis mittlerem Sand besteht, auf dem z. T. Schill oder Schalenpflaster lagert. Ein Kotperlengehalt wurde nicht festgestellt.

#### d. Die biologische Besiedlung der Sedimente

An Hand von Grabungen und von Oberflächenspuren wurde die Besiedlung der Sedimente festgestellt. Sie sollte erweisen, ob die gefundenen Kotmengen am Ort gebildet wurden oder nicht. Den Hauptanteil bildete der Kot der Wattschnecke (*Hydrobia ulvae*). Der Herzmuschel- (*Cardium*) und der Plattmuschel- (*Macoma*)kot spielten im Untersuchungsgebiet eine untergeordnete Rolle. Der Kot anderer Arten hatte mengenmäßig keine Bedeutung bei der Zusammensetzung der Sinkstoffe.

a) In den Lahnungen wurde die typische Besiedlung des Schlicks durch die Pfeffermuschel (*Scrobicularia plana*), den Wattringelwurm (*Nereis diversicolor*) und wenig durch den Wurm *Heteromastus* gefunden.

b) In dem Watt zwischen Lahnung und NWL siedelten in der schlammigen, kothaltigen Oberfläche und dem darunter liegenden Feinsand geringe Mengen der Wattschnecke, des Wattringelwurmes, des Sandwurmes (*Arenicola*, jung), der Plattmuschel und geringe Mengen des Schlickkrebse (*Corophium volutator*).

c) Der östliche Horsbüll Steert war neben Sandwurm, *Lanice* und *Scoloplos* von einem dichten Bestand der Herzmuschel besiedelt. Außerdem konnten in den oberen Millimetern des sandigen Sedimentes ungeheure Mengen von Wattschneckenbrut festgestellt werden. Am SO-Rande des Steertes siedelten Miesmuschelhorste auf Sand (*Mytilus edulis*).

d) Der westliche Horsbüll Steert wurde vom Sandwurm, von *Scoloplos*, *Urothoe*, *Bathyporeia* und *Lanice* besiedelt. Weder die Herzmuschel noch die Wattschnecke wurden hier in bemerkenswerten Mengen angetroffen.

e) Zum Föhrrer Ley und zum Oster Ley hin wurden alle 200—300 m Greiferproben heraufgeholt. Es wurden keine Herzmuscheln und Wattschnecken gefunden. Das Vorkommen dieser beiden Arten ist also auf den östlichen Horsbüll Steert beschränkt.

#### e. Die Kotproduktionsgebiete

Angesichts der hohen Bedeutung der tierischen Ausscheidungsprodukte für die Zusammensetzung der Sinkstoffe soll die beigefügte Karte die Lage der Haupterzeugungsgebiete im nordfriesischen Wattenmeer veranschaulichen (Abb. 17).

Auf der genannten Karte sind die Schlickgebiete auch schraffiert eingezeichnet. Die Standorte mit Miesmuschelbänken sind durch Dreieck-Signatur gekennzeichnet. Die kleinpunktierten Flächen zeigen sandige Gebiete mit einer starken Besiedlung durch die kleine Watt-

Abb. 10.

Durch Kotpillen dunkel gefärbte Wattoberfläche im Seegrasgebiet (*Zostera nana*). Die hellen Flecke haben die unter der Oberfläche lebenden Herzmuscheln (*Cardium edule*) durch Ausspritzen von Wasser verursacht. Dadurch wurden die locker gelagerten Kotpillen und Diatomeen beiseite gespült

(aus PLATH 1943)  
1938. Aufn. M. PLATH

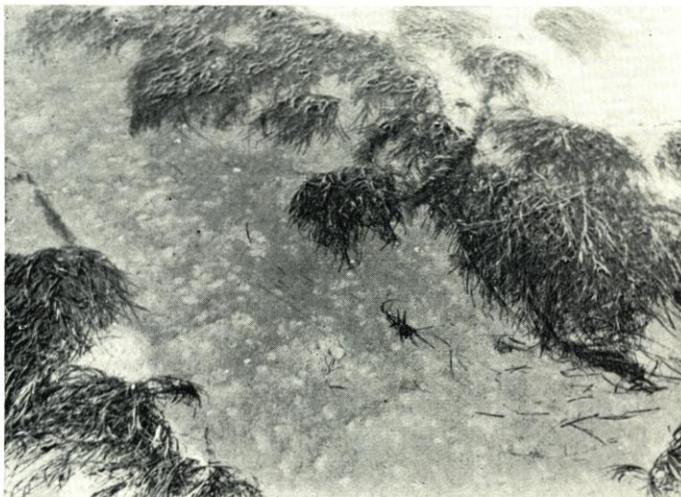


Abb. 11.

Seegraswiese auf Sandwatt. Die Dichte der Besiedlung durch die kleine Wattschnecke (*Hydrobia ulvae*) wird durch die punktförmigen hellen Lichtreflexe erkennbar

1938. Aufn. M. PLATH



Abb. 12.

Reines Sandwatt mit Rippelmarken und *Arenicola*-Besiedlung. Die winzigen dunklen Punkte weisen auf die dichte Besiedlung der kleinen Wattschnecke hin

1938. Aufn. M. PLATH





Abb. 13.  
Sandwatt mit dichter Herz-  
muschel-Besiedlung. Ihre Lage  
erkennt man an den dunklen,  
mit der Muschel verbundenen  
Algenbüscheln  
1938. Aufn. M. PLATH



Abb. 14.  
Reines Sandwatt mit *Areni-  
cola marina*. Die dunklen Bän-  
der in den Rippeltälern beste-  
hen aus zusammengeschwemmt-  
ten Kotperlen  
1938. Aufn. M. PLATH

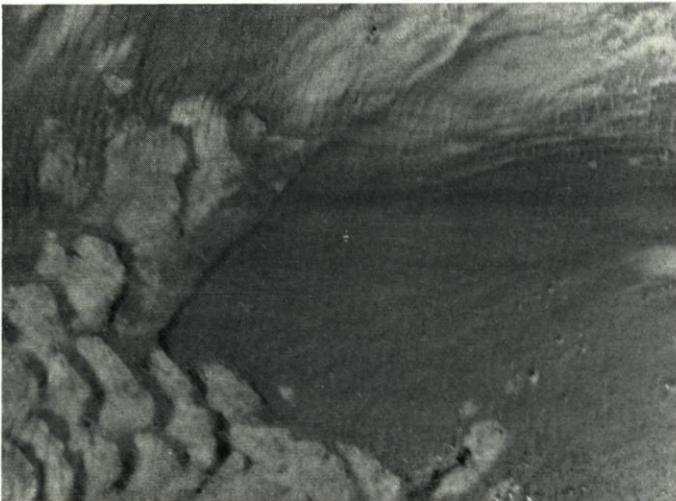
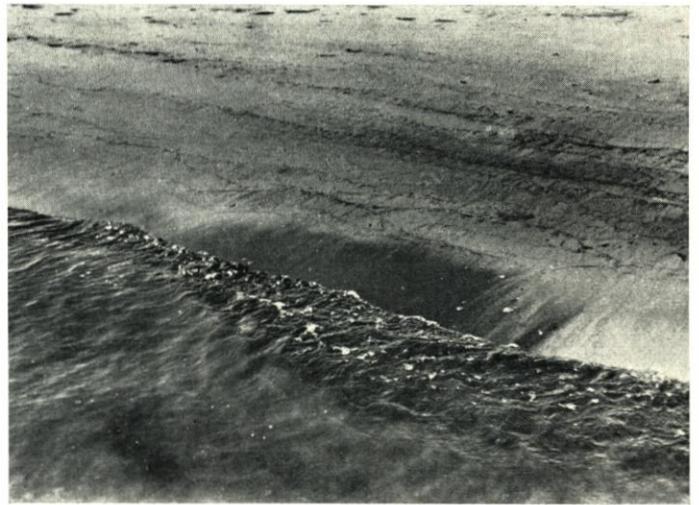


Abb. 15.  
Unterwasseraufnahme eines  
überströmten Sandwattes mit  
flächenförmig abgelagerten  
Kotperlen  
1938. Aufn. M. PLATH

schnecke und die Herzmuschel an. Sie sind häufig mit mehr oder weniger dichtem Seegrasrasen bewachsen. Abbildung 10 und 11 zeigen solche Besiedlungsbilder südlich der Halbinsel Nösse. Die dunkle Sedimentfarbe auf Abbildung 10 ist auf einen starken Kotgehalt der Oberfläche zurückzuführen. Die hellen Flecke darin stammen je von einer Herzmuschel im Untergrund, die durch Ausspritzen von Wasser die dunklen leichten Kotballen beiseite gespült hat. Auf Abbildung 11 ist die dichte Besiedlung des Seegrasrasens durch die kleine Watttschnecke zu sehen. Jedes Tier erscheint durch den Lichtreflex als heller Punkt. Diese Gebiete stellen — allein an ihrer Besiedlungsdichte gemessen — starke Kotproduktionsgebiete dar. Die grobe Punktsignatur kennzeichnet Sandwatten, die eine weniger starke Besiedlungsdichte durch diese beiden Arten aufweisen. In Abbildung 12 sind die kleinen schwarzen Punkte kleine Watttschnecken, und Abbildung 13 zeigt die Wohndichte der Herzmuschel. Beide Aufnahmen stammen vom Steenack und beweisen durch die Rippeln den sandigen Charakter

Abb. 16.  
Prielrand bei abfließendem Wasser. Der sinkende Wasserstand hinterläßt am Prielhang ein System von parallelen dunklen Linien, die aus den geformten Ausscheidungsprodukten der das Watt bewohnenden Tiere bestehen. In der Bildmitte eine flächenförmige Ansammlung der gleichen Stoffe. Das abfließende Wasser ist stark getrübt  
1938. Aufn. M. PLATH



des Sediments. Auf allen weiß gebliebenen Flächen der Karte wurde keine bemerkenswert dichte Besiedlung durch die beiden Tiere gefunden. Nun hängt der praktische Wert eines Produktionsgebietes nicht allein von der erzeugten Kotmenge ab, sondern ebenso stark von der Möglichkeit des Abtransportes der Kotballen durch das Wasser. Dieser wird natürlich durch einen Seegrasrasen oder eine ruhige Lage des Standortes erschwert, auf exponierten, unbewachsenen Sandflächen dagegen leichter vonstatten gehen. Die Art des Abtransportes kann verschieden sein. Abbildung 14 zeigt zusammengespülten Kot in Rippeltälern auf ausgeprägtem Sandwatt. Werden größere Mengen zusammengetragen, können auf der Oberfläche dunkle Schlieren aus Kotballen gebildet werden (Abb. 15). Das letzte fallende Wasser nimmt einen Teil dieser zusammengeschwemmten Kotballen mit. Auf Abbildung 16 sind die kleinen Spülsäume des zurückgehenden Wassers als dunkle aus Kot bestehende Linien zu sehen. Das den Hang hinaufleckende Wasser hinterläßt beim Zurückfließen einen dunklen Fleck. Dieser wird durch die im Wasser suspendierten Kotballen verursacht, die langsamer ins Wasser zurückrollen. Solche Kotansammlungen sind an flachen Prielrändern häufig zu beobachten. Nach den oben geschilderten Ergebnissen vor Horsbüll ist jedoch anzunehmen, daß der Abtransport der Kotballen durch Aufwirbeln der Oberfläche bei stärkerem Wellengang größere Mengen erfaßt als der eben geschilderte.

### Kotproduktionsgebiete für Wattschnecke, Herz- u. Miesmuschel

nach der biologischen Wattkartierung 1937

#### Zeichenerklärung

-  Gebiete mit rezentem (jungem) Schlick
-  Miesmuschelbänke (Mytilus)
-  Besiedlungsdichte: Wattschnecke über 25 000/m<sup>2</sup> (Hydrobia)  
Herzmuschel über 200/m<sup>2</sup> (Cardium)
-  Besiedlungsdichte: Wattschnecke 10 - 25 000/m<sup>2</sup> (Hydrobia)  
Herzmuschel 100 - 200/m<sup>2</sup> (Cardium)

Aufgestellt:

Husum, den 19. Januar 1939

gez. Dr. M. Plath

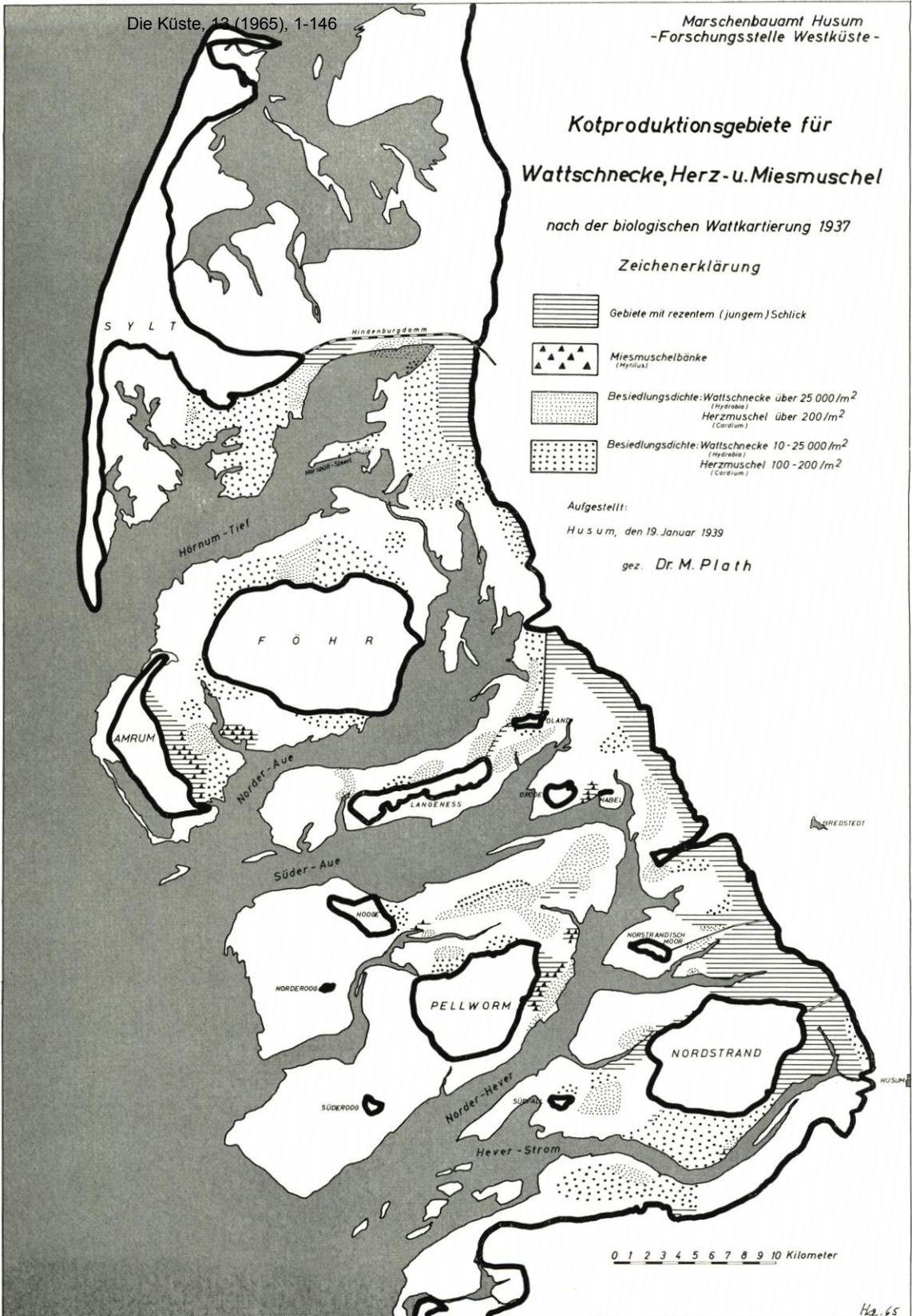


Abb. 17. Die Lage der Haupterzeugungsgebiete tierischer Ausscheidungen zugunsten des Sinkstoffhaushaltes im nordfriesischen Wattenmeer

Hca. 65

## IV. Zusammenfassung

Diese Voruntersuchungen haben das erwartete Ergebnis gehabt, daß tierische Ausscheidungsprodukte bei der Sedimentbildung vor Horsbüll im südlichen Hindenburgdamm-Gebiet eine hervorragende Rolle spielen:

1. Es findet eine schichtenmäßige Ablagerung von Kotballen in den Lahnungsfeldern statt. Bei Hochwasser ist die Kotballenführung des Wassers gering.
2. Zwischen Lahnung und Niedrigwasserlinie werden die Kotperlen vorübergehend abgelagert. Die Besiedlung dieser Gegend zeigt, daß diese hier nicht gebildet werden können. Die Sinkstoffuntersuchungen ergaben hier eine starke Kotballenführung des Wassers, die z. T. durch aufgewirbeltes z. T. durch zugeführtes Material zu erklären ist.
3. Auf dem östlichen Teil des Horsbüll Steerts, wo der Kotanteil im Sediment gering und die Kotballenführung des Wassers stark ist, siedeln die in Frage kommenden Kotballenerzeuger (junge Wattschnecken und Herzmuscheln) in großer Dichte.
4. Der westliche Horsbüll Steert zeigt weder eine Besiedlung durch die genannten Arten noch einen Kotgehalt im Oberflächensediment. Die Kotballenführung des Wassers ist gegen 2 und 3 geringer.
5. Im Föhrer Ley und im Oster Ley sind nur sehr geringe Mengen von stark zerstörten Kotballen angetroffen worden. Die Sedimente weisen keinen Kotgehalt auf und sind nicht von den erwähnten Koterzeugern besiedelt.

Nach diesen Befunden ist anzunehmen, daß im Raum südöstlich von Sylt die sandigen Wattflächen, insbesondere der Horsbüll Steert, mit ihrer Besiedlung Standorte sind, an denen der Kot gebildet wird. Durch ihr geringes spezifisches Gewicht werden die Kotperlen nicht dem Sediment einverleibt, sondern beim Wandern der Rippeln stets an die Oberfläche gebracht und vom Wasser aufgenommen. In dem Gebiet vor den Lahnungen der Küste werden sie vorübergehend abgelagert. Bei besonderen Wetterlagen werden sie in die Lahnungsfelder transportiert und dort in dickeren Lagen abgesetzt, um in Zeiten sehr starker Wasserbewegung von sandigen Sedimenten überdeckt zu werden.

Die außerordentliche Feinheit des Schlicks im Untersuchungsgebiet dürfte durch den hohen Anteil an Kotperlen zu erklären sein. Es wäre weiter zu untersuchen, a) ob der Kotanteil im übrigen Hindenburgdamm-Gebiet ebenfalls dieses Maß annimmt, b) wo weitere Koterzeugungsgebiete liegen und wie groß sie sind, und c) wie diese zu den herrschenden Stromrichtungen liegen.

Quantitativ sowie qualitativ können die Kotmengen und auch die Sinkstoffe überhaupt auf ihrem Weg aus den Wattströmen zu den Ablagerungsgebieten durch die oben geschilderten Sinkstoffstative erfaßt werden. Allerdings ist eine regionale Untersuchung großer Flächen nur unter Anwendung von vielen Stativen und durch den Einsatz mehrerer Arbeitskräfte möglich. Überall dort jedoch, wo auf verhältnismäßig engem Raum klar erkennbare Wasserbewegungen vonstatten gehen (wie z. B. in Prielen, Lahnungen oder auf kleinräumigen, in breiter Front überströmten Wattflächen) ist man in der Lage, Werte über die Sinkstoffmengen an sich und über ihre Zusammensetzung (Kot, Feinstes, Sand) zu erhalten. Im zweiten Jahr der Untersuchungen (1938) wurde ein Verfahren gefunden, mit dem sich Kotballen und feinste unformte Bestandteile voneinander trennen lassen, so daß der Kotanteil, der Sandanteil und der Anteil an Feinstem nicht mehr nur geschätzt (vgl. oben S. 125), sondern quantitativ gewogen werden kann. Das Sinkstoffstativ ist im Herbst 1937 konstruiert und im Sommer 1938 vervollkommenet. Es ergibt nunmehr vollständig einwandfreie Resultate. Diese können jedoch frühestens im Sommer 1939 durch planmäßige abschnittsweise Untersuchungen entlang der nordfriesischen Küste erarbeitet werden.

# Ein neues Schöpfgerät für Schwebstoffuntersuchungen im Watt

Von Harald Göhren

## Inhalt

1. Vorbemerkungen . . . . .	133
2. Methoden der Schwebstoffmessung . . . . .	133
3. Schwebstoffmessungen im Watt . . . . .	134
4. Beschreibung des neuen Schöpfgerätes . . . . .	135
5. Schriftenverzeichnis . . . . .	139

## 1. Vorbemerkungen

Die der Deutschen Nordseeküste vorgelagerten großen Wattgebiete sind seit Jahrzehnten Gegenstand eingehender gewässerkundlicher Forschung. Zumeist stehen Fragen des Küstenschutzes und der Landgewinnung, der Unterhaltung und des Ausbaues der Schifffahrtswege im Hintergrund.

Die Feldarbeit ist im Watt schwieriger als im freien Gewässer, da Schiffe nur begrenzt eingesetzt werden können. Viele der bekannten und bewährten gewässerkundlichen Meßverfahren scheiden damit aus.

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, für die Arbeit im Watt besondere Meßmethoden und Meßgeräte zu entwickeln. Man kann jedoch nicht sagen, daß die Meßtechnik auf diesem Gebiet bereits einen befriedigenden Stand erreicht habe. Unter anderem fehlt es an einem brauchbaren Verfahren für Schwebstoffmessungen. Verfasser hat dafür ein neues Schöpfgerät entwickelt, das nachfolgend beschrieben werden soll.

## 2. Methoden der Schwebstoffmessung\*)

Man kann die Verfahren zur Bestimmung der Schwebstoffkonzentration im Wasser nach der Meßmethodik in zwei Gruppen unterteilen. Die erste Gruppe umfaßt die direkten Meßverfahren, d. h. Verfahren zur Gewichtsbestimmung der in der Volumeneinheit enthaltenen Feststoffe. Dabei werden die Feststoffe durch Absetzen, Filtrieren oder Zentrifugieren ausgeschieden, gewogen und zur Schöpfmenge ins Verhältnis gesetzt. Bei diesem Verfahren besteht die Feldarbeit eigentlich nur aus dem Schöpfen der Wasserproben. Es können keine kontinuierlichen Messungen durchgeführt werden.

Zur Entnahme der Wasserproben wird in Deutschland zumeist der von WOHLBERG (7) entwickelte Horizontalwasserschöpfer verwendet. KRAMER und BETH (1) entwickelten ein integrierendes Sinkstoff-Fanggerät, bei dem durch Verwendung einer engen Einlaufdüse der Entnahmevergange über längere Zeit (einige Minuten) ausgedehnt wird. Dadurch werden die im turbulent strömenden Wasser vorhandenen starken Schwankungen der Schwebstoffkonzentration zum Teil ausgeglichen. Mit diesem Ziel wurden auch schon Pumpen eingesetzt, die über einen Entnahmestutzen und eine Schlauchleitung größere Wassermengen fördern konnten. Die darin enthaltenen Feststoffe wurden mittels Zentrifugen und Filter ausgeschieden. Umfangreiche Versuche über dieses Verfahren wurden in den USA durchgeführt (6).

\*) Vgl. Aufsatz PLATH in diesem Heft.

Die zweite Gruppe umfaßt Verfahren, bei denen physikalische Größen gemessen werden, die sich mit der Schwebstoffkonzentration des Wassers ändern (Absorption von Licht oder radioaktiver Strahlung, elektrischer Widerstand). Dabei sind kontinuierliche und selbstregistrierende Messungen möglich. Da die genannten physikalischen Größen neben der Schwebstoffkonzentration auch noch von anderen Faktoren abhängen (Zusammensetzung der Schwebstoffe, Temperatur des Wassers, Bestand an löslichen Stoffen), müssen bei diesen Messungen stets Eichmessungen nach dem direkten Verfahren vorangehen oder parallel laufen.

### 3. Schwebstoffmessungen im Watt

Im Watt können die oben beschriebenen Verfahren größtenteils nicht angewandt werden, da sie den Einsatz von Wasserfahrzeugen erfordern. WOHLBERG (8) hat über Schwebstoffuntersuchungen an der Westküste Schleswig-Holsteins berichtet. Danach konnte im Watt eine Reihe von Messungen mit dem Horizontal-Wasserschöpfer ausgeführt werden, allerdings nur während der Hochwasserzeit und bei ruhigem Wetter. Dazu wurden flachgehende, leichte

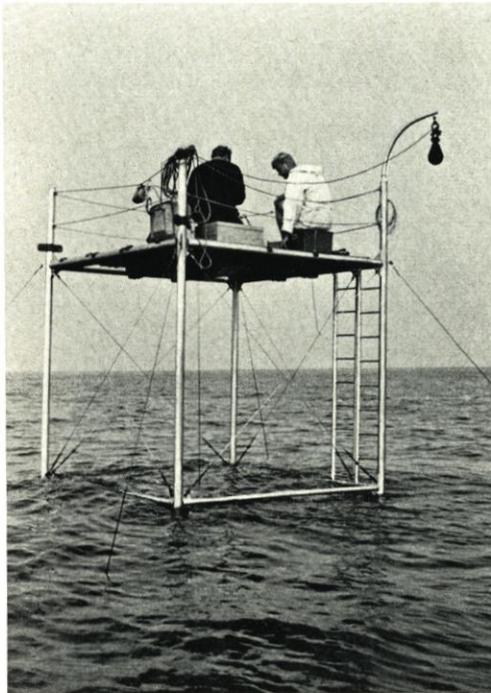


Abb. 1. Gerüst für gewässerkundliche Messungen im Watt

Fahrzeuge eingesetzt. WOHLBERG hat in dem oben erwähnten Aufsatz bereits darauf hingewiesen, daß solche sporadischen Messungen nicht ausreichen und daß es vor allen Dingen wichtig ist, auch bei schlechtem Wetter, ja bei Sturmfluten Ergebnisse zu erhalten. Er schlug dafür die Errichtung von festen Meßstationen im Watt vor. Nach Kenntnis des Verfassers ist das auch schon mehrfach verwirklicht worden. Der Aufbau derartiger Meßstationen (Abb. 1 zeigt ein solches Gerüst, das zur Zeit bei gewässerkundlichen Arbeiten im Neuerker Watt eingesetzt wird) ist jedoch recht aufwendig, die Arbeit auf ihnen bei schlechtem Wetter zudem nicht ohne Risiko. Ihr Einsatz wird daher immer auf Sonderfälle beschränkt bleiben.

LÜNEBURG (2) hat im Wurster Watt Trübungsmessungen mit einem Durchsichtigkeitsmeßgerät durchgeführt. Das Anzeigergerät wurde von einem Beobachter auf dem hochwasserfreien Deichvorland bedient. Die Messungen beschränkten sich daher auf das unmittelbar vor der Küste liegende Watt.

MÜLLER (3, 4) hat ein selbsttätiges, recht einfach arbeitendes Entnahmegesetz entwickelt und damit umfangreiche Schwebstoffmessungen

durchgeführt. Es arbeitet nach folgendem Prinzip: An einem eingespülten Rohrfahl werden in verschiedenen Höhen (im Bereich zwischen Wattsohle und MThw) Wasserflaschen angebracht. Ein Teil der Flaschen ist geöffnet. Diese füllen sich bei Flut, wenn der Wasserstand die jeweiligen Flaschenöffnungen erreicht. Weitere Flaschen werden bei Ebbe gefüllt. Die Öffnungen dieser Flaschen sind vorher geschlossen und werden durch selbsttätige Schwimmerhähne geöffnet. Bei Niedrigwasser können die gesammelten Proben entnommen und das Gerät für die

nächste Messung vorbereitet werden. Der Vorteil des von MÜLLER verwendeten Gerätes liegt in dem einfachen Aufbau, der robusten und wenig störanfälligen Ausführung und in der gegebenen Möglichkeit, mit wenig Aufwand umfangreiche Messungen durchzuführen.

Die Flaschen bleiben nach der Füllung geöffnet und mehr oder weniger lange Zeit unter Wasser. In dieser Zeit können weiter absinkende Feststoffe in die Flasche und dort zur Absetzung gelangen. Es ist daher zu erwarten, daß die mit dem von MÜLLER verwendeten Gerät entnommenen Proben eine höhere Schwebstoffkonzentration aufweisen als der tatsächlichen Konzentration zum Zeitpunkt der Probenentnahme entspricht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß bislang noch kein voll befriedigendes Verfahren für Schwebstoffmessungen im Watt gefunden wurde. Ein solches Verfahren müßte einfach und möglichst wenig personalaufwendig sein, dabei aber hinreichend genaue Ergebnisse liefern und Messungen bei allen Wetterverhältnissen gestatten. Im Hinblick auf dieses Ziel erscheint die von MÜLLER entwickelte Methode, ein stationäres, selbsttätiges Schöpfgerät einzusetzen, am meisten erfolgversprechend. Die Entwicklung registrierender Geräte nach dem oben beschriebenen indirekten Meßverfahren dürfte möglich, jedoch schwierig und aufwendig sein.

#### 4. Beschreibung des neuen Schöpfgerätes

Verfasser hat für Schwebstoffmessungen im Watt ein neuartiges Schöpfgerät entwickelt. Es arbeitet nach folgendem Prinzip: In einem zylinderförmigen Behälter sind acht Weithalsflaschen mit je 1000 cm<sup>3</sup> Inhalt angeordnet. Vier der Flaschen werden nacheinander bei Flut gefüllt.

Die Entnahmezeiten hängen vom Tideverlauf ab, d. h. vom Eintritt bestimmter vorgegebener Wasserstände. Alle Proben werden aus der gleichen Höhe (35 cm über Sohle) entnommen. Vom Entnahmestutzen führen vier getrennte Schlauchleitungen in Schleifen, deren Scheitel in den vorgegebenen Höhen über der Sohle liegen, zu den vier Flaschen. Die vier restlichen Flaschen füllen sich bei Ebbe, wobei wieder die gleichen Wasserstände für den Zeitpunkt der Füllung maßgebend sind. Die von einem Verteilerstück hinter dem Entnahmestutzen zu diesen Flaschen führenden Schlauchleitungen sind durch Schlauchklemmen geschlossen und werden von einem Schwimmer über Winkelhebel und Seilzüge ausgelöst. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung dieses Mechanismus, Abbildung 3 die Gesamtanordnung. Flaschenbehälter, Schwimmerrohr und Gegengewichtsführung sind zu einem kompakten Gerät vereinigt. Es wird auf einem Schraubteller auf dem Wattboden aufgestellt und mit drei Drähten abgespannt. Das untere Auflager auf dem Schraubteller ist als Nadellager, das obere Lager in Höhe der Verspannung als Rollenlager ausgebildet. Das Gerät ist um seine vertikale Achse drehbar und wird durch ein Schwimmsteuer so bewegt, daß der Entnahmestutzen in die Stromrichtung weist. Der Einlauf des Entnahmestutzens liegt außerhalb des Staubereiches des Gerätes und enthält eine Pendelklappe, die das Eindringen von Feststoffen außerhalb der Füllzeiten verhindert. Die Füllzeiten für die einzelnen Flaschen betragen — abhängig vom Wasserstand — 60 bis 120 Sekunden. Die entsprechenden Eintrittsgeschwindigkeiten im Entnahmestutzen liegen zwischen 30 und 60 cm/s. Von jeder Flasche führt eine gesonderte Entlüftungsleitung bis über den Hochwasserspiegel.

Ein gewichtiger Einwand gegen dieses und ähnliche Systeme der Entnahme von Wasserproben zur Schwebstoffmessung ist der, daß Fehler entstehen, wenn im Bereich der Entnahmeöffnung eine Umlenkung der Stromlinien eintritt. Die dabei auftretenden Beschleunigungen wirken auf das Flüssigkeitsmedium anders als auf die in ihm enthaltenen Feststoffe (WOHLBERG, 7).

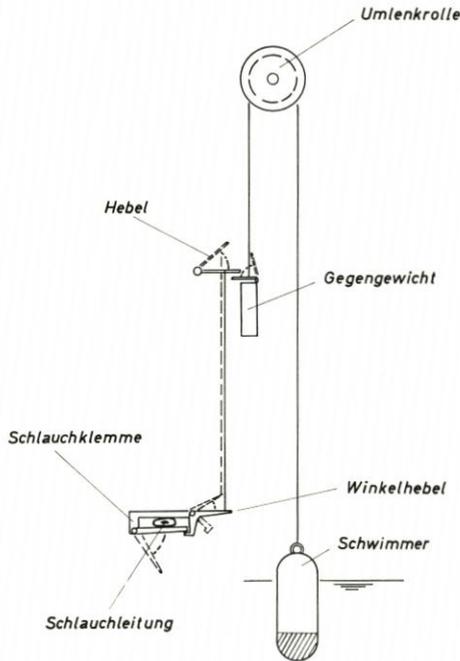


Abb. 2. Mechanismus zur selbsttätigen Auslösung der Schlauchklemmen (schematisch)

Durch die drehbare Anordnung des Gerätes und das weit vorragende Entnahmerohr ist gewährleistet, daß der Einlaufquerschnitt stets senkrecht zur Stromrichtung liegt. Die Eintrittsgeschwindigkeit im Entnahmestutzen weicht jedoch von der äußeren Stromgeschwindigkeit je nach Aufstellungsort und Tidezeit mehr oder weniger stark ab. Bei den verhältnismäßig geringen Stromgeschwindigkeiten im Watt und der damit zusammenhängenden Feinheit des in Suspension befindlichen Materials ist jedoch nicht zu erwarten, daß die Schwebstoffkonzentrationen der geschöpften Proben von den äußeren Werten erheblich abweichen. Dies geht aus entsprechenden Versuchen in den USA hervor (5) und konnte auch durch einen eigenen einfachen Laborversuch bestätigt werden. Dieser wurde folgendermaßen durchgeführt: In einen Behälter wurden 8 l klares Wasser gefüllt und mit einer gewichtsmäßig bestimmten Menge Feinsand bzw. Schluff versetzt. Das Gefäß besaß im unteren Drittel einen seitlichen Ausfluß von  $0,18 \text{ cm}^2$  Querschnitt. Durch ständiges Umrühren wurde der beigegebene Sand in Suspension gehalten, wobei vermieden wurde, die Flüssigkeit in kreisende Bewegung zu versetzen. Nacheinander

wurden dann fünf Proben von je  $1000 \text{ cm}^3$  abgefüllt. Anschließend wurden die Konzentrationen dieser Teilmengen bestimmt und mit der bekannten Konzentration der Gesamtmenge verglichen. Bei der gewählten Versuchsanordnung entsprechen die Bedingungen extremen Verhältnissen,

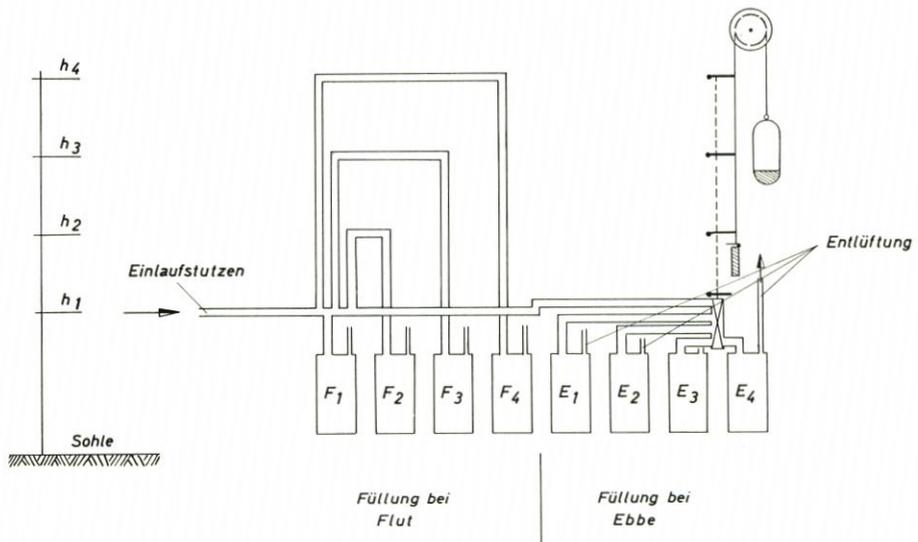


Abb. 3. Aufbau des Schöpfgerätes (schematisch)

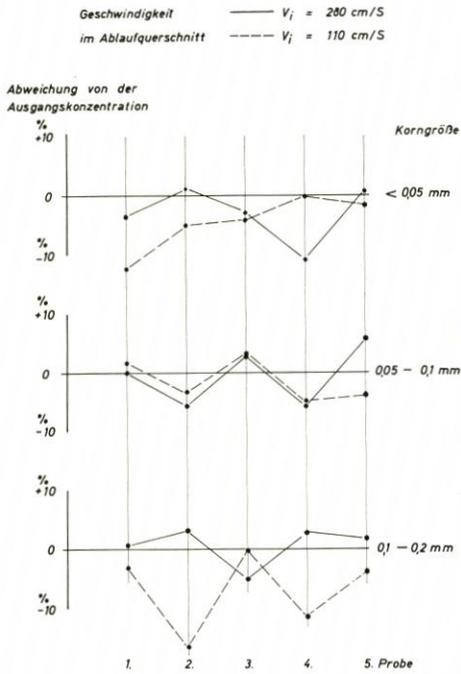


Abb. 4. Im Versuch gemessene Schwankungen der Schwebstoffkonzentration bei gestörter Probenahme

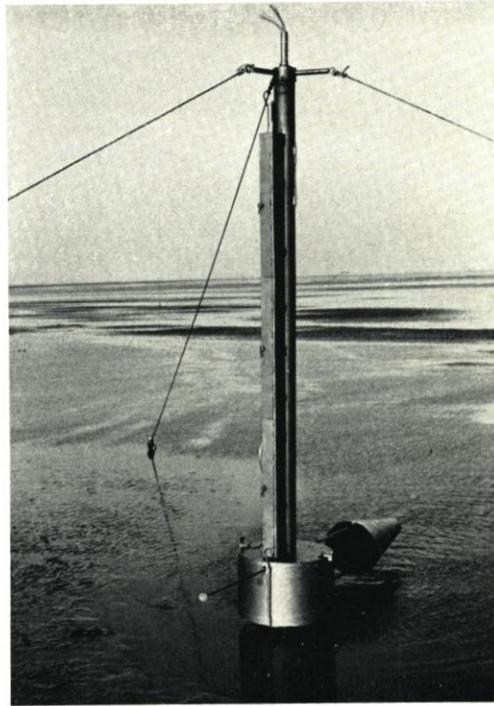


Abb. 5. Gesamtansicht des Schöpfgerätes



Abb. 6. Entnahme der Wasserproben

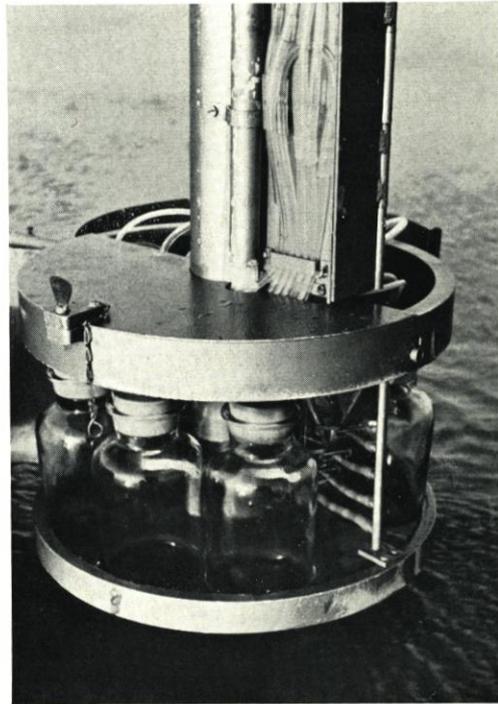


Abb. 7. Flaschenkammer des Schöpfgerätes (geöffnet)

da Stromrichtungen und -geschwindigkeiten im und vor dem Ablaufquerschnitt stark voneinander abweichen. Das Ergebnis von sechs Versuchsreihen ist in Abbildung 4 dargestellt und läßt erkennen, daß ein nennenswerter Fehler nicht auftritt. Aufgetragen sind die prozentualen Abweichungen der Konzentrationen der Einzelproben von der vorgegebenen Konzentration. Theoretisch müßten die Konzentrationen der zu Anfang entnommenen Proben merklich unter der Ausgangskonzentration liegen, die der letzten Proben darüber. Es ist jedoch nur eine unregelmäßige Streuung erkennbar, die auf die trotz des Umrührens noch ungleichmäßige Verteilung der beigegebenen Feststoffe zurückzuführen ist. Im Mittel aller Messungen liegen die Konzentrationen der entnommenen Proben nur 2,6 % unter der Ausgangskonzentration.

Bei der Entwicklung des Gerätes wurde besonderer Wert auf geringes Gewicht und einfachen Aufbau gelegt. Daher wurde nur Leichtmetall verwendet. Das Gerät wiegt (ohne Flaschen) 40 kg und kann von zwei Personen in rund 30 Minuten aufgestellt werden.

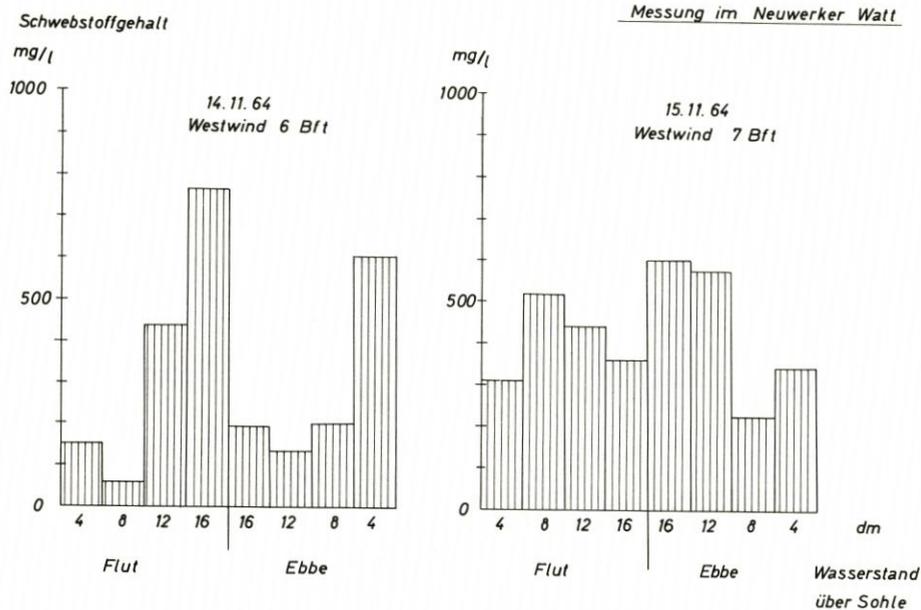


Abb. 8. Ergebnisse von Schwebstoffmessungen im Neuerker Watt

Abbildung 5 zeigt eine Gesamtansicht des Gerätes, Abbildung 6 das Entnehmen der gesammelten Proben. Diese werden im Feld in leichte Plastikflaschen umgefüllt. Abbildung 7 zeigt den geöffneten Flaschenbehälter. Zu erkennen sind unten das Verteilerstück mit den abgehenden Schlauchleitungen und die Schlauchklemmen, oberhalb der Flaschenkammer die Schlauchleitungen für die bei Flut zu füllenden Flaschen.

Zwei der von einer Feinmechanik-Werkstatt angefertigten Geräte (W. LUDOLPH in Bremerhaven) waren bereits mehrere Monate im Einsatz und haben sich gut bewährt. Es hat sich gezeigt, daß sie genügend robust sind, um auch Sturmweatherlagen mit starkem Seegang zu überstehen und dabei einwandfreie Ergebnisse zu liefern.

Die Auswertung der in dieser Zeit gewonnenen Ergebnisse (zwei Beispiele sind in Abb. 8 dargestellt) hat die Bestätigung erbracht, daß der Schwebstoffgehalt im Watt örtlich und in Abhängigkeit von den Tide- und Wetterverhältnissen stark schwankt und daß man nur mit groß angelegten Messungen zu brauchbaren Ergebnissen kommen wird.

### 5. Schriftenverzeichnis

1. KRAMER, J. und BETH, J.: Ein integrierendes Sinkstoff-Fangerät. Die Küste 4, 1955.
2. LÜNEBURG, H.: Beiträge zur Hydrographie der Wesermündung. Veröff. Inst. Meeresforsch., T. IV, Bd. III, H. 2, 1955.
3. MÜLLER, C. D.: Fauna und Sediment in der Leybucht. F. St. Norderney-Jber. XI, 1959.
4. MÜLLER, C. D.: Fauna und Sediment im Wurster Watt. F. St. Norderney-Jber. XIV, 1962.
5. NELSON, M. und BENEDICT, C.: Measurement and Analysis of Sediment Load on Streams. Am. Soc. Civ. Eng., Vol. 76, 1950.
6. WATTS, G. M.: Development and Field Tests of a Sampler for Suspended Sediment in Wave Action. Beach Eros. Board — Techn. Mem. 34.
7. WOHLBERG, E.: Der horizontale Wasserschöpfer. DHZ 3, 365—368, 1950.
8. WOHLBERG, E.: Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. Die Küste 2, H. 2, 1954.

# Beitrag zur Morphologie der Jade- und Wesermündung

Von Harald Göhren

## Inhalt

1. Einleitung . . . . .	140
2. Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen . . . . .	140
3. Die Entwicklung der Jade-Weser-Mündung seit 1859 . . . . .	142
4. Zusammenfassung . . . . .	146
5. Schriftenverzeichnis . . . . .	146

## 1. Einleitung

Das Mündungsgebiet der Jade und Weser wird von zahlreichen großen Sandbänken durchzogen (Abb. 1). Wegen der Bedeutung der zwischen den Sandbänken oder Platen verlaufenden Stromrinnen für die Schifffahrt hat man der Morphologie dieses Gebietes seit jeher besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Die genaue Kenntnis der hier stattfindenden Verlagerungen der Stromrinnen war und ist um so wichtiger, als es kaum möglich ist, in diesem Gebiet mit künstlichen Mitteln die Fahrwasserverhältnisse in nennenswertem Umfang zu beeinflussen. PLATE [6] konnte auch nachweisen, daß der Fahrwasserzustand der Außenweser in starkem Maße von den Vorgängen im Mündungsdelta beeinflusst wird.

Vor kurzer Zeit wurde die Frage nach der Bewegung der Sandbänke und Stromrinnen im Gebiet des Roten Sandes besonders aktuell. Es ging um die Festlegung des Standpunktes für den neuen Leuchtturm Alte Weser. Dazu mußten verständlicherweise möglichst genaue Voraussagen über die zukünftige Entwicklung getroffen werden.

Verfasser ist nach einem Studium der einschlägigen Literatur und eingehenden Kartenvergleichen zu dem Ergebnis gekommen, daß die bisher als gültig angenommenen Gesetzmäßigkeiten über die morphologischen Vorgänge im Mündungsdelta der Jade und Weser nicht voll zutreffen. Darüber soll im folgenden Beitrag berichtet werden.

## 2. Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts haben KRÜGER [4] und POPPEN [7] als erste eingehende Untersuchungen über die Veränderungen der Sandbänke im Mündungsdelta der Jade und Weser angestellt und kamen zu folgendem Ergebnis: Die großen Sandbänke und mit ihnen die zwischenliegenden Stromrinnen wandern in nordöstlicher Richtung. Dieser Vorgang ist so stetig, daß man eine periodische Wiederkehr gleichartiger Zustände nachweisen und voraussagen kann.

KRÜGER gab an, daß sich in Zeitabständen von etwa 20 Jahren Sandbänke vom Minsener Old Oog ablösen, in etwa 100 Jahren die Lage des Roten Grundes und in weiteren 70 Jahren die Lage des Roten Sandes erreichen.

Da die wandernden Sandbänke keine feste Lage haben, erscheint diese Angabe zunächst unklar. Es ist jedoch offensichtlich, daß KRÜGER die augenblickliche Lage der genannten Sände zum Zeitpunkt seiner Untersuchungen gemeint hat.

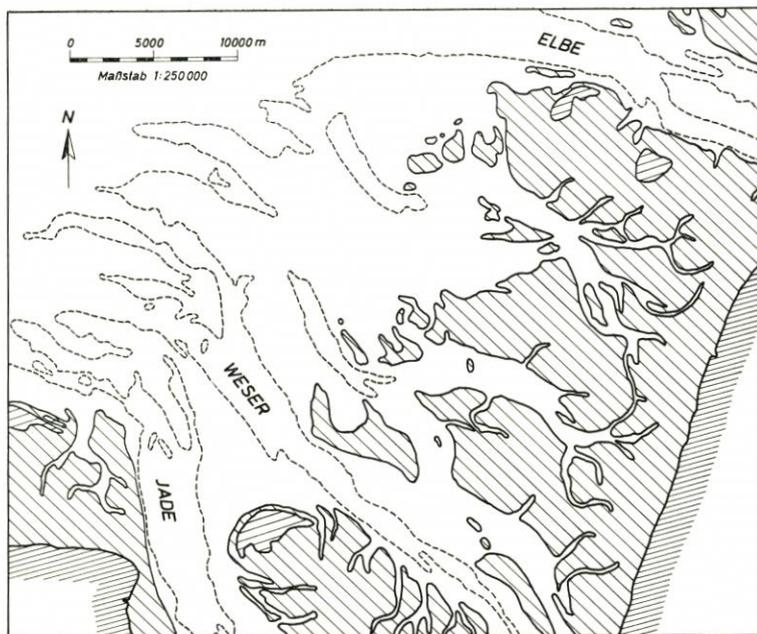


Abb. 1. Übersichtskarte: Jade, Weser und Elbe

POPPEN schreibt wörtlich:

„Es scheint dem Roten Grunde ein Lebensalter von 60 Jahren beschieden zu sein.“

Und an anderer Stelle:

„... aus dem Vergleich der Seekarten von der Jade- und Wesermündung geht mit unzweideutiger Bestimmtheit hervor, daß die Sände von Westen nach Nordosten durch die beiden Flußmündungen hindurch verfrachtet werden, und zwar die äußere Kette in etwa 60 Jahren, die Innensände in etwa 30jährigen Zeiträumen, ...“

Später hat sich PLATE mit der Morphologie dieses Gebietes befaßt und kam zu ähnlichen Ergebnissen. Er schreibt wörtlich [5]:

„... Und ein solcher Vorgang (gemeint ist die Verlegung des Fahrwassers der Außenweser) wiederholt sich nun alle 60—70 Jahre. Man findet ihn wieder auf Seekarten von 1791, 1859 und 1913, wo man eine ganz ähnliche Gestaltung der Sände zwischen Jade und Weser vorfindet. Es handelt sich also um eine periodische Wiederkehr gleichartiger Gestaltungen im Mündungsgebiet der Jade und Weser.“

Auch andere Autoren gaben diese Gesetzmäßigkeit an, so

JESSEN [3]: „Das Entstehen und Vergehen der Sandbank des Roten Grundes vollzieht sich in Perioden von 60 Jahren.“

GRIPP [1]: „... alle 20 Jahre löst sich eine große Sandbank vom östlich von Wangerooge gelegenen, Minsener Old Oog genannten Sand, um in nordöstlicher Richtung weiterzuwandern. Als Roter Grund berührt diese Sandmasse die Mellumplate. Der Rote Grund wandert weiter durch die Weser und wird zum Roten Sand (Dauer 60—70 Jahre).“

Und HENSEN [2]: „Der an der ostfriesischen Küste von Westen nach Osten wandernde Sand überquert die Jade in Form einzelner Bänke, die sich in Zeitabständen vor rund 20 Jahren an der Südwestseite der Außenjade bilden, durchwandert in Abständen von 60—70 Jahren die Weser und ...“

In einer neueren Veröffentlichung hat SIMON [8] noch einmal die Wanderung der Sandbänke in der Jade- und Wesermündung beschrieben und nach Auswertung weiterer Karten die genannten Perioden bestätigt.

Mit der von allen zitierten Autoren festgestellten Periode von 60–70 Jahren ist der Zeitraum gemeint, der vergeht, bis eine Sandbank um eine volle Wellenlänge (Abstand zweier benachbarter Sandbänke) gewandert ist. Lediglich PLATE spricht von einer periodischen Wiederkehr ähnlicher Gestaltungen.

### 3. Die Entwicklung der Jade-Weser-Mündung seit 1859

Verfasser hat für eine erneute Untersuchung alle nach 1859 erschienenen Seekarten herangezogen [9]<sup>1)</sup>.

Abbildung 2 enthält im Ausschnitt Nachzeichnungen fünf ausgewählter Karten dieses Zeitraumes. Sie geben einen Eindruck von der Veränderlichkeit in der morphologischen Gestaltung des Mündungsraumes.

1859 besitzt die Wesermündung 3 große Stromrinnen. Der östliche Stromarm trägt die Bezeichnung „Alte Norder Weser“, ein Hinweis dafür, daß es sich um eine frühere Hauptrinne handelt. Die Alte Weser ist durch Zwischensände nochmals in zwei Rinnen aufgespalten. Der Rote Sand ist durch eine Barre mit der Mellumplate verbunden. Hauptfahrwasser der Weser ist die Neue Weser. Wie aus ihrem Verlauf zu ersehen und wie auch die älteren Karten ausweisen, ist sie aus einer ehemaligen Jaderinne hervorgegangen. Von der Mellumplate aus erstreckt sich sichelförmig ein System von Sandbänken vor der Jade, das von mehreren schmalen Rinnen durchbrochen wird. 1885 ist die Verbindung zwischen Mellumplate und Rotem Sand verschwunden. Dagegen hat sich vor der Alten Weser eine Barre gebildet. Die Alte Norder Weser hat zwischen den Sandbänken der Nordergründe ihre Bedeutung verloren. Von Minsener Old Oog hat sich eine neue Sandbank abgelöst, der Minsener Sand.

Die Karte von 1910 zeigt ein besonders interessantes Stadium, die Abtrennung einer Plate von dem Sandbanksystem der Jade und die Entstehung einer neuen Stromrinne, einer „Neuen Weser“. Die abgetrennte Plate behält ihre Bezeichnung „Roter Grund“ bei. 1935 ist diese Entwicklung bereits abgeschlossen.

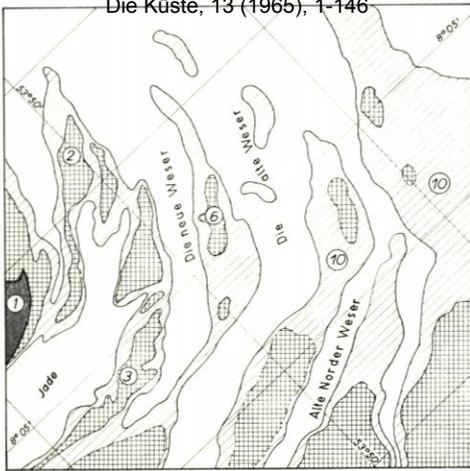
Diese kurzen Ausführungen mögen genügen, um die Systematik der Vorgänge aufzuzeigen. Ein qualitativer Kartenvergleich reicht bei der Vielfalt der hier zu beobachtenden Erscheinungen nicht aus, um ein klares Bild der vorhandenen Gesetzmäßigkeiten zu gewinnen.

Abbildung 3 enthält ein Zeit-Weg-Diagramm, aus dem die Veränderungen aller Rinnen und Platen im Mündungsgebiet in den vergangenen 100 Jahren zu erkennen sind. Es ist nach einer Auswertung von 15 Seekarten [9] entworfen worden. Aus jeder Karte wurden in einem vorgegebenen Profil die Abstände der Schwerachsen der Bänke und Rinnen von einem vorgegebenen Bezugspunkt abgegriffen und als Ordinaten über der Zeitachse aufgetragen. Die Schwerachsen wurden nach Augenmaß eingezeichnet; gewisse kurzfristige Schwankungen in den gezeichneten Kurven mögen auf Unsicherheiten bei der Festlegung der Schwerachsen zurückzuführen sein. Das vorgegebene Profil liegt annähernd senkrecht zur Streichrichtung der Sandbänke, die dargestellte Bewegungskomponente entspricht damit der Hauptwanderrichtung.

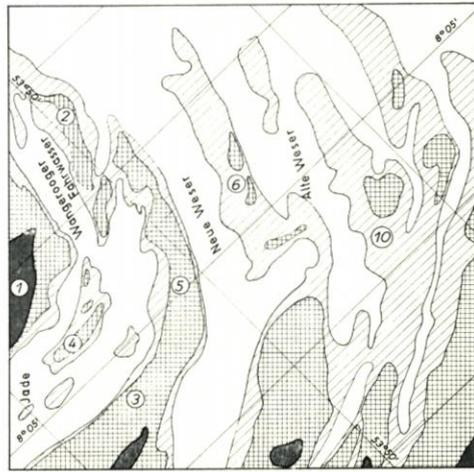
Sämtliche Linien des Diagramms zeigen steigende Tendenz. Damit ist die gleichmäßige Wanderung der Strombänke und Platen durch die Jade- und Wesermündung eindrucksvoll

<sup>1)</sup> Vor 1859 erschienene Karten wurden wegen erkennbarer Ungenauigkeiten oder lückenhafter Aufnahmen nicht verwendet. 1859 erschien die erste brauchbare, von H. KÖHLER aufgenommene Admiralitätskarte.

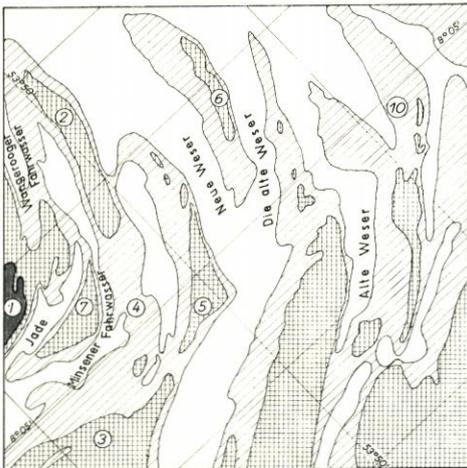
1859  
Die Küste, 13 (1965), 1-146



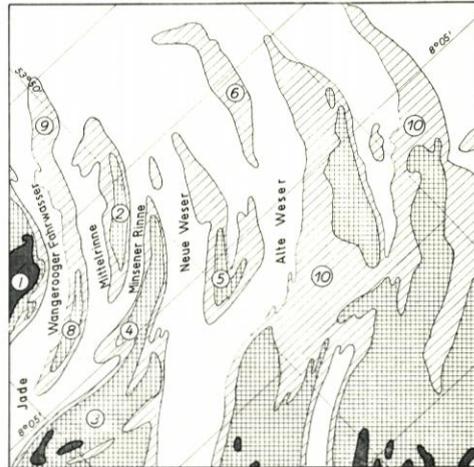
1885



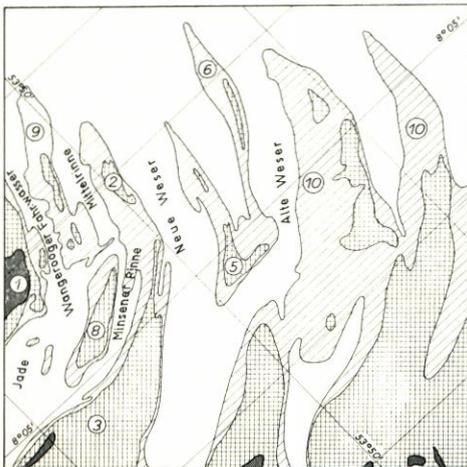
1910



1935



1956



### Bezeichnung der Platen

- 1 Minsener Old Oog
- 2 Jade Plate
- 3 Mellumer Plate
- 4 Minsener Sand
- 5 Roter Grund
- 6 Roter Sand
- 7 H-Plate
- 8 Old Oog Plate
- 9 Wangerooger Plate
- 10 Norder Gründe

- > SKN + 0,0 m
- < SKN - 0 - 6 m (1859 < 0-3 Faden)
- < SKN - 6 - 10 m (1859 < 3-5 Faden)
- < SKN - 10 m (1859 < 5 Faden)

0 5,0 km

Abb. 2. Die Jade- und Wesermündung in älteren Seekarten

bestätigt. Es ist auch zu erkennen, daß die Wandergeschwindigkeit in der Jademündung größer ist als in der Wesermündung. Die von KRÜGER und POPPEN angegebene Neubildung von Sandbänken bei Minsener Oog in Zeitabständen von 20–30 Jahren kann aus dem Diagramm nicht abgelesen werden. Hierzu ist zu bemerken, daß es sich bei diesen neu entstehenden Bänken zunächst immer um kleine Formen handelt, die sich bald auflösen oder größeren Platen anlagern. Diese Vorgänge konnten beim Entwurf des Diagramms nicht dargestellt werden.

Wichtig ist dagegen die Feststellung, daß die 60- bis 70jährige Periode für die Sandbankwanderung in der Wesermündung nicht zutrifft. Aus dem Zeit-Weg-Diagramm in Abbildung 3 läßt sich folgendes ablesen:

Rund 3,4 km südlich des gewählten Bezugspunktes lag 1859 eine Sandbank, die Jade Plate. 65 Jahre später befand sich dort eine Rinne, die Neue Weser. 1859 lag das Fahrwasser der Außenweser, die Neue Weser 2,1 km südlich des Bezugspunktes. Hier erstreckte sich 55 Jahre später der Rote Grund.

Wenn Alte und Neue Weser, Roter Sand und Roter Grund ihre bisherige Wanderung in nordöstlicher Richtung fortsetzen — und alles spricht dafür —, so wird etwa zwischen 1970 und 1980 der Zustand von 1859 erreicht sein. Das heißt, der Rote Grund wird dann dort liegen, wo 1859 der Rote Sand lag, die Neue Weser dort, wo 1859 eine Rinne mit der gleichen Bezeichnung lag usw.

Die Periode für die Wiederkehr ähnlicher Zustände in der Wesermündung — sofern man darunter die geographische Lage der Sandbänke und Stromrinnen versteht — beträgt demnach 110–120 Jahre. Sie ist fast doppelt so lang, wie die bisher als gültig angenommene Periode von 60–70 Jahren.

Für diesen Tatbestand kann folgende Erklärung gegeben werden: Offensichtlich ist bei den früheren Untersuchungen, die aus vergleichenden Betrachtungen der vorhandenen Seekarten bestanden, vor allem die Ähnlichkeit verschiedener topographischer Zustände (Größe und Form der Platen, Verlauf der Rinnen und Verbindungen untereinander) beachtet worden, nicht aber die geographische Lage der Platen und Rinnen. Ferner wurden die in den Seekarten und Segelanweisungen verzeichneten Fahrwasserverlegungen und Änderungen in den Bezeichnungen der Sände und Stromrinnen berücksichtigt. So führt zum Beispiel PLATE die regelmäßig in Zeitabständen von 60–70 Jahren wiederkehrenden Fahrwasserverlegungen in der Wesermündung an (s. o.). Im Zeitraum von 1859 bis 1956 ist das Fahrwasser der Weser einmal verlegt worden, und zwar zwischen den Jahren 1910 und 1916 (s. Abb. 3). Kurz vor 1859 muß ebenfalls eine Fahrwasserverlegung von der Alten Weser in eine südliche Rinne, die Neue Weser, stattgefunden haben. Soweit werden auch die Angaben von PLATE durch das in Abbildung 3 dargestellte Diagramm bestätigt. Die Neue Weser lag jedoch 1913 rund 2 km weiter südlich als die Alte Weser 1859 und die Alte Jade 1913, als sie zum Fahrwasser der Weser wurde, ebenfalls rund 1,5 km weiter südlich als die Neue Weser um 1859. Als Fahrwasser wählte man die günstigste, das heißt die tiefste und breiteste Stromrinne. Offensichtlich hat sich diese im Lauf der Zeit immer weiter südlich ausgebildet. Daraus ergibt sich für die Fahrwasserverlegungen eine andere, kürzere Periode als für Sandbankwanderung.

Daß sich die Hauptstromrinne der Wesermündung immer weiter südlich ausgebildet hat, ist auf eine Südwestschwenkung des gesamten Mündungsdeltas zurückzuführen. Diese Schwenkung wurde von JESSEN [3] erkannt und beschrieben. Ein Vergleich der Karten von 1859 und 1956 läßt diese Entwicklung gut erkennen.

Abschließend kann die Feststellung getroffen werden, daß die Begriffe Periodische Verlagerung der Sandbänke oder Periodische Wiederkehr gleicher Gestaltungen im Mündungsgebiet nicht besonders geeignet sind, die tatsächlichen Vorgänge hinreichend zu beschreiben. Aus der Darstellung in Abbildung 3 geht hervor, daß man wegen der unterschiedlichen Wander-

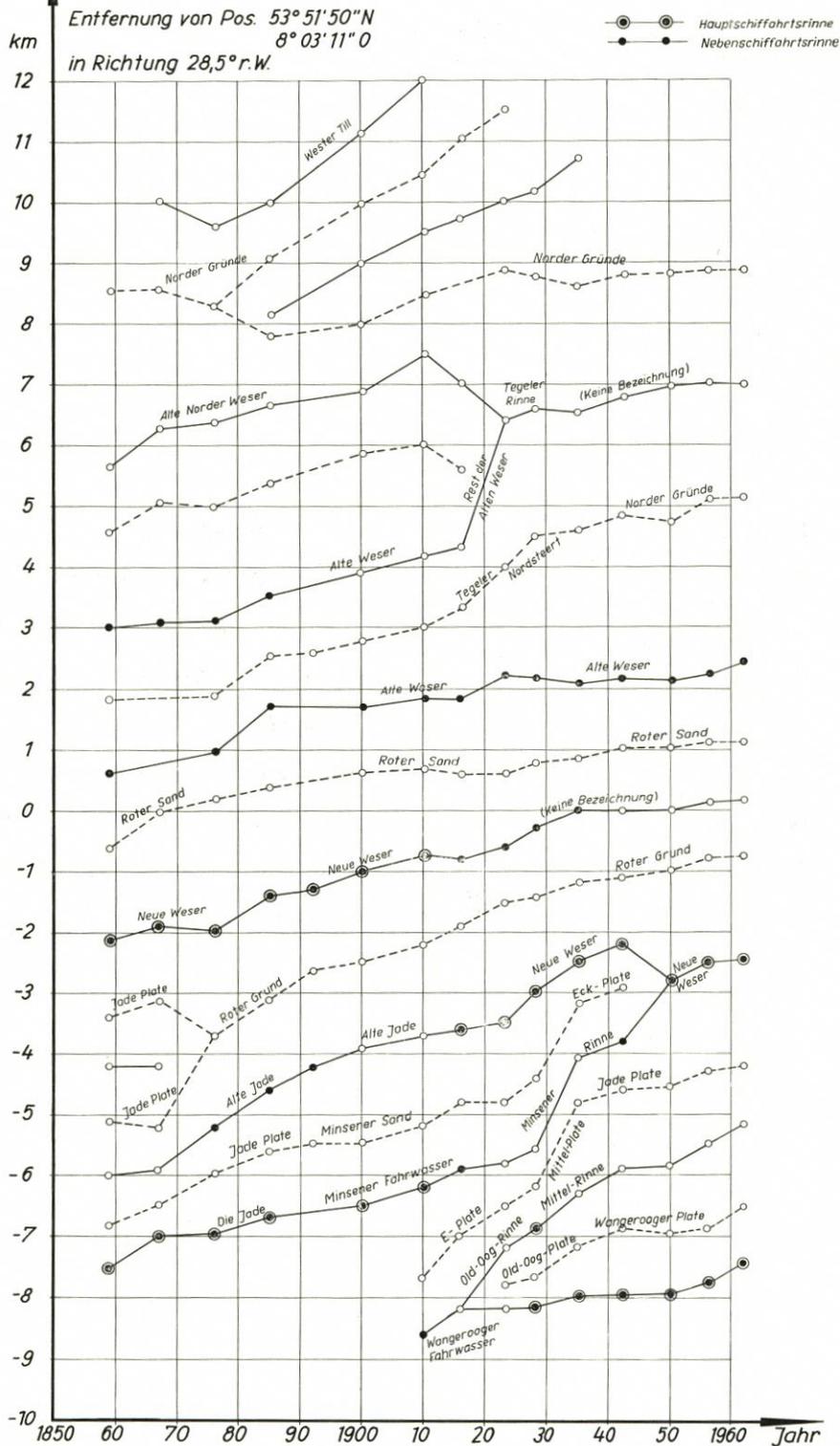


Abb. 3. Wanderung der Platten und Stromrinnen in der Jade-Weser-Mündung

geschwindigkeiten der einzelnen Bänke und Rinnen und wegen ihrer ständig wechselnden Formen keinen Zeitraum festlegen kann, an dessen Beginn und Ende Formen und Lage der großen Sandrücken und der zwischenliegenden Stromrinnen im gesamten Mündungsgebiet gleich oder einigermaßen ähnlich waren.

#### 4. Zusammenfassung

Anhand von Seekarten wird die morphologische Entwicklung des Jade-Weser-Mündungsraumes innerhalb der letzten 100 Jahre untersucht. Die festgestellte und schon früher bekannte Wanderung der großen Sandbänke kann in einem übersichtlichen Zeit-Weg-Diagramm dargestellt werden. Es wird nachgewiesen, daß diese Wanderung wesentlich langsamer vonstatten geht, als bisher angenommen wurde.

#### 5. Schriftenverzeichnis

1. GRIPP, K.: Entstehung und künftige Entwicklung der Deutschen Bucht. Archiv Deutsche Seewarte, Bd. 63, Nr. 2.
2. HENSEN, W.: Die Entwicklung der Fahrwasserhältnisse in der Außenelbe. HTG-Jb., 1939/40.
3. JESSEN, O.: Die Verlegung der Flußmündungen und Gezeitentiefs an der festländischen Nordseeküste in jungalluvialer Zeit. Stuttgart 1922.
4. KRÜGER, W.: Meer und Küste bei Wangeroog und die Kräfte, die auf ihre Gestaltung einwirken. Zeitschrift für Bauwesen, 1911.
5. PLATE, L.: Die Weser als Schifffahrtsstraße im Wandel der Zeiten, T. 3, 1950. Archiv des Wasser- und Schifffahrtsamtes Bremerhaven.
6. PLATE, L.: Forschung als Grundlage für den Ausbau der Außenweser. Deutsche Wasserwirtschaft 1935, H. 4.
7. POPPEN, H.: Die Sandbänke an der Küste der Deutschen Bucht der Nordsee. Annalen der Hydrographie, Bd. 40, Jg. 1912.
8. SIMON, W. G.: Über die Sandwanderung vor der ostfriesischen Küste in Richtung auf die Elbmündung. Abh. und Verh. Naturw. Ver. in Hamburg, N. F. Bd. 5, 1960.
9. Kartenarchiv des Wasser- und Schifffahrtsamtes Bremerhaven.