

BUNDESAMT FÜR  
SEESCHIFFFAHRT  
UND  
HYDROGRAPHIE

**Sturmfluten in der südlichen  
Ostsee  
(westlicher und mittlerer Teil)**

# **Sturmfluten in der südlichen Ostsee (westlicher und mittlerer Teil)**

Autoren:

Marzenna Sztobryn  
Hans-Joachim Stigge †  
Danuta Wielbińska  
Bärbel Weidig  
Ida Stanisławczyk  
Alicja Kańska  
Katarzyna Krzysztofik  
Beata Kowalska  
Beata Letkiewicz  
Monika Mykita

**Berichte des  
Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie  
Nr. 39 / 2005**



## **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>VORWORT</b>	<b>4</b>
<b>1. ALLGEMEINE BESCHREIBUNG VON STURMFLUTEN</b>	<b>5</b>
1.1 Vorhandene wissenschaftliche Arbeiten	5
1.2 Definition einer Sturmflut	5
1.3 Westlicher und mittlerer Teil der südlichen Ostsee	8
1.4 Meteorologische Bedingungen während der Hochwasser von 1951-1999	9
<b>2. LANGZEITVARIABILITÄT DES AUFTRETENS VON STURMFLUTEN</b>	<b>9</b>
2.1 Gumbel-Wahrscheinlichkeiten	9
2.2 Langzeitvariabilität von Sturmfluten	10
2.3 Monatliche Häufigkeitsverteilung von Sturmfluten	11
<b>3. EIGENSCHAFTEN VON STURMFLUTEN</b>	<b>12</b>
3.1 Höchstwasserstände	12
3.2 Täglicher Referenzwasserstandswert	14
3.3 Dauer der Sturmfluten in Świnoujście	15
3.4 Warn- und Alarmwasserstände	15
<b>4. PERIODISCHE SCHWANKUNGEN DES MEERESSPIEGELS</b>	<b>18</b>
<b>5. STURMFLUTAUSLÖSENDE LUFTDRUCKLAGEN UND WINDFELDER</b>	<b>20</b>
5.1 Nördliche Luftströmung über Skandinavien und der Ostsee	20
5.2 Durchzug eines stürmischen Tiefdruckgebietes über die Ostsee	21
5.3 Stürme aus dem östlichen Sektor	22
5.4 Schlussfolgerungen	23
<b>6. DIE GEFÄHRLICHSTEN STURMFLUTEN IM ZEITRAUM VON 1976-2000</b>	<b>24</b>
6.1 Januar 1976	24
6.2 Dezember 1976	26
6.3 Januar 1978	28
6.4 Januar 1983	29
6.5 Februar 1983	32
6.6 November 1983	34
6.7 Oktober 1986	36
6.8 Januar 1987	38
6.9 November 1988	42
6.10 Dezember 1989	43
6.11 Januar 1992	45
6.12 Februar 1993	47
6.13 Januar 1995	50
6.14 April 1995	51
6.15 November 1995	53
6.16 April 1997	55
6.17 Januar 2000	60
<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>64</b>
<b>LITERATUR</b>	<b>65</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>69</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>72</b>
<b>ABKÜRZUNGEN</b>	<b>73</b>
<b>AUTORENVERZEICHNIS</b>	<b>74</b>

## VORWORT

Sowohl an der deutschen als auch an der polnischen Ostseeküste besteht die Gefahr von Sturmfluten. Die vorliegende Monographie über Sturmfluten im westlichen und mittleren Teil der südlichen Ostseeküste entstand auf Anregung der polnisch-deutschen Arbeitsgruppe W-1 auf dem Gebiet der Hydrologie und Hydrogeologie in den deutsch-polnischen Grenzgewässern. Es ist ein Kooperationsprojekt zwischen dem Institut für Meteorologie und Wasserwirtschaft (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Oddział Morski, (IMGW) Gdynia) in Polen und dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) Hamburg - Rostock in Deutschland.

Im ersten Teil der Monographie werden die hydrologischen und meteorologischen Bedingungen beschrieben, die zur Entstehung von Sturmfluten führen, mit Angabe einiger statistischer Daten. Die Analyse basiert auf den Daten von 73 Sturmfluten in den Jahren 1976 bis 2000 sowie auf Zeitreihen, die z.T. bis zum Jahr 1870 zurückreichen.

Der zweite Teil der Monographie dient der Beschreibung der siebzehn gefährlichsten dieser im Zeitraum von 1976 bis 2000 erfassten 73 Sturmfluten. Die Beschreibung der einzelnen Sturmfluten besteht aus den folgenden Teilen:

- a) Entwicklung der meteorologischen Lage, mit Schwerpunkt auf Luftdruck und Windfeldern, die auf das Oberflächenwasser einwirken
- b) Verhalten des Meeresspiegels an bestimmten Messpegeln.

Bei der Erarbeitung der Monographie wurden einschlägige Veröffentlichungen, sowie beim IMGW und BSH archivierte Daten verwendet.

Die Studie wurde durch staatliche Mittel und Eigenmittel finanziert, die IMGW und BSH zur Verfügung standen, sowie durch Mittel, die im Rahmen von EU-Projekten (SELF, ESEAS-RI), NATO (Est.CLG978911) und vom staatlichen Forschungsausschuss bereitgestellt wurden.

Die Beschreibung der meteorologischen Bedingungen während der Sturmfluten von 1976 bis 1994 stützen sich auf Arbeiten von L. Wójcik, Dr. M. Ziemiański, G. Łabieniec und I. Lełątka im Rahmen des SELF-Projekts (EU FP3).

## **1. ALLGEMEINE BESCHREIBUNG VON STURMFLUTEN**

Die vorliegende Monographie über die wichtigsten Sturmfluten im westlichen und mittleren Teil der südlichen Ostseeküste im Zeitraum von 1976 bis 2000 entstand als ein Gemeinschaftsprojekt des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) in Hamburg - Rostock und des Instituts für Meteorologie und Wasserwirtschaft (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Oddział Morski, Gdynia) auf der Grundlage eines deutsch-polnischen Vertrags über die Wasserwirtschaft in den Grenzgewässern. Im Rahmen dieses Vertrags kam es zu einer engen Zusammenarbeit beider Länder und der Bildung der deutsch-polnischen Arbeitsgruppe W-1, die sich mit der Hydrologie und Hydrogeologie in den deutsch-polnischen Grenzgewässern befasst. Dazu gehören der Austausch von hydrologischen Daten, Informationen über Küstenschutzmaßnahmen, Zusammenarbeit der Eisdienste und gemeinsame wissenschaftliche Studien.

Da die meteorologischen und hydrologischen Dienste in Deutschland getrennte Institutionen sind, wurde die Monographie im wesentlichen von der meereskundlichen Abteilung des IMGW erstellt.

### **1.1 Vorhandene wissenschaftliche Arbeiten**

Der Katalog der Sturmfluten an der polnischen Küste im Zeitraum von 1951 bis 1975 (Majewski, Dziadziuszko und Wiśniewska, 1983) nimmt in der ozeanographischen Literatur Polens eine herausragende Stellung ein. Er enthält die an drei polnischen Pegeln (Kołobrzeg, Ustka und Władysławowo) gemessenen Wasserstandsdaten während der 75 wichtigsten Sturmfluten sowie Beschreibungen der atmosphärischen Bedingungen, z.B. Luftdruck, Windgeschwindigkeit und -richtung, wobei die vorliegende Monographie eine Fortsetzung der 1983 veröffentlichten Studie darstellt. Es existiert keine entsprechende Arbeit über Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste. Die einzige vergleichbare Studie ist „Untersuchungen über Sturmflutwetterlagen an der deutschen Ostseeküste“ von Erich Kohlmetz (1964), welche den Zeitraum von 1872 bis 1961 abdeckt.

Die polnische und deutsche Literatur zu diesem Thema enthält ferner eine Arbeit von Wielbińska (1966), in der Beispiele für den dominierenden Einfluss auflandiger Winde auf die Sturmflutentwicklung geschildert werden. Wiśniewska (1978) befasst sich ebenfalls mit den atmosphärischen Zirkulationsmustern, die bei Sturmfluten an der polnischen Küste auftraten. Sowohl die polnische als auch die deutsche wissenschaftliche Literatur in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts enthält eine Reihe von Studien über Sturmfluten, die entweder in Zeitschriften oder in Tagungsbänden veröffentlicht oder intern an Instituten erstellt wurden. Darunter sind die Arbeiten von Kostrzewa et al. (1983), Majewski (1989), Malicki und Wielbińska (1992), Baerens et al. (1994), Hupfer et al. (1994), Neemann (1994), Dziadziuszko und Malicki (1995), Sztobryn et al. (1995), MBLU (1996), Beckmann (1997), Meinke (1998), Sztobryn (2000), Kowalska (2001), Stanisławczyk (2001, 2002), sowie Hupfer et al. (2003). Viele dieser Arbeiten befassen sich mit Physik und Statistik, enthalten jedoch keine detaillierten Beschreibungen einzelner Sturmfluten. Nur einzelne besondere Sturmflutereignisse sind ausführlich dokumentiert worden. Dieser anhaltende Informationsverlust ist erst gegen Ende des 20. Jahrhunderts merklich verringert worden, und zwar nach Einführung der elektronischen Archivierung meteorologischer und hydrologischer Aufzeichnungen. Die vorliegende Arbeit schließt eine Lücke in den vorhandenen Beschreibungen von Ostsee-Sturmfluten.

### **1.2 Definition einer Sturmflut**

Laut Definition (nach "Hydrological Aspects of Combined Effects of Storm Surges and Heavy Rainfall on River Flow, WMO Nr. 704, Genf 1988) ist eine Sturmflut eine schnelle Änderung des Meeresspiegels über den Wasserstand hinaus, der ohne die Einwirkung stürmischer Winde zur selben Zeit und am selben Ort gemessen würde. Im „International Glossary of

Hydrology (WMO, Genf, 1992) wird eine Sturmflut als Erhöhung des Meeresspiegels infolge eines durchziehenden Tiefdruckzentrums definiert.

Die genaue Sturmflutdefinition ist eine Funktion der Wahrscheinlichkeit, jedoch wird an der deutschen Ostseeküste gemeinhin eine Sturmflut als ein Wasserstand von mindestens einem Meter über Normalmittelwasser bezeichnet. Als Pegelstand ausgedrückt sind das mindestens 600 cm. Der Pegelnullpunkt in Schleswig-Holstein und in Polen ist PN = NN-500 cm und in Mecklenburg-Vorpommern PN = HN-514 cm.

In Polen definierten Majewski et al. (1983) eine Sturmflut als ein hydrologisches Ereignis, bei dem der Meeresspiegel 570 cm erreicht oder überschreitet (zum Vergleich: der Alarmpegel in Świnoujście und Kołobrzeg wurde auf 580 cm gesetzt, in Wismar, Warnemünde und Sassnitz auf 600 cm).

Auf dieser Basis wurden 73 der im Zeitraum 1976 – 2000 (Tabelle 1.1.) verzeichneten Sturmfluten ausgewählt, bei denen der Wasserstand in Wismar, Warnemünde und Sassnitz 590 cm erreichte oder überschritt, und in Świnoujście und Kołobrzeg 570 cm. Die Auswahl der Ereignisse, bei denen die Wasserstände in Deutschland diesem Kriterium entsprachen, wurde durch H.-J. Stigge vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) in Rostock vorgenommen, und in Polen durch M. Sztobryn, K. Krzysztofik und A. Kańska.

Tabelle 1.1. Kalender der Sturmfluten im westlichen und mittleren Teil der südlichen Ostseeküste in den Jahren 1976-2000

Nr.	Pegel Świnoujście			Täglicher Referenzwasserstand in cm	Höchstwert der Sturmflut in cm				
	Beginn der Sturmflut	Ende der Sturmflut	Dauer der Sturmflut in Stunden		Wismar	Warnemünde	Sassnitz	Świnoujście	Kołobrzeg
1	03.01.76	04.01.76	39	548	640	630	608	628	616
2	17.01.76	17.01.76	13	550	598	590	599	616	600
3	24.12.76	27.12.76	61	490	611	593	590	605	602
4	03.01.78	05.01.78	39	523	620	602	591	583	602
5	28.11.78	01.12.78	65	554	607	596	595	-	592
6	13.02.79	16.02.79	85	510	663	629	585	570	532
7	11.12.79	12.12.79	43	534	627	611	583	575	563
8	28.11.80	30.11.80	50	527	598	587	582	588	573
9	16.12.80	17.12.80	14	557	581	577	574	570	584
10	05.11.81	09.11.81	93	535	594	588	586	600	594
11	30.11.81	02.12.81	57	552	600	588	581	591	581
12	06.01.82	08.01.82	48	514	616	598	590	585	574
13	19.01.83	20.01.83	34	577	634	617	624	623	640
14	21.01.83	22.01.83	22	553	567	564	577	573	585
15	31.01.83	31.01.83	19	556	572	567	587	580	586
16	02.02.83	05.02.83	24	568	613	608	619	599	627
17	06.02.83	09.02.83	81	553	651	632	605	583	579
18	25.09.83	25.09.83	17	559	600	592	601	591	600
19	27.11.83	29.11.83	39	552	646	634	619	611	612
20	29.11.83	01.12.83	44	561	606	592	578	582	565
21	09.12.83	11.12.83	34	530	613	594	590	601	596
22	09.01.84	09.01.84	22	561	615	602	602	596	595
23	20.01.86	20.01.86	11	537	564	556	561	590	588
24	20.10.86	21.10.86	20	509	619	606	555	590	599
25	19.12.86	21.12.86	46	520	641	627	609	613	612
26	22.12.86	23.12.86	47	545	603	592	577	580	577
27	08.01.87	10.01.87	34	509	611	600	605	612	609
28	11.01.87	13.01.87	82	519	673	642	614	599	552

29	02.11.88	04.11.88	48	496	630	616	610	582	590
30	29.11.88	01.12.88	38	522	647	628	620	621	642
31	14.12.88	15.12.88	39	536	611	600	583	597	600
32	19.12.88	20.12.88	23	534	620	607	594	604	604
33	24.12.88	25.12.88	21	554	585	576	572	593	597
34	31.12.88	01.01.89	21	509	597	580	581	585	587
35	02.10.89	04.10.89	44	519	610	601	576	600	592
36	15.11.89	16.11.89	38	515	628	612	584	580	584
37	26.11.89	27.11.89	23	512	581	575	565	570	571
38	27.11.89	28.11.89	23	515	622	604	603	605	609
39	07.12.89	07.12.89	26	513	633	615	614	605	623
40	02.03.90	03.03.90	25	564	584	582	577	583	588
41	12.03.90	14.03.90	33	551	570	568	580	584	588
42	24.12.91	25.12.91	40	527	581	568	575	583	590
43	27.12.91	28.12.91	24	547	617	599	589	586	593
44	30.12.91	31.12.91	18	549	565	555	573	571	582
45	12.01.92	13.01.92	27	541	566	558	590	573	587
46	17.01.92	18.01.92	27	532	613	598	636	616	640
47	16.02.92	17.02.92	33	535	624	604	585	580	580
48	23.01.93	23.01.93	12	550	583	573	563	578	586
49	25.01.93	26.01.93	17	570	595	589	575	603	615
50	19.02.93	20.02.93	26	521	585	584	572	587	571
51	21.02.93	22.02.93	67	520	656	631	624	641	622
52	25.12.93	26.12.93	34	535	616	605	579	573	566
53	28.01.94	29.01.94	37	540	592	584	566	577	576
54	02.01.95	03.01.95	51	541	642	629	615	620	616
55	11.01.95	13.01.95	60	528	610	592	575	581	578
56	27.03.95	28.03.95	19	552	602	597	575	577	581
57	07.04.95	09.04.95	38	541	629	618	608	608	620
58	30.08.95	01.09.95	32	544	613	599	581	602	584
59	02.11.95	05.11.95	51	536	702	660	637	661	640
60	06.11.95	07.11.95	26	524	606	586	585	571	572
61	17.11.95	18.11.95	26	531	590	580	573	571	577
62	11.04.97	13.04.97	117	521	620	609	604	600	612
63	02.10.97	03.10.97	16	546	586	579	560	574	576
64	03.11.97	03.11.97	16	531	610	591	593	576	584
65	20.01.98	21.01.98	40	524	598	593	579	583	582
66	30.01.98	01.02.98	41	503	623	608	580	585	584
67	16.02.98	17.02.98	27	525	595	576	570	582	581
68	05.03.98	06.03.98	11	542	577	583	575	594	582
69	06.11.98	07.11.98	26	536	556	554	552	576	592
70	05.02.99	07.02.99	57	519	580	578	575	588	580
71	24.02.99	25.02.99	20	550	570	571	564	576	582
72	15.12.99	16.12.99	28	553	583	576	571	572	578
73	17.01.00	22.01.00	37	537	608	608	591	600	601

\* Die Sturmflut im Januar 1987 wird in Kapitel 6 als Sturmflut mit zwei Maxima beschrieben.

Die von Majewski (1989) gelieferte Definition einer Sturmflut unterstreicht zwar die von Sturmfluten ausgehenden Gefahren, nennt allerdings nicht die Wasserstände, die an der Küste „ohne die Einwirkung stürmischer Winde zur selben Zeit und am selben Ort gemessen würden“. Daher wird seit den 1990er Jahren zusätzlich ein spezieller Indikator, der „tägliche

Referenzwasserstand“ (Sztobryn, Kańska, Krzysztofik, Kowalska), zur Sturmflutdefinition vom hydrologischen Vorhersagedienst der meereskundlichen Abteilung des IMGW, Gdynia, herangezogen. Kapitel 3.2. enthält eine Beschreibung dieses eindimensionalen Parameters in cm.

Mit Hilfe des Parameters können Beginn und voraussichtliches Ende einer Sturmflut, d.h. ihre Dauer, bestimmt werden, was bei Küstenschutzmaßnahmen von Nutzen ist. Bei den in der vorliegenden Monographie analysierten 73 Sturmfluten wurde der Zeitpunkt, an dem der Meeresspiegel den obigen Parameter überschritt, als Beginn der Sturmflut definiert.

### **1.3 Westlicher und mittlerer Teil der südlichen Ostsee**

Zweck der vorliegenden Monographie ist eine Beschreibung der gefährlichsten Sturmfluten, die bisher im westlichen und mittleren Teil der südlichen Ostsee beobachtet worden sind (Abb. 1.1.). Für den Bereich der mittleren und östlichen deutschen Ostseeküste wurden die Wasserstände an den Pegeln in Wismar, Warnemünde und Sassnitz für die Auswertung herangezogen und für den westlichen Teil der polnischen Ostseeküste die Pegel in Świnoujście und Kołobrzeg.



Abb. 1.1. Westlicher und mittlerer Teil der südlichen Ostseeküste

Die deutsche Ostseeküste westlich der Ostsee-Längsachse wird aufgrund der geringen Beckentiefe und stark gegliederten Küstenlinie durch relativ hohe Sturmfluten gefährdet, vor allem bei Stürmen aus Nordost (Stigge, 1994).

Die westlichen Küstengewässer Polens sind entlang der gesamten Küste flach. Insbesondere in der Pommerschen Bucht erstreckt sich ein Gebiet mit Untiefen von weniger als 20 m weit nach Norden hinaus. Auch weiter westlich befinden sich Flachwasser. Erhebliche Wasserstandsschwankungen treten in solchen Flachwassergebieten häufig auf.

## **1.4 Meteorologische Bedingungen während der Hochwasser von 1951 – 1999**

An der südlichen Ostseeküste sind Sturmfluten bei Durchzug eines Tiefdruckgebiets mit einem Frontensystem am wahrscheinlichsten. Die gefährlichsten Stürme des 20. Jahrhunderts, von denen jeweils die gesamte Südküste der Ostsee betroffen war, traten in der Regel in Folge eines Sturmtiefs auf, das von der Norwegischen See in südöstlicher Richtung über Skandinavien und die Ostsee zog.

Sturmfluten werden durch stürmische Winde aus nordwestlichen bis nordöstlichen Richtungen ausgelöst, die hinter solchen Fronten entstehen. Sturmfluten dieses Typs können wenige Stunden, aber auch Tage dauern. Überschneiden sich solche Sturmfluten mit einem bereits bestehenden hohen Wasserstand aufgrund eines erheblichen Zustroms aus der Nordsee, so kann sich daraus ein sehr hoher Wasserstand mit z.T. extremen Werten ergeben. Manchmal steigt der Wasserstand gleichzeitig entlang der gesamten Küstenlinie, häufiger ist allerdings ein Anstieg an einem Teil der Küste oder ein die verschiedenen Küstenabschnitte nacheinander betreffender Anstieg. Schwere Stürme von langer Dauer führen in der Regel zu einem erheblichen Anstieg des Wasserstandes im gesamten Verlauf der Küste.

## **2. LANGZEITVARIABILITÄT DES AUFTRETENS VON STURMFLUTEN**

Die Langzeitvariabilität des Auftretens von Sturmfluten und deren Jahreshäufigkeitsverteilung liefern wesentliche Informationen über dieses hydrologische Ereignis.

### **2.1 Gumbel-Wahrscheinlichkeiten**

Einige Grundlagen dieser statistischen Methode sind von Stigge (1995) beschrieben worden. Die folgende Tabelle ermöglicht einen Vergleich zwischen den Flutschutz-Wasserständen (Bemessungshochwasserstand – Normalmittelwasser) und einigen Hochwasserständen mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit des Unterschreitens von P oder der Wiederkehrzeit T in Jahren.

Tabelle 2.1. Einige Hochwasserstände in m über Normalmittelwasser mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit des Unterschreitens von P oder der Wiederkehrzeit T in Jahren; 2000 für deutsche Küstenstädte berechnet

Pegel / P	0.80	0.90	0.95	0.98	0.99	Bemessungs- hochwasser- stand
Name / T in Jahren	5	10	20	50	100	
Flensburg	1.45	1.63	1.81	2.04	2.21	3.50
Schleimünde	1.38	1.54	1.70	1.89	2.04	3.70
Eckernförde	1.43	1.63	1.82	2.07	2.25	3.60
Kiel	1.45	1.65	1.84	2.08	2.26	3.40
Neustadt	1.38	1.57	1.75	1.99	2.16	3.30
Travemünde	1.50	1.70	1.89	2.14	2.32	3.70
Wismar	1.49	1.68	1.86	2.09	2.26	3.20
Warnemünde	1.28	1.44	1.60	1.80	1.95	2.85
Stralsund	1.17	1.31	1.45	1.63	1.77	2.70
Greifswald	1.34	1.50	1.65	1.85	2.00	3.00
Świnoujście	1.16	1.31	1.46	1.65	1.80	0.80
Kołobrzeg	1.13	1.26	1.39	1.54	1.66	1.10

Die obigen Pegelstationen sind von West nach Ost aufgelistet. Die höchsten Wasserstände treten in Buchten auf, die nach Nordosten hin offen sind.

## 2.2 Langzeitvariabilität von Sturmfluten

Wegen der starken Häufigkeitsschwankungen von Sturmfluten muss bei der Darstellung der höchsten Sturmfluten die lineare Zeitskala komprimiert werden. Abb. 2.1. zeigt die Höchstwasserstände der höchsten Sturmfluten auf halbjähriger Basis (Januar-Juli / August-Dezember) an der Pegelstation Warnemünde im Zeitraum zwischen 1870 und 2000.

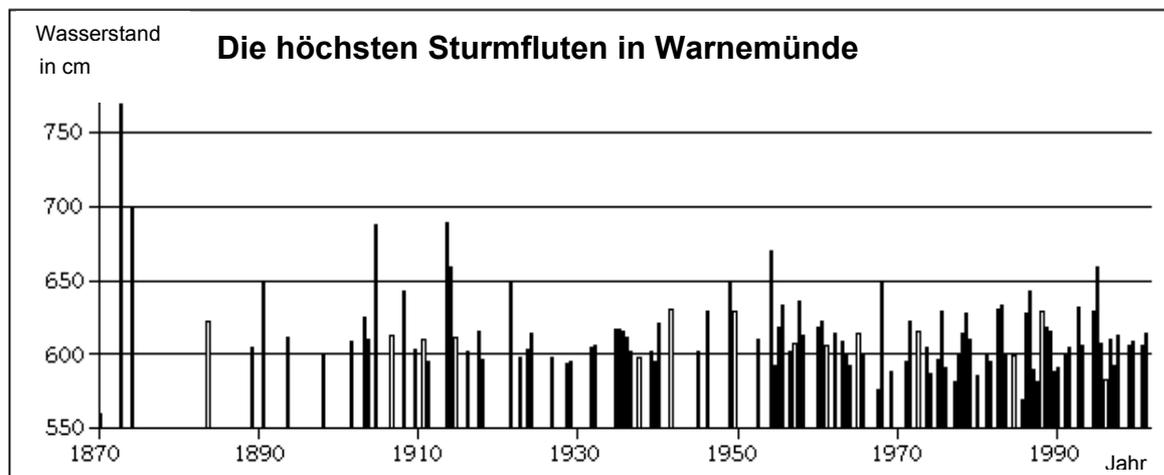


Abb. 2.1. Höchstwasserstände der höchsten Sturmfluten auf halbjähriger Basis 1870 –2000

Die Lücken im 19. Jahrhundert sind auf fehlende Daten zurückzuführen. Für das 20. Jahrhundert sind vollständige Daten vorhanden. Die verifizierten Daten für den westlichen Teil der Küste decken den Zeitraum von 1950 – 2000 ab.

Abb. 2.2. zeigt die saisonale Verteilung der Anzahl der Sturmfluten in den Jahren 1951 – 2000, jeweils ausgedrückt in Prozent der Gesamtanzahl der Ereignisse in dem betreffenden Jahr. Eine Saison dauert von August des vorhergehenden Jahres bis zum Juli des betreffenden Jahres. Die mittlere jährliche (saisonale) Anzahl der Sturmfluten in diesem Zeitraum von 50 Jahren lag etwas über 2. Die Saison mit den meisten Sturmfluten – 7 Ereignisse – war 1989/90. 5 Sturmfluten wurden pro Saison in den Jahren 1973/74, 1988/89, 1991/92 und 1997/98 verzeichnet. In 8 Saisons trat keine einzige Sturmflut auf (1956/57, 1965/66, 1966/67, 1968/69, 1969/70, 1984/85, 1987/88 und 1990/91).

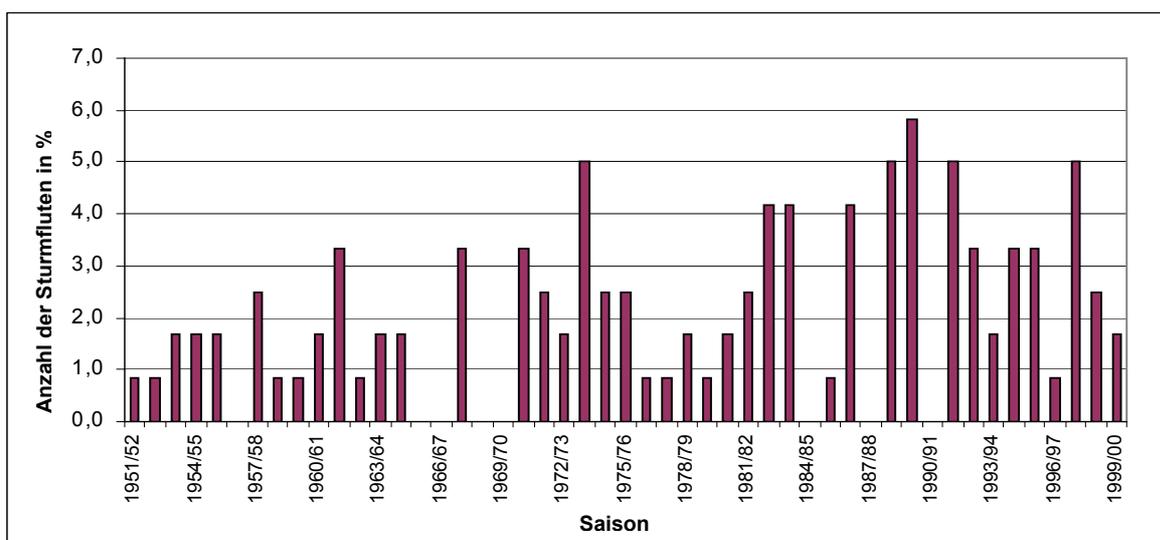


Abb. 2.2. Anzahl der Sturmfluten pro Saison in Świnoujście von 1950 bis 2000 in % der Gesamtanzahl der Ereignisse in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Sturmfluten war in den 1970er Jahren am höchsten (mit mindestens einem Sturm pro Saison; Wahrscheinlichkeit = 100 %) und am niedrigsten in den 1960er Jahren (Wahrscheinlichkeit = 60%). Seit Anfang der verifizierten Beobachtungsreihe, d.h. seit 1950/51, hat sich die Anzahl der Sturmfluten pro Dekade von 13 in den 1950er Jahren über 15 und 22 in den beiden folgenden Dekaden auf 34 in den 1980er Jahren erhöht. Die Anzahl an Sturmfluten in der letzten Dekade des 20. Jahrhunderts war mit 32 kaum niedriger. Das erlaubt den Schluss, dass sich Ende des Jahrhunderts die Gefahr einer Sturmflut im Vergleich zum mittleren Zeitraum fast verdoppelt hat.

### 2.3 Monatliche Häufigkeitsverteilung von Sturmfluten

Zwei Faktoren sind im wesentlichen für das Auftreten einer Sturmflut ausschlaggebend: ein hoher täglicher Referenzwasserstand an einer bestimmten Küste und starke, in der Regel stürmische auflandige Winde. Stürmische Wetterlagen treten am häufigsten in der kalten Jahreszeit von November (manchmal August) bis Februar (manchmal April) auf.

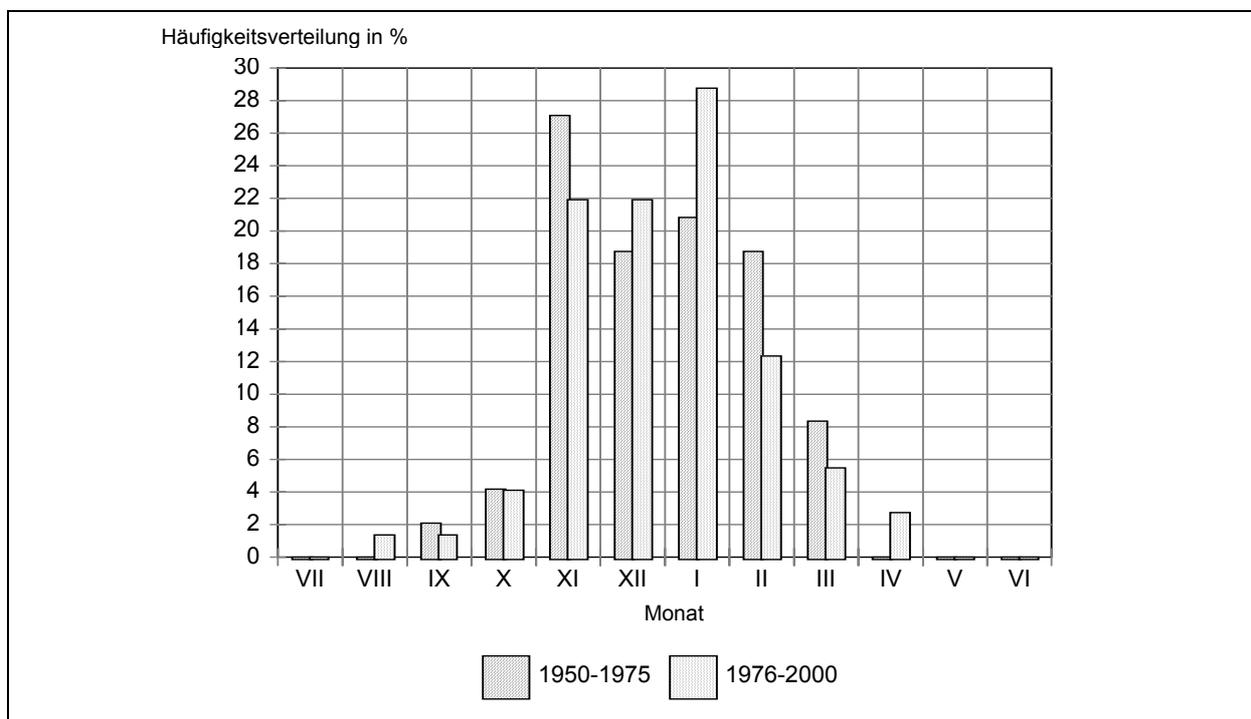


Abb. 2.3. Mittlere monatliche Häufigkeitsverteilung von Sturmfluten in zwei Zeiträumen: 1950 – 1975 und 1976 – 2000

In den beiden betrachteten Zeiträumen von 1950 – 1975 und 1976 – 2000 unterscheiden sich die mittleren jährlichen (jahreszeitlichen) Verteilungen nur in dem Monat des häufigsten Auftretens: in den ersten 25 Jahren traten Sturmfluten am häufigsten im November auf (ca. 27 % aller Ereignisse), während das Maximum sich im Zeitraum von 1976 – 2000 auf den Januar verlagerte, mit 29 % aller Sturmfluten. Im Zeitraum von 1950 – 1975 war die Sturmflutsaison kürzer. Die ersten Stürme traten gewöhnlich erst im September auf (ca. 2 %), und die letzten im März, mit einer Häufigkeit von 8 %. Die Sturmflutsaison im Zeitraum von 1976 – 2000 dauerte von den letzten Augusttagen (mit einer Häufigkeit von nur 1 %) bis April (ca. 3 % der jährlichen Sturmfluten).

Die Abwesenheit dieser Ereignisse im Mai, Juni und Juli ist typisch für die monatliche Häufigkeitsverteilung von Sturmfluten.

### 3. EIGENSCHAFTEN VON STURMFLUTEN

Einige charakteristische Parameter (jeweils für eine bestimmte Sturmflut berechnet) definieren die Eigenschaften der Sturmfluten, die unsere Küsten bedrohen und bilden die Grundlage für die in Kapitel 1 gegebene Sturmflutdefinition.

Zu diesen Parametern gehört der während der Sturmflut aufgezeichnete Höchstwasserstand sowie der mittlere tägliche Referenzwasserstandsindikator - ein sehr wichtiger Parameter bei den ständigen operationellen Vorhersagen. Letzterer basiert auf dem Überschuss an Oberflächenwasser (über dem mehrjährigen mittleren Wasserstand), der sich vor der südlichen Ostseeküste gebildet hat. Weitere wichtige Parameter sind die Dauer der Hochstände sowie die Zeit, während der die Warn- und Alarmwasserstände (560 cm bzw. 580 cm in Świnoujście) überschritten werden.

#### 3.1 Höchstwasserstände

Die höchsten Wasserstände in dem untersuchten Gebiet wurden bei Sturmfluten registriert; der Wasserstand von 700 cm wurde im November 1995 an der Pegelstation Wismar mit 702 cm überschritten. Während desselben Sturms wurden aus Świnoujście (661 cm) und Warnemünde (660 cm) die höchsten Wasserstände im Zeitraum von 1976 – 2000 gemeldet. Dagegen wurde in Sassnitz der höchste Wasserstand im Januar 1992 mit 636 cm gemessen und in Kołobrzeg im November 1988 (642 cm).

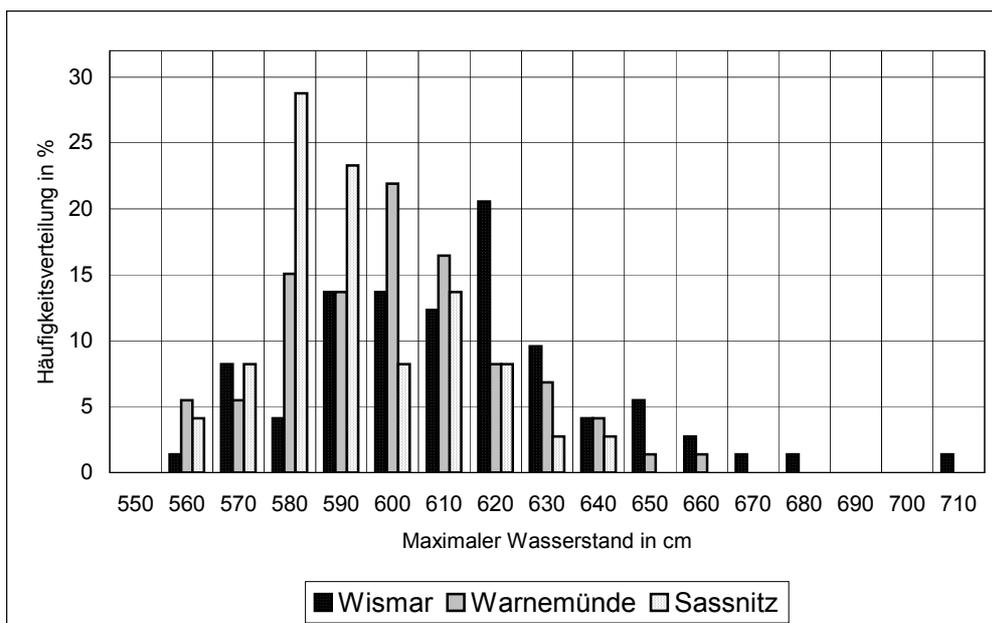


Abb. 3.1. Häufigkeitsverteilung der Höchstwasserstände bei Sturmfluten in Wismar, Warnemünde und Sassnitz von 1976 – 2000

Abb. 3.1. zeigt die Häufigkeitsverteilung der Höchstwasserstände (Analyse der Wasserstände an den deutschen Pegelstationen von 1976 – 2000). Die Höchstwasserstände an der Station Wismar bei Sturmfluten bewegten sich am häufigsten (ca. 20 %) im Bereich von 610 – 620 cm. In Warnemünde lagen ca. 21 % der Höchstwasserstände im Bereich von 590 – 600 cm und in Sassnitz 52,1 % zwischen 570 cm und 590 cm.

Die Häufigkeitsverteilung der Höchstwasserstände in Świnoujście und Kołobrzeg bei Sturmfluten in den Jahren von 1976 – 2000 im Vergleich mit dem Zeitraum von 1950 – 1975 ist in Abb. 3.2. und 3.3. dargestellt. Sowohl im Zeitraum 1950 – 1975 als auch in der Zeit von 1976 – 2000 lagen die Höchstwasserstände meistens bei 570 – 590 cm; in Świnoujście lag der Anteil im ersten Zeitraum bei 48 % und im zweiten Zeitraum bei 52 %, verglichen mit

53 % bzw. 49 % in Kołobrzeg. In Kołobrzeg ist allerdings deutlich eine Änderung (von 19 % zu 30 %) im Auftreten der Höchstwasserstände zu erkennen – vom Bereich 570 – 580 cm zum Bereich 580 – 590 cm.

An diesen beiden polnischen Pegelstationen wurde auch eine Zunahme sehr hoher Sturmfluten (mit Höchstwasserständen über 640 cm) beobachtet. In Świnoujście war eine Abnahme der Anzahl der Sturmfluten mit Höchstwasserständen von ca. 570 cm in den letzten 25 Jahren des 20. Jahrhunderts zu verzeichnen.

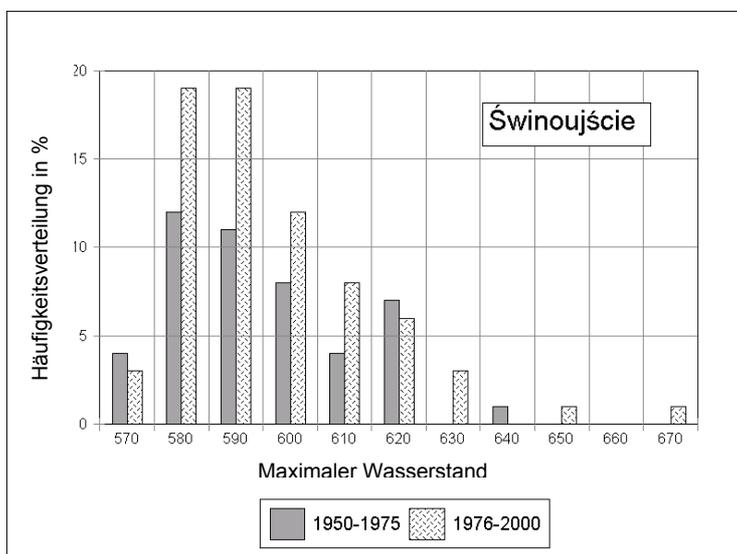


Abb. 3.2. Häufigkeitsverteilung der Höchstwasserstände in Świnoujście bei Sturmfluten von 1950 – 1975 und 1976 – 2000

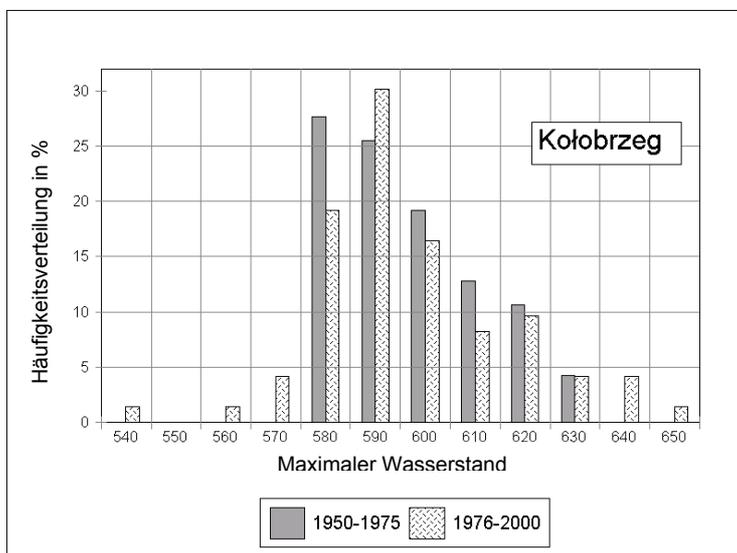


Abb. 3.3. Häufigkeitsverteilung der Höchstwasserstände in Kołobrzeg bei Sturmfluten von 1950 – 1975 und 1976 – 2000

### 3.2 Täglicher Referenzwasserstandswert

Dieser eindimensionale Parameter in cm stellt den Einfluss des tatsächlich gemittelten Wasserstandes der gesamten Ostsee auf die Wasserstandswerte entlang der südlichen Ostseeküste dar. Die Formel dieses Parameters basiert auf den Luftdruckunterschieden auf bestimmten Querschnitten durch die Ostsee, auf Temperaturunterschieden der Luft und des Oberflächenwassers, Windrichtungen und Jahreszeit (kalt, warm). Die Formel wurde Ende der 1960er Jahre empirisch von Maliński entwickelt. Der Wert dieses Parameters wird täglich vom hydrologischen Vorhersagedienst des IMGW Gdynia berechnet. Der Parameter dient u.a. der Definition des Sturmflutbeginns. Tabelle 1.1. enthält die täglichen Referenzwasserstände für sämtliche untersuchten Sturmfluten und Abb. 3.4. ihre Häufigkeitsverteilung. Eine Analyse der Höchst- und Mittelwerte dieses Parameters (Kowalska, 1997) ergibt eine Erhöhung des Mittelwerts im Jahr 1980, was vermutlich auf die vorherrschenden westlichen Luftströmungen in dieser Dekade zurückzuführen ist. Die Höchstwerte der täglichen Referenzwasserstände traten im Herbst/Winter auf. Bei fast 50 % der Sturmfluten erreichte der Parameter 521 bis 550 cm. Bei 23 % der Sturmfluten schwankte er zwischen 491 und 520 cm, und ein Parameter unter 490 cm wurde nur bei 3 % der Sturmfluten festgestellt. Niedrige Werte des täglichen Referenzwasserstandes (unter 510 cm) während einer Sturmflut können ein Hinweis auf eine sehr hohe Dynamik der Sturmflut sein und insbesondere auf einen raschen Anstieg des hindeuten. Andererseits deuten sehr hohe Werte dieses Parametes (z.B. über 550 cm) noch vor Erreichen des Höchststands darauf hin, dass im Bereich der Pegelstation nur sehr schwacher Wind herrschte oder es völlig windstill war.

Ein Vergleich der beiden Zeiträume 1950 – 1975 und 1976 – 2000 zeigt, dass die Sturmfluten im zweiten Zeitraum bei täglichen Referenzwasserständen von 511 – 530 cm bzw. 551 – 560 cm und dem Extremwert des Parameters, d.h. über 560 cm häufiger waren. Der Wert von 555 cm wurde nur bei 5% aller Sturmflutereignisse überschritten Luftdruckes und Windfeldes.

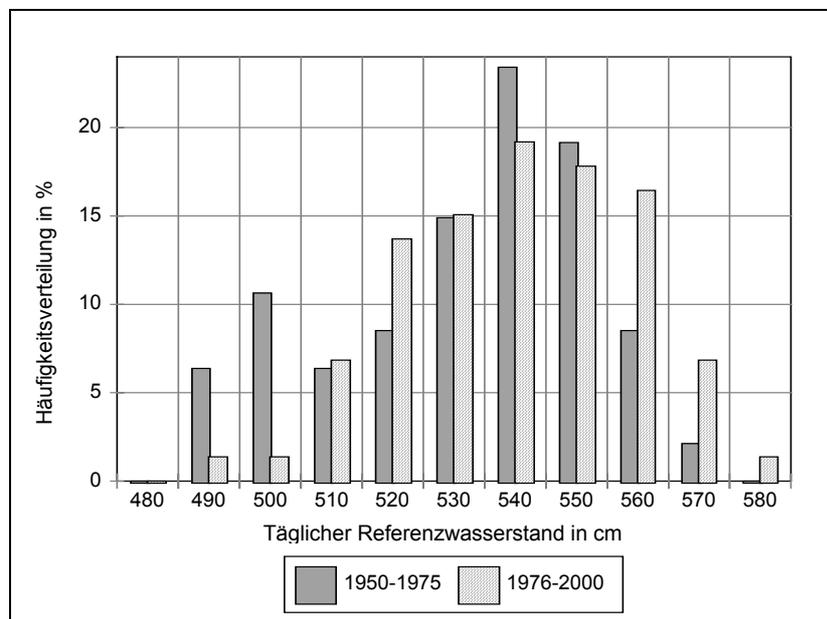


Abb. 3.4. Häufigkeitsverteilung der täglichen Wasserstandswerte in cm an den Sturmfluttagen

### 3.3 Dauer der Sturmfluten in Świnoujście

Um die Dauer einer Sturmflut bestimmen zu können, benötigt man zwei Zeitpunkte: ihren Beginn und ihr Ende. Man kann z.B. den Wendepunkt der Tidekurve als Anfang der Sturmflut betrachten. Bei den regelmäßigen Ostseevorhersagen kann dieser Punkt allerdings nicht (in Echtzeit) vorhergesagt werden. Daher wird in der Praxis ein täglicher Referenzwasserstandsindikator-Parameter für die Berechnung der Sturmflutdauer verwendet. Die Stunde, in der der Meeresspiegel über den täglichen Referenzwasserstand steigt, gilt als Beginn der Sturmflut, und die Stunde, in der er unter den Referenzwasserstand fällt (nach Erreichen des Höchstwasserstandes) als ihr Ende.

In Świnoujście waren Sturmfluten mit einer Dauer von 21 – 30 Stunden bzw. 31 – 40 Stunden am häufigsten (26 % bzw. 25 %), d.h. in der Hälfte aller Fälle. 19,2 % aller Sturmfluten dauerten 11 – 20 Stunden, und ca. 12 % der Sturmfluten lagen im Bereich von 41 – 50 Stunden. Nur 10,9 % der Sturmfluten dauerten 51 – 70 Stunden und 6,9 % über 70 Stunden. In der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts dauerten die längsten Sturmfluten in Świnoujście über 80 Stunden. Sie ereigneten sich im April 1997 (117 Stunden), Februar 1979 (85 Stunden), November 1981 (93 Stunden) und Januar 1987 (82 Stunden).

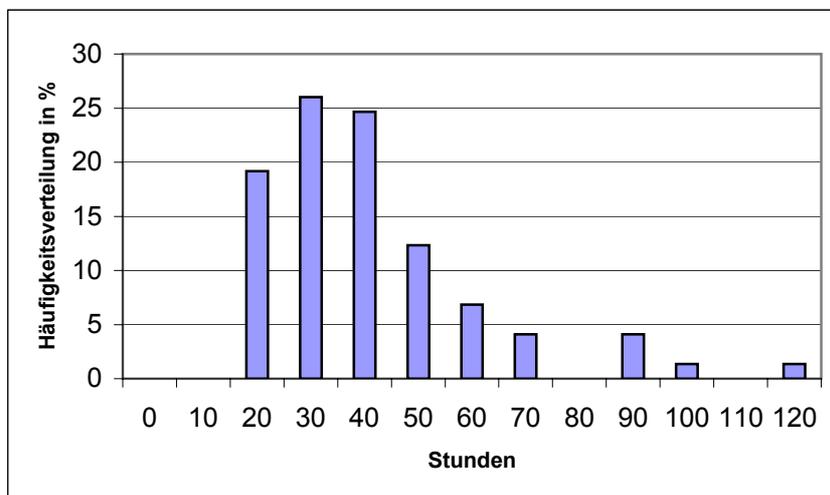


Abb. 3.5. Dauer der Sturmfluten in Świnoujście – Häufigkeitsverteilung

### 3.4 Warn- und Alarmwasserstände

Bei der Festlegung der Warn- und Alarmwasserstände an einem bestimmten Küstenabschnitt werden die Höhe gefährlicher Sturmfluten und die Häufigkeit ihres Auftretens berücksichtigt, sowie die Beschaffenheit der Küstenlinie und vorhandene Küstenschutzanlagen wie z.B. Deiche. Besteht die Gefahr einer Sturmflut, so müssen die polnischen hydrologischen Vorhersagedienste die zuständigen Behörden darüber informieren, wie lange der gefährliche Wasserstand oberhalb des Warnwasserstandes und insbesondere des Alarmwasserstandes vermutlich andauern wird. Diese Information ist für die Organisation von Schutzmaßnahmen unerlässlich.

An den Küsten bei Świnoujście sind die Warn- und Alarmwasserstände auf 560 cm bzw. 580 cm festgesetzt worden. Höhere Wasserstände von 600 cm wurden für die Küsten zwischen Sassnitz und Wismar festgesetzt.

Der Zeitraum, in dem diese erhöhten Wasserstände überschritten wurden, ist in Stunden als Jahressumme für jede Sturmsaison angegeben (Tabelle 3.4.).

Tabelle 3.4. Anzahl der Stunden pro Saison im Zeitraum 1976 – 2000, in denen Wasserstände von 560 cm bzw. 580 cm erreicht oder überschritten wurden

Saison	Wismar		Warnemünde		Sassnitz		Świnoujście		Kołobrzeg	
	≥560	≥580	≥560	≥580	≥560	≥580	≥560	≥580	≥560	≥580
1975/76	126	39	116	35	98	11	178	36	279	54
1976/77	50	8	39	5	16	2	57	16	22	9
1977/78	79	15	62	11	65	12	81	22	150	28
1978/79	243	155	215	110	106	43	56	0	126	43
1979/80	30	19	27	17	28	1	35	0	23	0
1980/81	127	44	148	26	133	2	206	9	226	22
1981/82	163	62	183	52	198	20	349	81	361	89
1982/83	136	56	140	57	244	74	262	73	347	91
1983/84	145	65	129	60	155	51	149	61	277	56
1984/85	63	28	48	17	16	0	39	6	23	1
1985/86	73	7	48	0	34	0	45	9	64	9
1986/87	258	130	225	102	177	62	177	57	156	35
1987/88	154	54	90	19	24	1	23	0	32	0
1988/89	204	76	142	56	86	28	151	60	188	79
1989/90	231	103	184	70	127	20	232	57	286	84
1990/91	141	19	57	13	24	5	22	7	21	5
1991/92	142	57	94	36	129	27	112	28	196	59
1992/93	94	33	79	29	71	15	219	45	206	61
1993/94	97	31	54	19	50	0	53	0	45	0
1994/95	138	70	109	51	84	28	168	52	193	61
1995/96	200	94	155	69	81	29	128	45	105	47
1996/97	97	32	77	16	36	9	56	13	60	22
1997/98	144	54	124	42	59	3	112	12	166	18
1998/99	66	5	39	0	15	0	39	2	150	19
1999/00	168	61	159	44	81	17	183	33	258	42

Die höchsten Jahressummen pro Saison wurden 1981/82 im östlichen Teil der Küste verzeichnet: 361 Stunden mit Pegeln von 560 cm und darüber in Kołobrzeg und 349 Stunden in Świnoujście. Im westlichen Abschnitt der Küste wurden die höchsten Jahressummen in der Saison 1986/87 erreicht: die Anzahl der Stunden, in denen der Wasserstand über 560 cm lag, betrug 258 in Wismar und 225 in Warnemünde. In Sassnitz wurden die längsten Perioden mit Pegelständen von 560 cm und darüber in der Saison 1982/83 registriert (244 Stunden).

Im westlichen Teil der Küste wurden die höchsten Jahressummen mit Pegelständen über 580 cm in der Saison 1978/79 beobachtet (155 Stunden in Wismar und 110 Stunden in Warnemünde). In Sassnitz und Kołobrzeg (74 bzw. 91 Stunden mit Pegelständen von 580 cm und darüber) war 1982/83 die gefährlichste Saison.

Nur in 4 der 25 untersuchten Zeiträume stiegen die Pegel zu keinem Zeitpunkt über die 580-cm-Marke.

Die letzte Dekade des vergangenen Jahrhunderts war ähnlich hinsichtlich der Perioden, in denen definierte Sturmflutwasserstände während der Sturmsaison in aufeinanderfolgenden Jahren und an bestimmten Pegelstationen überschritten wurden. Allerdings wurden im mittleren Teil der südlichen Ostseeküste etwas längere Perioden mit Wasserständen über 560 cm verzeichnet als im westlichen Teil.

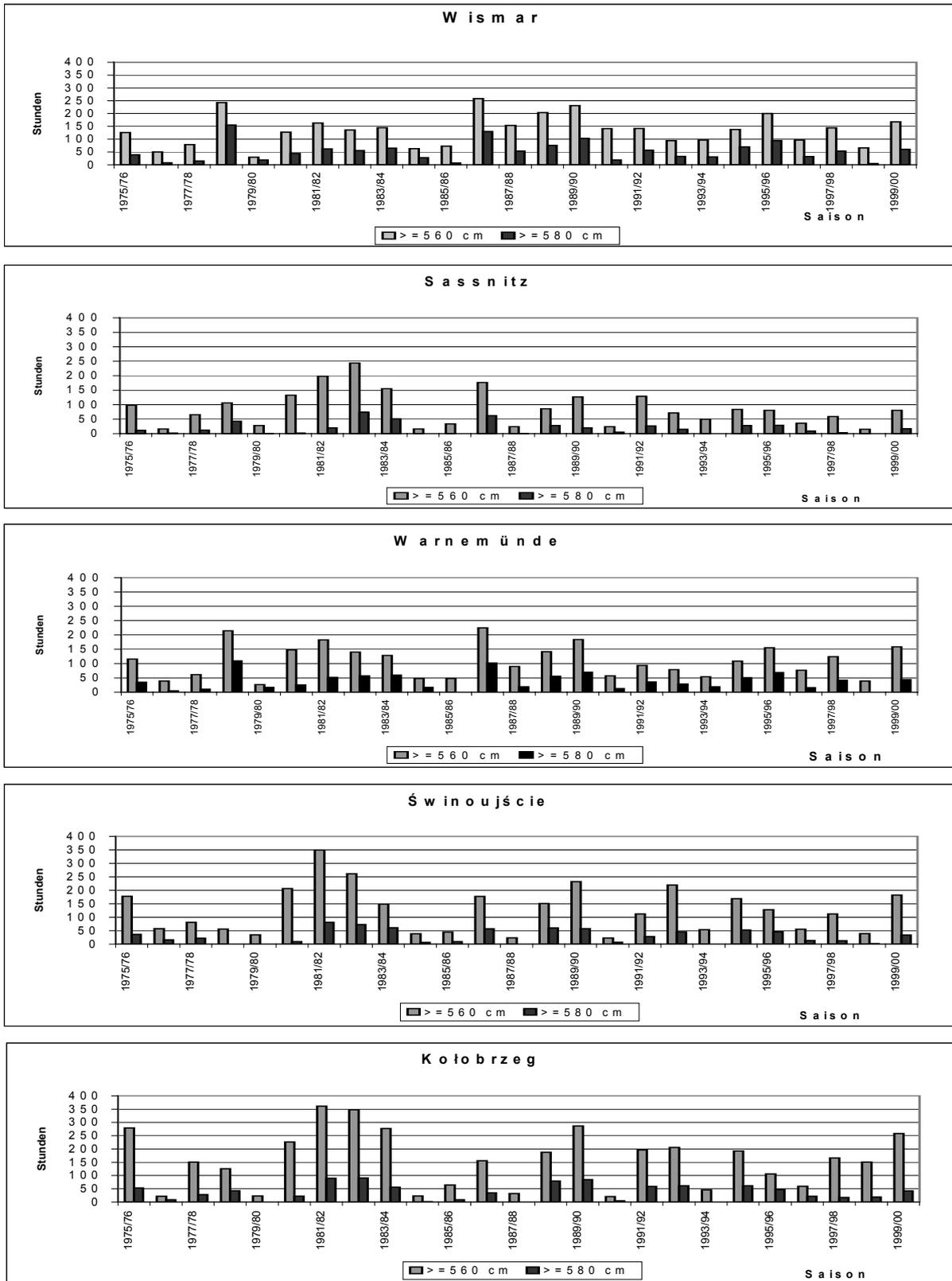


Abb. 3.6. Anzahl der Stunden mit Wasserständen von 560 cm bzw. 580 cm oder darüber in der Sturmsaison bestimmter Jahre. Eine Sturmsaison dauert von August eines Jahres bis zum Juli des darauf folgenden Jahres.

#### 4. PERIODISCHE SCHWANKUNGEN DES MEERESSPIEGELS

Die deutsche Ostseeküste westlich der Ostsee-Längsachse ist für relativ hohe Sturmfluten anfällig, vor allem bei Stürmen aus Nordost (Stigge, 1994). Aufgrund der wirtschaftlichen Bedeutung dieses Gebietes sind sowohl ein systematischer Küstenschutz als auch ein operationeller Wasserstandsvorhersagedienst erforderlich. Die Auslegung von Küstenschutzbauwerken wie z.B. Deichen erfolgt auf der Grundlage der lokalen Sturmflutwahrscheinlichkeit. Die meteorologischen Bedingungen, die an der Küste von Pommern zu einer Sturmflut von 1 m führen, können an der Küste von Schleswig-Holstein eine Sturmflut von 1,5 m zur Folge haben. Dies ist bei der historischen Entwicklung der Küstenschutzbauwerke berücksichtigt worden. Die weiter östlich gelegenen Deiche sind meistens niedriger als im westlichen Teil der deutschen Ostseeküste. Extreme Schwankungen des Wasserstandes sind nicht nur Folge von Wettereinflüssen, sondern auch von Eigenschwingungen des gesamten Wasserkörpers der Ostsee (mit Perioden von 27,5 – 39 Stunden) oder Schwingungen in Buchten oder Flussmündungen mit einer charakteristischen Periode von wenigen Stunden. Abb. 4.1. zeigt eine Wasserstandsschwankung um ca. 3 m innerhalb von 24 Stunden an der Pegelstation Kiel-Holtenau. Die Schwankung wurde von einer Änderung der Windrichtung in der zentralen Ostsee von NO nach SW ausgelöst. Abb. 4.2. zeigt Wasserstandsschwankungen von ca. einem halben Meter pro Stunde in der Warnow-Mündung in Rostock.

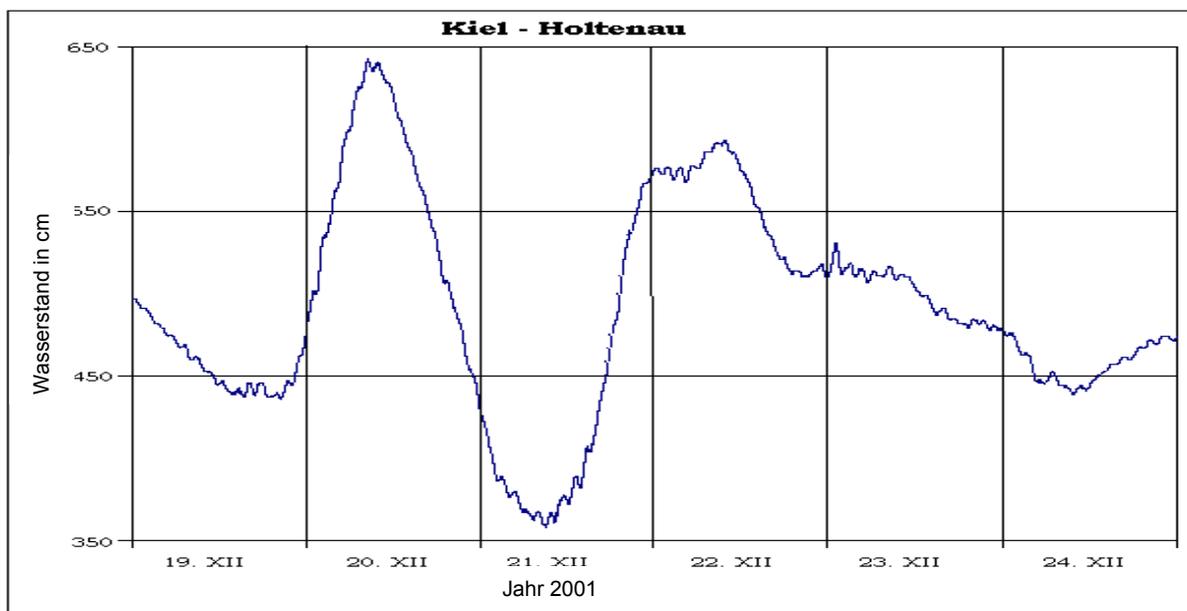


Abb. 4.1. Wasserspiegelschwankung um ca. 3 m innerhalb von 24 Stunden am Pegel Kiel-Holtenau als Folge einer Änderung der Windrichtung in der zentralen Ostsee

Vor allem die westlichsten Gebiete unterliegen dem Einfluss einer regelmäßigen Tide mit einer Periode von 12,4 Stunden und Amplituden von ca. 15 cm bei Wismar (Abb. 4.3.) und 10 cm in Warnemünde. Sturmfluten mit einer Dauer von gemeinhin 1 – 2 Tagen können somit durch verschiedene Schwingungen beeinflusst werden.

Weitere periodische Wasserstandsschwankungen mit einer Periode von 1 1/2 Jahren und einem Anstieg des Wasserstandes um 20 cm wurden ebenfalls beobachtet. Der mittlere Wasserstand (z.B. während einer Woche) ohne sturmbedingte Anstiege ist ein Maß für den sogenannten „Füllungsgrad“ (der gesamten Ostsee). Der Meeresspiegel steigt an, wenn Tiefdruckzentren von SW nach NO über Skandinavien ziehen; solche Wetterlagen können mehrere Wochen anhalten. Während dieser Wetterlagen kann in der zentralen Ostsee starker Wind aus südwestlichen Richtungen auftreten, in der westlichen Ostsee Wind aus westlichen und im Kattegat aus nordwestlichen Richtungen. Das führt zu einem

kontinuierlichen Einstrom von Wassermassen aus dem Kattegat in die westliche Ostsee. Nicht zuletzt können Sturmfluten auch durch lokale Winde beeinflusst werden, wie von Stigge beschrieben worden ist (1995a).

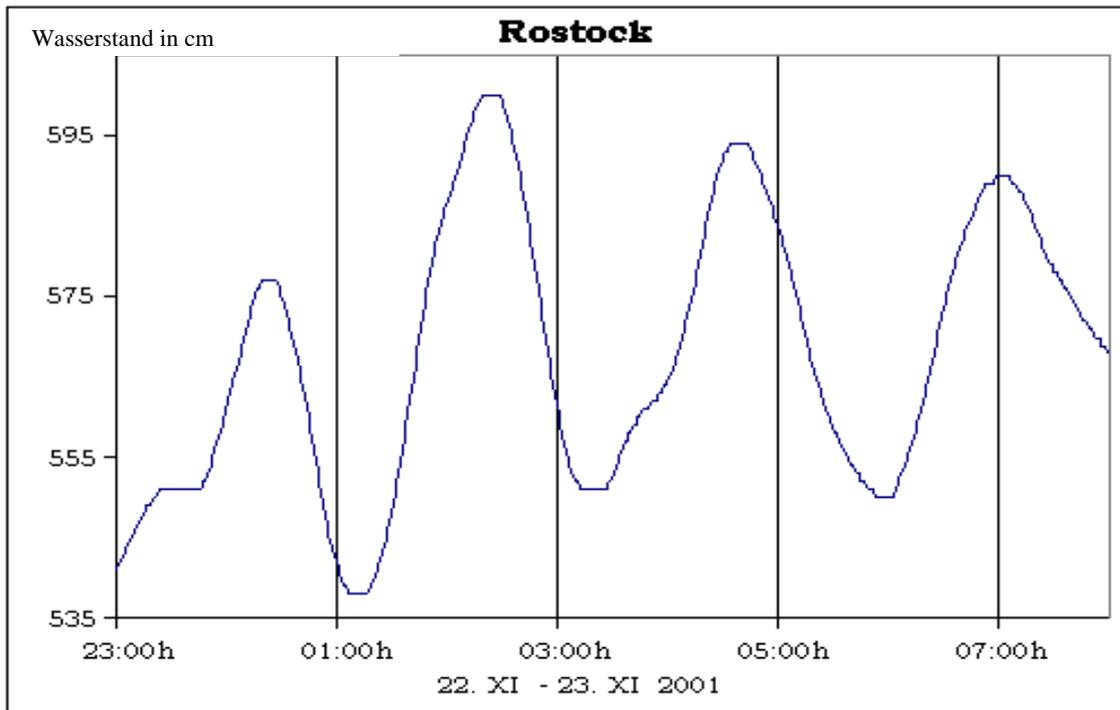


Abb. 4.2. Wasserspiegelschwankungen von ca. 0,5 m in der Warnow-Mündung in Rostock

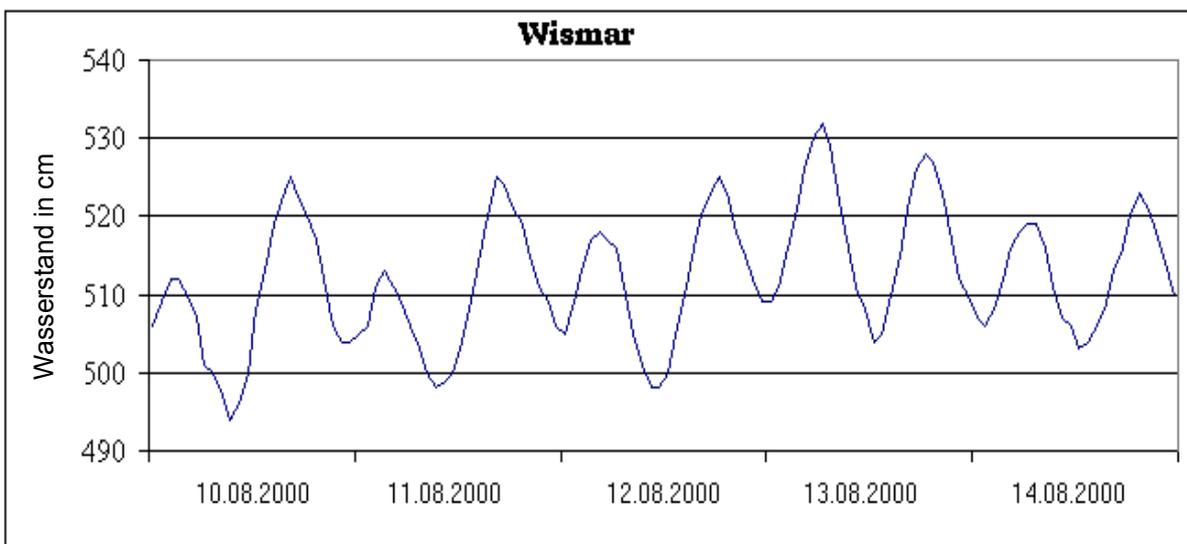


Abb. 4.3. Beispiel einer regelmäßigen halbtägigen Tide an der Pegelstation Wismar vom 10. – 14. August 2000

Wie schon oben dargelegt, haben die am weitesten westlich gelegenen Ostseebecken klar erkennbare Tiden. Ihre Amplitude erreicht ca. 15 cm und nimmt nach Osten hin ab. Die Tiden in der zentralen Ostsee sind vernachlässigbar klein, mit einer Amplitude von höchstens 3-5 cm. Diese Schwankungen werden vermutlich von den Nordseegezeiten verursacht.

## **5. STURMFLUT AUSLÖSENDE LUFTDRUCKLAGEN UND WINDFELDER**

Wie in allen halbgeschlossenen, fast gezeitenlosen Randmeeren werden Schwankungen des Wasserspiegels an der Küste vor allem durch den Einfluss starker Winde auf das Oberflächenwasser verursacht (Wielbinska 1964, Malicki, Wielbinska 1992, Sztobryn et al. 1995, 2001, Stanislawczyk 2002). Der Wind entsteht im Zuge einer atmosphärischen Störung, die das Meer überquert oder sich in seiner Nähe befindet. Bei auflandigen Winden steigt der Meeresspiegel infolge des Windstaus, während starke ablandige Winde zu einer erheblichen Senkung des Wasserstandes an der Küste führen. Wird ein Gebiet von einem aktiven atmosphärischen System, z.B. einer Tiefdruckzone geringen Durchmessers, beeinflusst, so können vor und hinter dem System Windfelder mit genau entgegengesetzter Richtung entstehen. Bewegt sich ein solches Tiefdrucksystem entlang der Küste, so können an zwei verschiedenen Küstenabschnitten, die manchmal weniger als Hundert Kilometer voneinander entfernt sind, Stürme aus entgegengesetzten Richtungen auftreten. Der Bereich derartig starker Windscherung, in der Regel entlang einer Okklusion, zieht mit dem Tiefdruckgebiet weiter. Dagegen führen andere Luftdruckverhältnisse zu stürmischen Windfeldern, in denen die Windrichtungen nicht so schnell wechseln.

In den Küstengewässern der südlichen Ostsee kommt es am häufigsten durch stürmische Winde aus den Sektoren W-NW bis O-NO zu Windstau, aber abhängig von den örtlichen morphometrischen Verhältnissen sind auch andere Richtungen zu berücksichtigen. Die westlichen Abschnitte dieser Küste sind durch Schwankungen des Wasserstandes mehr gefährdet als die Küsten östlich der Odermündung.

Die vorliegende Monographie berücksichtigt nur die windstaubedingten Wasserstandserhöhungen zwischen Wismar und Kołobrzeg, die sich zwischen 1976 und 2000 ereigneten. In diesem Zeitraum wurden 73 Sturmfluten in diesem Küstenabschnitt als windstaubedingt klassifiziert. Während 17 dieser Sturmfluten wurde an mindestens einem Wasserstandspegel ein Höchststand von 600 cm oder darüber gemessen. Alle untersuchten Sturmfluten wurden durch auflandige Stürme unterschiedlicher Dauer mit einer dominanten N-Komponente der Windrichtung verursacht. Es wurden mehrere typische Luftdrucklagen als Auslöser der Starkwinde erkannt.

### **5.1 Nördliche Luftströmung über Skandinavien und der Ostsee**

Wenn sich ein Hochdruckgebiet über den Britischen Inseln nach Skandinavien hin ausdehnt mit Tendenz nach Osten hin, ziehen Tiefdruckgebiete südwärts entlang einer Linie vom Nordosten Skandinaviens über Finnland nach Westrussland. Der Druckgradient über der Ostsee wird steiler und die nördliche Luftströmung wird allmählich stärker und böiger. Während der Entwicklung dieser Luftdrucklage treten zeitweise Schwankungen der Windgeschwindigkeit infolge wechselnder Pulsationen des Druckgradienten am Rand des Tiefdruckgebiets auf. Außerdem entwickeln sich Störungen in Form sekundärer Kaltfronten in der intensiven Luftströmung. Sie führen häufig zur Deformation der einheitlichen Strömung: nördliche Winde im Vorfeld der Front drehen vorübergehend zurück auf NW – W, manchmal sogar SW und drehen hinter der Front wieder auf N.

Bei der beschriebenen Luftdrucklage erreicht der Wind in der Regel Sturmstärke, sobald sich die nördliche Windrichtung im gesamten Gebiet durchgesetzt hat, was an der ganzen südlichen Ostseeküste zu starkem auflandigem Sturm mit dem entsprechenden Windstau führt. Alle Wasserstandspegel zeigen dabei meistens einen allmählichen Anstieg des Wasserspiegels, häufig mit Schwankungen.

Beispiele dieser Luftdrucklage sind die Sturmfluten am 11. April 1997 und am 17.-18. Januar 2000.

Abweichungen von der oben beschriebenen Lage treten auf, wenn Tiefdruckgebiete südostwärts über die Ostsee oder über Land entlang der Ostküste der Ostsee zu den russischen Ebenen ziehen und nach ihrem Durchzug ein Hochdruckrücken über Skandinavien entsteht. Typisch für diese Luftdrucklage sind zunächst im Uhrzeigersinn drehende Winde über der Ostsee und der angrenzenden Küste. Vor dem sich verlagernden

Tiefdruckgebiet dreht der Wind in einem relativ großen Gebiet SO – SW und nimmt an der Vorderseite der gewöhnlich mit dem Tiefdruckzentrum verbundenen Front an Stärke zu. Die Winde an solchen Fronten drehen scharf auf NW, N und vorübergehend sogar NO. Das ganze System verlagert sich nach S – SO, während sich eine starke nördliche Luftströmung hinter dem Tiefdruckgebiet einstellt, und überdeckt schon bald das gesamte Ostseegebiet. Diese Phase der Sturmflut, wenn der auflandige Sturm aus nördlicher Richtung die südlichen Küstengewässer erreicht, markiert den Beginn des Windstaus. Dieser Phase geht manchmal ein vorübergehendes Sinken des Wasserstandes voraus infolge starker küstenparalleler oder ablandiger Winde vor der Front.

Sturmfluten aufgrund der obigen meteorologischen Lage waren z.B. der Windstau am 25.-26. Dezember 1976, 29.-30. November 1988, 1.-4. Januar 1995 und 2.-4. November 1995.

## **5.2 Durchzug eines stürmischen Tiefdruckgebiets über die Ostsee**

Ein relativ hoher Anteil der Tiefdrucksysteme, die an der südlichen Ostseeküste zu Windstaus und Sturmfluten führen, ziehen zwischen ca. 60° N und der südlichen Küste über die Ostsee. Auf der Vorderseite solcher das Ostseebecken überquerender Tiefdruckzentren entstehen an der südlichen Ostseeküste ablandige Winde, gefolgt von auflandigen Winden nach ihrem Durchzug in östlicher Richtung. Die relativ regelmäßige, kreisförmige Windverteilung um das Sturmzentrum herum wird in der Regel durch ein System atmosphärischer Fronten beeinflusst, das mit dem Zentrum verbunden ist. Abhängig von der Zugrichtung des durchziehenden Tiefdruckgebietes – über Südschweden, die südlichen Ostseebecken oder über Land entlang der südlichen Ostseeküste – hat der Durchzug an den verschiedenen Küstenabschnitten unterschiedliche Wirkungen.

a) Zieht das Tiefdruckgebiet über Südschweden, so entstehen an den südlichen Ostseeküsten südliche Winde. Die in dieser Gegend häufigen starken Winde können zunächst zu einem raschen Absinken des Wasserstandes führen. Auflandige Winde entstehen an der südlichen Küste erst nach Durchzug des Tiefdruckgebiets in östlicher Richtung, wenn die atmosphärische Front die Küstenlinie überquert hat. Der Wechsel zu nördlichen bis nordöstlichen Windrichtungen kann sehr abrupt sein, mit sofortiger heftiger Auswirkung auf die Küstengewässer.

b) Zieht das Tiefdruckgebiet über die südlichen Ostseebecken, so herrschen anfänglich im Küstenbereich Winde aus SW – SO vor. Danach kann sich der Wind kurzfristig abschwächen, bevor er nach NO dreht, rasch auf Sturmstärke zunimmt und nach Drehung auf SO – SW zu einem stundenlang anhaltenden (küstenparallelen) Weststurm anwachsen kann. Im Anschluss daran dreht der Wind scharf nach NO – N. Verläuft die atmosphärische Front (Linie, an der die Windrichtung wechselt) genau entlang der Küstenlinie, so kann die Abfolge der Windrichtungen vom normalen Muster abweichen, verbunden mit einer Änderung der Sturmflutphasen.

c) Zieht das Tiefdruckgebiet über Land entlang der südlichen Ostseeküste, so erfasst die Windstreichlänge der starken SO–SW-Winde nicht die gesamten Küstengewässer, und die SO-O-Winde im Vorfeld des Tiefdruckgebiets beeinflussen lediglich ein begrenztes Gebiet über den südöstlichen Becken, was zu einem recht langsamen Absinken des Wasserstandes führt oder gar keinen Einfluss darauf hat. Hinter dem Tiefdruckgebiet führt der Sturm aus NO - N zu einem raschen Anstieg des Wasserstandes, zuerst in den westlichen Küstenabschnitten. Während sich das Tiefdruckgebiet ostwärts verlagert, werden nacheinander alle Abschnitte der südlichen Küste von der Sturmflut betroffen. Der Höchststand des Windstaus kann in den östlichen Teilen der Küste mehrere Stunden später als in den östlichen eintreten.

### **5.3 Stürme aus dem östlichen Sektor**

Stürme aus dem östlichen Sektor (O – NO) stellen eine besondere Gefahr für die westlichen Ostseebecken dar.

a) Während ein stabiles Hochdrucksystem über Skandinavien liegt – häufig der Rücken eines Hochs über Nordrussland – liegen die südlichen Becken im Einflussbereich einer östlichen Luftströmung. Nähert sich von Südosteuropa oder Polen her ein Tiefdruckgebiet, so bildet sich entlang des südlichen oder südöstlichen Rands dieses Tiefs ein steiler Druckgradient. Infolge der oft quasi-stationären Lage des Hochdruckgebiets über Nordosteuropa entwickelt sich über der südlichen Ostsee ein lang anhaltender SO-NO-Sturm. Diese Windverhältnisse führen zu einem allmählichen Anstieg des Wasserstandes, der in den westlichsten Teilen der südlichen Ostseebecken hohe Werte erreichen kann, z.B. in den nach Nordosten hin offenen Mecklenburger und Wismarschen Buchten. Ein Beispiel für diese Hochdrucklage über Skandinavien mit Ausdehnung nach Osten war die meteorologische Situation am 12. Januar 1987, die zu einem lang anhaltenden Oststurm und hohen Wasserständen führte, mit einem Höchststand von 673 cm am Pegel Wismar. Der Windstau in den mittleren Küstenabschnitten und weiter östlich war wesentlich schwächer ausgeprägt.

Es gibt östliche Wetterlagen, bei denen nur ein relativ kleiner Bereich der südlichen Ostsee von dem Windfeld des aus südöstlicher Richtung heranziehenden Tiefs betroffen ist; das sind vor allem die Lagen, bei denen das Hochdruckgebiet über Skandinavien nicht weit nach Osten reicht. Ein sich bei Annäherung des Tiefs entwickelnder Sturm aus nördlicher bis nordwestlicher Richtung wirkt sich hauptsächlich auf die östlichen und mittleren Abschnitte der Küste aus. Nur in diesem Bereich der Küste steigt dann der Wasserstand, z.B. am 29. November 1978, 18. Januar 1981 und 6. September 1992.

Die obige Aufgliederung typischer Luftdruckverhältnisse soll keine Klassifikation von Wetterlagen entsprechend der Ähnlichkeit ihrer Auswirkungen auf die Ostseesüdküste darstellen. Eine genaue Aufgliederung in dieser Weise ist unmöglich, weil sich die meteorologischen Bedingungen in dem Gebiet fortwährend ändern und selbst in einem begrenzten Gebiet wie der Ostsee keine zwei identischen Luftdrucklagen gefunden werden können. Zusammenfassend kann man sagen, dass ungeachtet der Richtung des heranziehenden Tiefdruckgebietes und der herrschenden Luftdrucklage die Reaktion des Wasserstandes in einem bestimmten Küstenabschnitt von dessen morphometrischem Zustand und der sich daraus ergebenden Auswirkung des Windes auf die küstennahen Gewässer abhängt. Aufländiger Wind in jeder Form kann zu einem erheblichen Anstieg der Wasserstände an der Küste führen, wenn er stark genug ist und eine ausreichende Windstreichlänge hat; beide Faktoren können sich auf die Dauer des Sturmes auswirken. Das Problem besteht darin, Schwellenwerte für die Faktoren festzulegen.

b) Bei einigen anderen stürmischen „Ostlagen“, vor allem dann, wenn das Hochdruckgebiet über Skandinavien nicht weit nach Osten reicht, wirken sich die Windfelder der von Südost oder Südwest nach Norden ziehenden Tiefdruckgebiete manchmal nur auf einen begrenzten Bereich der südlichen Ostsee aus. Ein NO-NW-Sturm, der sich bei Annäherung eines derartigen Tiefs entwickelt, entfaltet nach Westen hin seine Wirkung in der Regel nur bis zu den mittleren Küstenabschnitten, wobei der Wasserstand meistens auch nur in diesen Abschnitten ansteigt. Beispiele für derartige Sturmereignisse sind der 29. November 1978, der 18. Januar 1981 und der 6. September 1992.

#### **5.4 Schlussfolgerungen**

Die obige Aufgliederung typischer Luftdruckverhältnisse soll keine Klassifikation von Wetterlagen entsprechend der Ähnlichkeit ihrer Auswirkungen auf die Ostseesüdküste darstellen. Aus diesem Grund kann auch die Häufigkeit von Sturmereignissen einer bestimmten Kategorie nur grob geschätzt werden. In dem untersuchten Zeitraum von 25 Jahren wurden ca. 40 Prozent aller Sturmflutereignisse von einer starken nördlichen Luftströmung über der Ostsee verursacht, mit hohem oder steigendem Luftdruck über Skandinavien und einem nahe der östlichen Grenze der Ostsee in südliche Richtung ziehenden Tiefdruckgebiet (Typ 6.2.1.). Ungefähr 55 Prozent aller Sturmfluten wurden von stürmischen Winden verursacht, die sich hinter einem Tiefdruckgebiet entwickelten, welches über Südschweden, die südlichen Ostseebecken oder über Land entlang der südlichen Küste nach Osten zog (Typ 6.2.2.). Nur bei ca. 5 % aller analysierten Sturmflutereignissen war die Ursache eine starke östliche Luftströmung über der südlichen Ostsee entlang des südlichen Rands eines Hochs über Nordrussland und Skandinavien. Bei einigen der östlichen Sturmflutlagen führte ein langsam nach Norden ziehendes Tiefdruckgebiet, das von einem Hoch über der Ostsee blockiert wurde, über dem Festland zu einer Zirkulation entgegen dem Uhrzeigersinn.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ungeachtet der Richtung eines herannahenden Tiefdruckgebiets, das eine Sturmgefahr mit sich bringt, die Wasserstände in einem bestimmten Küstenabschnitt primär auf die Wirkung des Windes auf die küstennahen Gewässer reagieren und stark von den morphometrischen und hydrologischen Bedingungen vor Ort abhängen. Auflandiger Wind in jeder Form kann zu einem erheblichen Anstieg der Wasserstände an der Küste führen, wenn er stark genug ist und eine ausreichende Windstreichlänge hat; beide Faktoren können sich auf die Dauer des Sturmes auswirken. Das Problem besteht darin, Schwellenwerte für die Faktoren festzulegen.

## 6. DIE GEFÄHRLICHSTEN STURMFLUTEN IM ZEITRAUM VON 1976 – 2000

Entsprechend den Kriterien in den vorhergehenden Kapiteln werden 73 der Flutereignisse im Zeitraum von 1976 – 2000 als Sturmfluten kategorisiert. Die meteorologischen Bedingungen und Wasserstandsschwankungen während der gefährlichsten 17 Ereignisse sind analysiert worden und werden im Folgenden geschildert.

### 6.1 Januar 1976

#### Meteorologische Lage

Am 2. Januar 1976 befand sich die Ostsee unter dem Einfluss eines Hochdruckrückens über Westeuropa. Örtlich mäßige bis starke westliche Winde herrschten entlang der südlichen Ostseeküste. Während ein aktives Tiefdruckgebiet Schottland an diesem Tag zwischen 15 und 21 UTC überquerte und sich auf seinem Weg nach Osten rasch verstärkte, drehte der Wind über der westlichen und südlichen Ostsee auf SO und erreichte dabei allmählich Sturmstärke. Kurz nachdem das Tief (966 hPa im Zentrum) am 3. Januar um ca. 00 UTC Dänemark erreicht hatte, nahm der Südoststurm auf 9 Bft über den dänischen Sunden und 7-8 Bft über der westlichen Ostsee zu. Zwischen 03 und 15 UTC zog das Tief weiter in östlicher Richtung, wobei sein ungewöhnlich stark in die Länge gezogener Kern von Dänemark bis zur Danziger Bucht reichte und ansatzweise kleine Sekundärzentren entlang der parallel zur südlichen Ostseeküste verlaufenden Okklusion bildete, wodurch eine Linie starker Windscherung entstand. Südlich dieser Linie zog der Weststurm (7-8 bzw. 9 Bft) über die südlichen Becken der westlichen Ostsee hinweg nach Osten weiter. Um ca. 15 UTC tobte der Sturm mit voller Gewalt über den südlichen Küstengewässern. Nördlich der Windscherungslinie (Okklusion) in Richtung der schwedischen Küste kam der Sturm mit 8-9 Bft aus östlichen Richtungen und drehte über dem Kattegat und den dänischen Sunden auf NO – NW (Abb. 6.1.1.).

Während das Tief am späten 3. Januar langsam südostwärts in Richtung Polen abzog, füllte es sich allmählich auf. Dadurch geriet das ganze Gebiet der westlichen und südlichen Ostsee unter den Einfluss eines Nordost- bis Nordsturms der Stärke 7-9 Bft, der bis zum Abend des 4. Januar leicht rückdrehte und sich dabei abschwächte. Am 5. Januar um Mitternacht herum drehten die Winde in der westlichen Ostsee bereits SW – S, als sich ein neues Tiefdruckzentrum mit stürmischen Winden aus Richtung der Norwegischen See näherte.

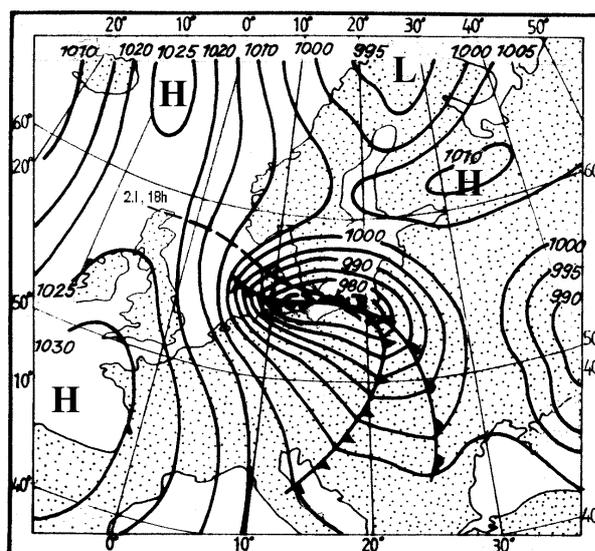


Abb. 6.1.1. Zugbahn des Sturmtiefzentrums, Luftdruckverhältnisse über der südlichen Ostsee am 2. Januar 1976 um 06 UTC

## Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Bis zum Mittag des 2. Januar bestand die Auswirkung des leicht auflandigen Weststurms in einem mäßigen Anstieg der Wasserstände an den westlichen und mittleren Küsten. Am frühen Nachmittag begannen die Wasserstände zu fallen, was durch südöstliche stürmische Winde am Rand des von Schottland und der Nordsee heranziehenden Tiefs verstärkt wurde. Der tiefste Wasserstand wurde in den Morgenstunden des 3. Januar erreicht (um 02 UTC: Wismar 478 cm, Warnemünde 488 cm, zwischen 02 und 03 UTC: Sassnitz ca. 520; zwischen 04 und 05 UTC: Świnoujście 484 cm, Kołobrzeg 503 cm).

Nun folgte ein rascher Anstieg des Meeresspiegels, der sofort einsetzte, nachdem der Wind im Anschluss an den Durchzug der Warmfront auf westliche Richtungen gedreht hatte: der Anstieg an den westlichen Pegeln begann um 01 - 02 UTC, im mittleren Bereich der Küste 04 – 05 UTC. Die Wasserstände im westlichen Bereich der Küste stiegen bis 09 – 10 UTC, als vor dem Durchzug eines der Sekundärzentren des Tiefs der Wind vorübergehend stark rückdrehte und das Oberflächenwasser von der Küste wegdrückte. Der Wasserstand in Wismar fiel dadurch auf ca. 500 cm um 14 UTC. Gleichzeitig stiegen die Wasserstände im mittleren und östlichen Bereich der Küste während der Mittagsstunden weiter an. Der Anstieg hörte erst nach 13 UTC auf, als das kleine Sekundärtief dieses Gebiet erreichte und zu ablandigem Wind führte. Dadurch sanken die Wasserstände in diesem Gebiet plötzlich geringfügig ab: auf 552 cm in Świnoujście und 564 cm in Kołobrzeg, gemessen zwischen 17 und 19 UTC.

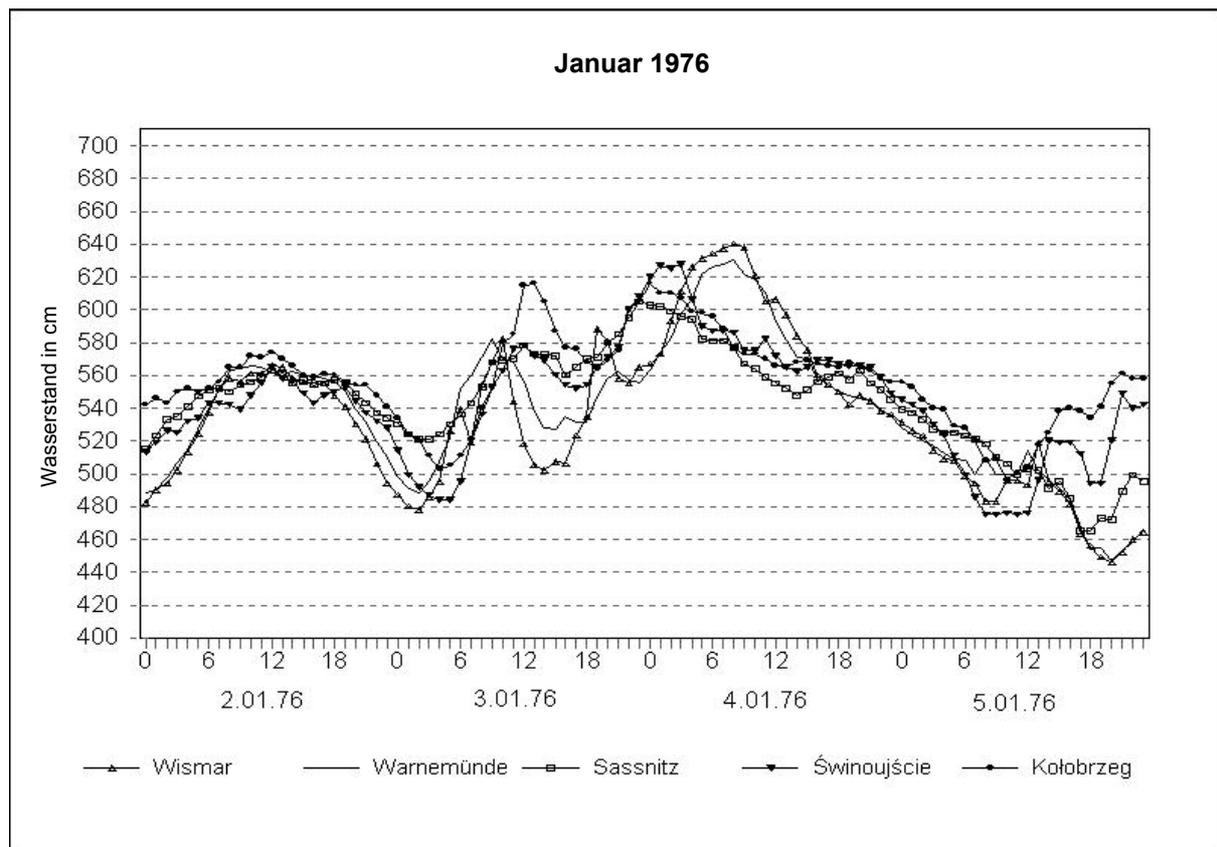


Abb. 6.1.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 1976

Aus diesen unbedeutenden und kurzfristigen Wasserstandsschwankungen entwickelte sich die Hauptphase der Sturmflut, nachdem die Okklusion über die Küstenlinie hinweg in südöstlicher Richtung gezogen war und der böige NO–NW-Sturm nun direkt auf die Küste traf. Im mittleren Bereich der Küste fiel der Wasserstandsanstieg geringer aus und war von kürzerer Dauer: der Höchststand wurde am 4. Januar um ca. 00 UTC erreicht, mit Maxima

von 616 cm in Kołobrzeg und 628 cm in Świnoujście. Die Wasserstände fielen vorübergehend, als nach 04 UTC der NW-Wind rückdrehte und leicht abnahm. Die höchsten Pegelstände an der westlichen Küste wurden zwischen 04 und 09 UTC erreicht, mit Maxima von 630 cm in Warnemünde bis 640 cm in Wismar, gemessen um 08 UTC. Die Wasserstände gingen fast unmittelbar danach zurück und sanken weiter bis gegen Mittag am 5. Januar. Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (548 cm am 3. Januar) lag die Dauer dieser Sturmflut zwischen 23 Stunden in Wismar und 41 Stunden in Kołobrzeg.

## 6.2 Dezember 1976

### Meteorologische Lage

Nachdem ein starkes, weiträumiges Tiefdruckzentrum die Ostsee in Richtung Weißrussland und Ukraine überquert hatte, setzte am 24. Dezember 1976 ein das gesamte Gebiet der Ostsee vom Bottnischen Meerbusen bis zur Südküste erfassender Nordsturm der Stärke 7-8 Bft ein, der in Bøen 9 Bft erreichte. Am 25. Dezember um 00 UTC bildete sich ein neues Tiefdruckzentrum von 1007 hPa über der Norwegischen See und wanderte rasch in süd-südöstlicher, später südöstlicher Richtung, während es sich weiter vertiefte. Es erreichte die südöstlichen Becken der Ostsee am 26. Dezember um 00 Uhr mit einem Luftdruck von 987 hPa und zog dann langsamer nach Litauen weiter, wo am 26. Dezember um 03 UTC 985 hPa gemessen wurden. Während es sich allmählich auffüllte, zog das Tief in Richtung Ukraine weiter (Abb. 6.2.1.).

Der Durchzug dieses Tiefdruckzentrums führte zu einer Störung der starken nördlichen Luftströmung und einer zeitweiligen Abnahme der Windstärke sowie zu Änderungen der Windrichtung auf der Zugbahn des Tiefs, mit vorübergehend auf Süd drehenden Winden über der gesamten südlichen Ostsee in der Nacht vom 25. auf den 26. Dezember. Als sich über Skandinavien ein Hochdruckrücken entwickelte und das Tiefdruckzentrum am 26. Dezember um 03 UTC die Küste von Litauen erreichte, drehte der Sturm im gesamten Ostseegebiet wieder auf Nord, mit Windstärken von 7-9 Bft.

Nach 15 UTC am 26. Dezember, während sich das Tiefdruckzentrum in Richtung auf die Ukraine bewegte und sich der Hochdruckrücken über Skandinavien abschwächte und langsam über die Ostsee ausweitete, drehte der Wind schließlich zurück und nahm allmählich auf 8-5 Bft ab. Am 27. Dezember beruhigte sich der Wind weiter und drehte auf W – SW.

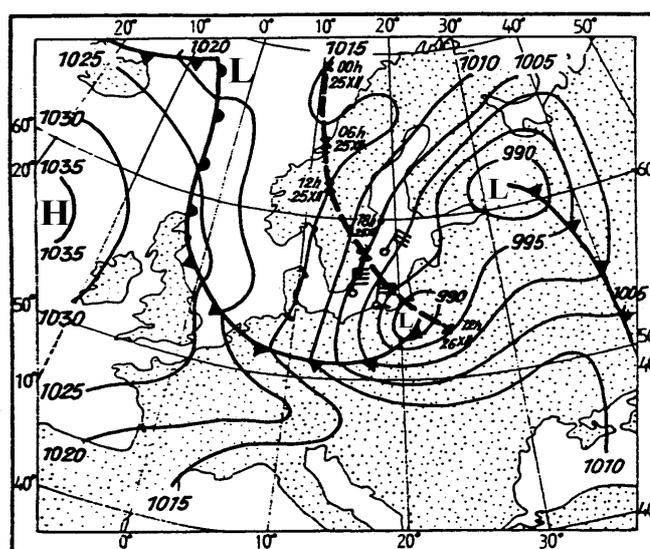


Abb. 6.2.1. Zugbahn des Sturmtiefs, Luftdruckverhältnisse und Windfeld, die zur Sturmflut vom 24.-27. Dezember 1976 an den Küsten der südlichen Ostsee führten

## Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Die erste Phase der Sturmflut begann am 24. Dezember um die Mittagszeit herum. Die Wasserstände an der gesamten Küste stiegen allmählich um ca. 6 cm pro Stunde an. Die Maxima im mittleren Bereich der Küste wurden am 25. Dezember zwischen 2 und 3 UTC erreicht, mit Werten von 562 cm in Kołobrzeg, 580 cm in Świnoujście und 561 cm in Sassnitz. Dagegen wurde im westlichen Bereich der Küste der Höchststand zwischen 6 und 7 UTC beobachtet, mit Werten von 582 cm in Warnemünde und 590 cm in Wismar. 12 bis 14 Stunden lang blieben die Wasserstände an der gesamten Küste 0,7 – 1,3 m über dem mittleren Wasserstand, wobei der Anstieg im westlichen Teil der Küste erheblich steiler war. In der Nacht vom 25. Dezember führten starke südliche bis südwestliche Winde mit der dadurch verursachten zyklonischen Störung zu sinkenden Wasserständen an den Küsten der südlichen Ostsee und relativ niedrigen Wasserständen in der Nacht vom 25. zum 26. Dezember (von 497 cm in Kołobrzeg bis 445 cm in Wismar).

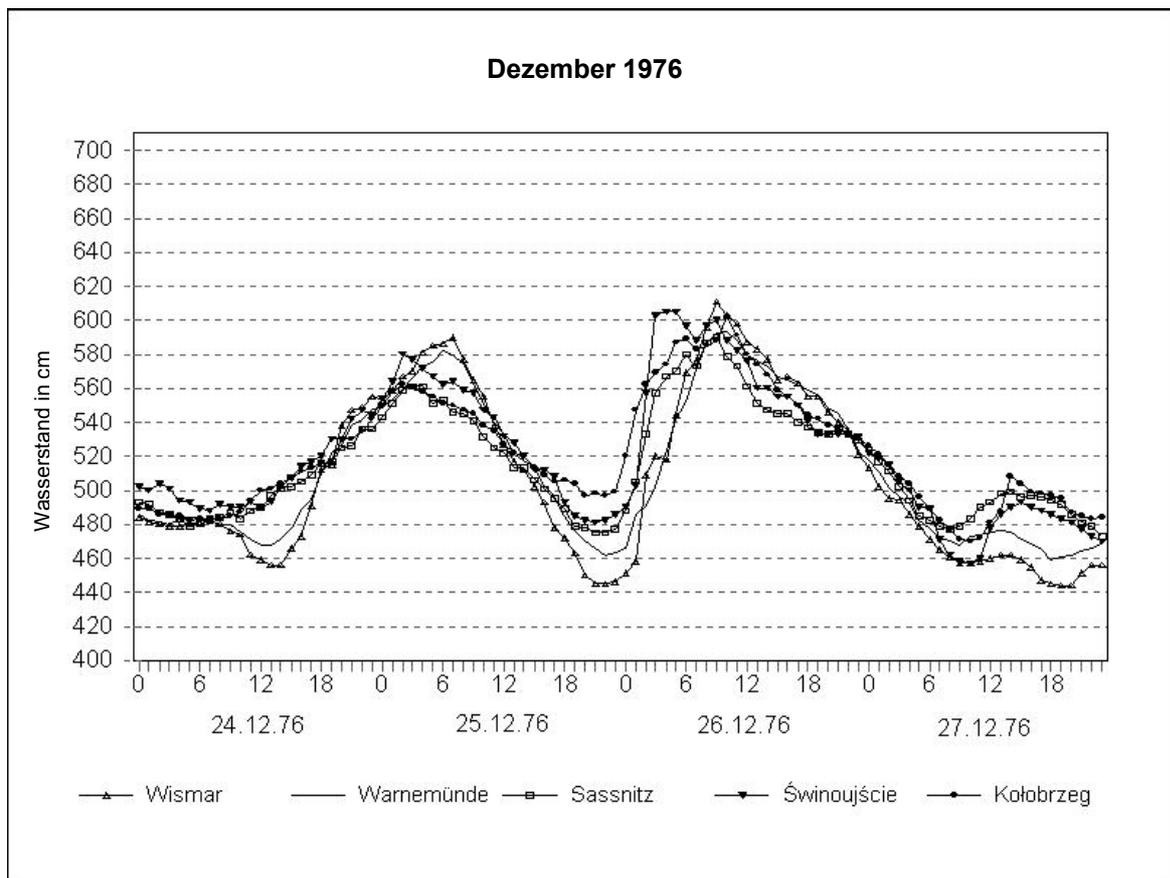


Abb. 6.2.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Dezember 1976

Ein heftiger Nordsturm in den Frühstunden des 26. Dezember ließ die Wasserstände wieder rasch ansteigen. Maxima wurden um 10 UTC erreicht: 611 cm in Wismar, 593 cm in Warnemünde, 590 cm in Sassnitz, 605 cm in Świnoujście und 602 cm in Kołobrzeg. In Świnoujście wurde bereits fünf Stunden vor dem allgemeinen Höchststand um 4 UTC ein lokales Maximum gemessen (Abb. 6.2.2. ).

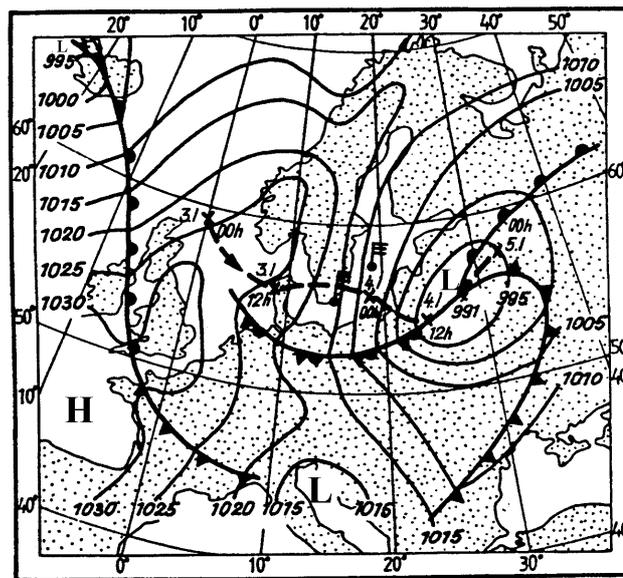
Das Wasser stieg extrem schnell: im mittleren Bereich der Küste stieg es innerhalb weniger Stunden um 1 m, und im westlichen Teil sogar um 1,5 m. Die schnellste während der Anstiegsphase gemessene Zunahme lag über 50 cm pro Stunde. Der Mittelwert bewegte sich zwischen 23 cm/h in Świnoujście und 11 cm/h in Sassnitz. Bezogen auf den Referenzwasserstandsindikator (490 cm am 24. Dezember) lag die Dauer dieser Sturmflut zwischen 50 Stunden in Wismar und 66 Stunden in Kołobrzeg.

## 6.3 Januar 1978

### Meteorologische Lage

Am 2. Januar 1978 erstreckte sich ein großes Tiefdruckgebiet mit Zentrum über der Norwegischen See fast über das gesamte Gebiet Europas. An den Rändern des Tiefs bildete sich am 3. Januar um 00 UTC östlich von Schottland ein Sekundärzentrum mit 994 hPa und wanderte bald in südöstliche Richtung. Innerhalb eines Tages bedeckte es das ganze Gebiet von der Nordsee über Dänemark und Südschweden bis zur südöstlichen Ostsee, und der Druck war inzwischen um 12 hPa gefallen. Hinter dem Tief erstreckte sich ein Hochdruckrücken von den Britischen Inseln über die Nordsee und Skandinavien.

Am 3. Januar entwickelten sich aufgrund der Zugbahn des Sturmtentrums, das ein zyklonisches Windsystem innerhalb des Tiefs erzeugte, im westlichen und mittleren Teil der Küste stürmische Winde aus West, Südwest und z.T. Südost mit einer Stärke von 7-8 Bft, die bis in die frühen Nachmittagsstunden des 3. Januar anhielten. Während das Tief nach Osten weiterzog und die Kaltfront in südlicher Richtung die Küste überquerte, drehte der Südweststurm scharf nach NW-N und erreichte im Mittel 7-9 Bft mit Böen bis zu 10 Bft. Am Morgen des 4. Januar erreichte das Tiefdruckgebiet die Südwestküste von Litauen. Es änderte bald die Richtung und am 4. Januar um die Mittagszeit begann sich das Zentrum aufzufüllen, während es weiter nach Nordosten zog. Wegen des steilen Druckgradienten über der Ostsee flaute der Sturm erst in den Frühstunden des 5. Januar ab.



Die gemessenen Höchstwasserstände während dieser Sturmflut betragen 620 cm in Wismar, 602 cm in Warnemünde und Kołobrzeg, 591 cm in Sassnitz und 583 cm in Świnoujście. Wasserstände im Warnbereich (über 560 cm) wurden in Kołobrzeg 31 Stunden lang gemessen, in Świnoujście 22 Stunden lang und in Wismar und Warnemünde 15 Stunden lang. Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (523 cm am 3. Januar) lag die Dauer dieser Sturmflut zwischen 31 Stunden in Wismar und 42 Stunden in Kołobrzeg.

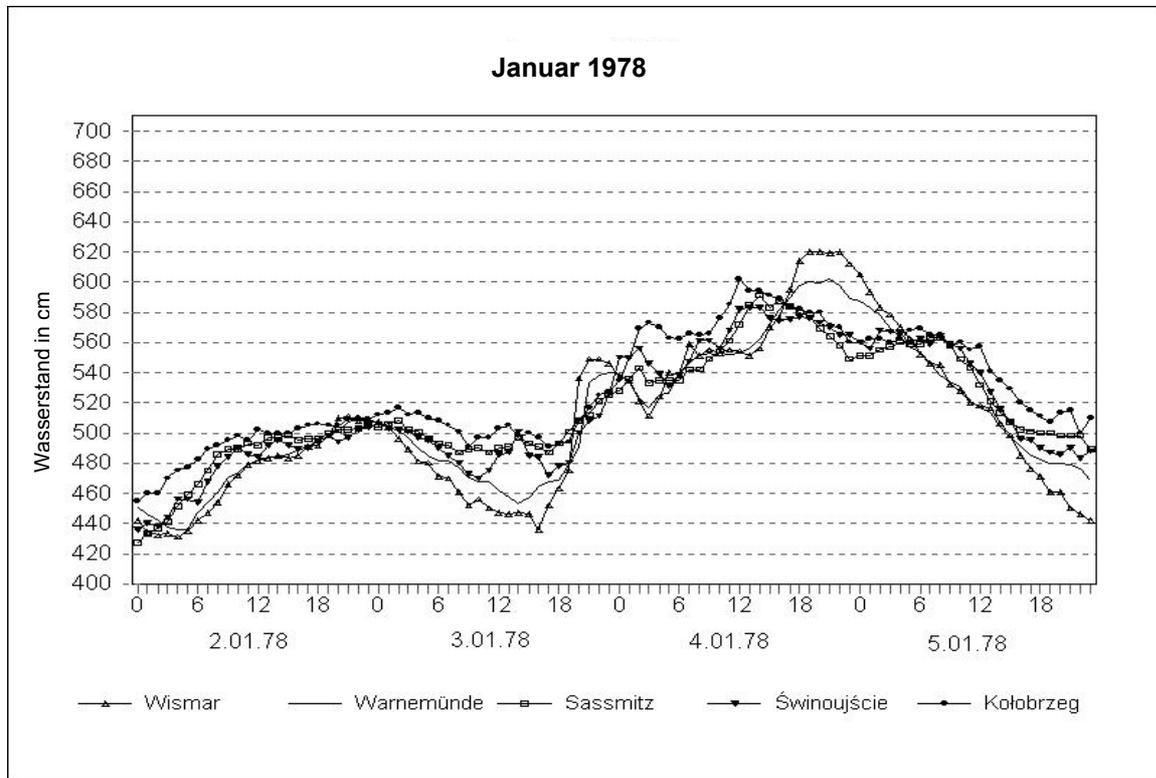


Abb. 6.3.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 1978

## 6.4 January 1983

### Meteorologische Lage

Ende 1982 / Anfang 1983 herrschten stürmische Winde vorwiegend aus westlichen Richtungen und führten zu relativ hohen mittleren Wasserständen in der Ostsee.

Am 17. Januar 1983 um ca. 18 UTC bildete sich ein Tiefdruckgebiet mit 978 hPa über den Shetlandinseln, das sich rasch verstärkte und in östlich-südöstlicher Richtung über Norwegen und Schweden hinwegzog. Innerhalb von 24 Stunden erreichte das Tief, in dessen Zentrum nun 962 hPa gemessen wurden, die nordöstliche Ostsee, wo es sich verlangsamte, während der Luftdruck über den Britischen Inseln und der Nordsee stetig anstieg. Am 19. Januar um 00 UTC zog das Tief über Lettland hinweg und begann sich rasch aufzufüllen, während ein Hochdruckgebiet über Skandinavien und der Ostsee sich ausdehnte und verstärkte.

Die beschriebenen atmosphärischen Bedingungen führten über der Ostsee zu westlichen bis südwestlichen Winden, die im westlichen Teil des Ostseebeckens am 17. Januar Sturmstärke erreichten. Am 18. Januar herrschte über der Ostsee ein schwerer Sturm aus SW-W mit einer Stärke von 8-10 Bft, der später drehte und auf 9-10 Bft zunahm. Er erreichte in Böen 12 Bft (Abb. 6.4.1.). Im Laufe des 19. Januar füllte sich das Tief allmählich auf und zog in östlicher Richtung ab, was zu einem Abflauen des Sturms auf 10-8 Bft führte. Am 20. und 21. Januar herrschte NW-W-Wind der Stärke 7-8 Bft mit abnehmender Tendenz.

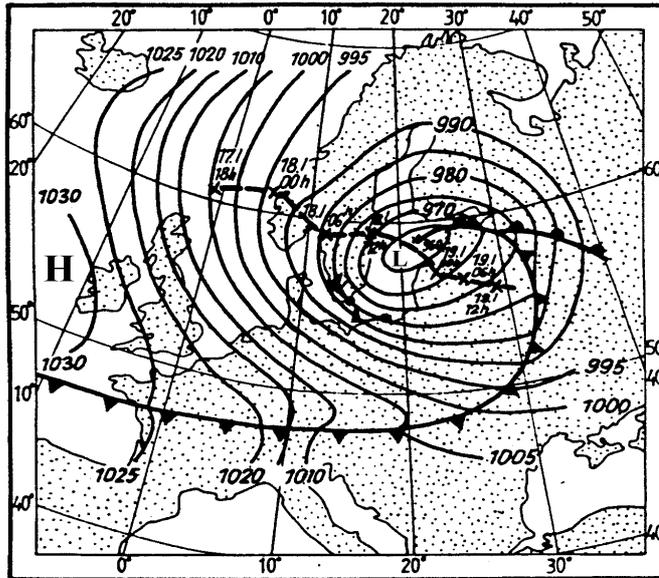


Abb. 6.4.1. Zugbahn des Tiefdruckzentrums zwischen dem 17. Januar, 18 UTC und 19. Januar, 12 UTC; Luftdruckverhältnisse und Windfeld am 18. Januar 1983, 18 UTC

Eine genauere Betrachtung des Windfelds entlang der südlichen Ostseeküste erhellt den Zusammenhang zwischen der Windeinwirkung und den daraus resultierenden Wasserstandsschwankungen an der Küste. Am 18. Januar nahm der zunächst aus SW bis W-SW wehende küstenparallele Wind der Stärke 7-8 Bft zu und erreichte in Böen 10 Bft. Später drehte der Wind in ablandige Richtung, z.T. S-SW, vor allem im westlichsten Teil des Beckens. Um ca. 9 UTC drehte der Wind im südlichen Küstenbereich jedoch scharf auf NW und erreichte im Bereich von Bornholm bereits um die Mittagszeit Sturmstärke von 10-11 Bft. An der südlichen Ostseeküste drehte der Wind jetzt auf W-NW (8-9 Bft), zuerst im mittleren Teil und später im Westen. Am 18. Januar um ca. 18 UTC und am 19. Januar um 00-03 UTC drehte der Wind mit 7-9 Bft auf NW – N und flaute nur langsam ab.

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Am Tag vor dem Sturm war der Meeresspiegel im westlichen Küstenbereich nur unwesentlich höher als normal (z.B. in Wismar 500-510 cm) und im mittleren Küstenbereich mäßig erhöht (in Sassnitz und Świnoujście 550 cm). Der schwere Sturm am 18. und 19. Januar und insbesondere das Windfeld entlang der Küste verstärkte zunächst (am 18. Januar) den Unterschied zwischen den Wasserständen in den beiden Küstenbereichen. Am 19. Januar kam es dann an der gesamten Küste zu einem raschen Anstieg des Wasserstandes über die Warnpegel hinaus.

Im westlichen Teil der Küste führten die stürmischen ablandigen Winde zu einem Absinken des Wasserstandes um ca. 10 cm/h. Die Wasserstände blieben etwa 8 Stunden lang sehr niedrig, z.B. nur 410 – 415 cm in Wismar. Am 19. Januar um Mitternacht, als der Wind plötzlich auf WNW – NW drehte, begannen die Wasserstände rasch um 28-29 cm/h zu steigen und erreichen am 19. Januar zwischen 13 und 14 Uhr ihren Höchststand. Die in Wismar und Warnemünde gemessenen Maximalwerte betrugen 634 cm bzw. 617 cm. Die Differenz zwischen den Extremwerten, die innerhalb von 18 Stunden gemessen wurden, betrug in Wismar über 220 cm, und in Warnemünde 190 cm.

Weiter östlich erfolgte am 18. Januar um 9 UTC in Kołobrzeg und etwas schwächer ausgeprägt in Świnoujście die unmittelbare Reaktion der Wasserstände auf die Windeinwirkung. Die Windrichtung drehte leicht und begann zwischen WSW und W zu schwanken, d.h. der Wind war zeitweise aufländig. Das führte zu raschen Wasserstandsänderungen (z.B. in Kołobrzeg, wo der Wasserstand sich am 18. Januar zwischen 7 und 8

UTC um 25 cm/h änderte). Als die stürmischen Winde am frühen Nachmittag des 18. Januar leicht rückdrehten auf ablandige W–SW-Richtungen, fielen die Wasserstände, wobei in Sassnitz und Świnoujście niedrigere Wasserstände als in Kołobrzeg gemessen wurden. Die volle Wirkung des südlich von Bornholm entlangziehenden Nordweststurms traf zuerst Kołobrzeg und Sassnitz, wo der Wasserspiegel um 15 UTC zu steigen begann, und am 18. Januar um 9 UTC dann Świnoujście. Der Höchststand in diesem Bereich der Küste wurde am 19. Januar um 9 UTC in Świnoujście (623 cm) und Sassnitz erreichte (624 cm) und nur eine Stunde danach in Kołobrzeg, wo der Wasserstand auf 640 cm stieg. Im westlichen Teil der Küste blieb der Wasserstand in Wismar 17 Stunden lang oberhalb des Warnpegelstands (580 cm), in Warnemünde 16 Stunden und in Sassnitz 35 Stunden. Im mittleren Küstenabschnitt blieb der Wasserstand in Świnoujście 31 Stunden lang über dem Warnpegelstand von 580 cm und in Kołobrzeg 24 Stunden lang (über 610 cm). Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (577 cm am 17. Januar) lag die Dauer dieser Sturmflut zwischen 18 Stunden in Warnemünde und 38 Stunden in Kołobrzeg.

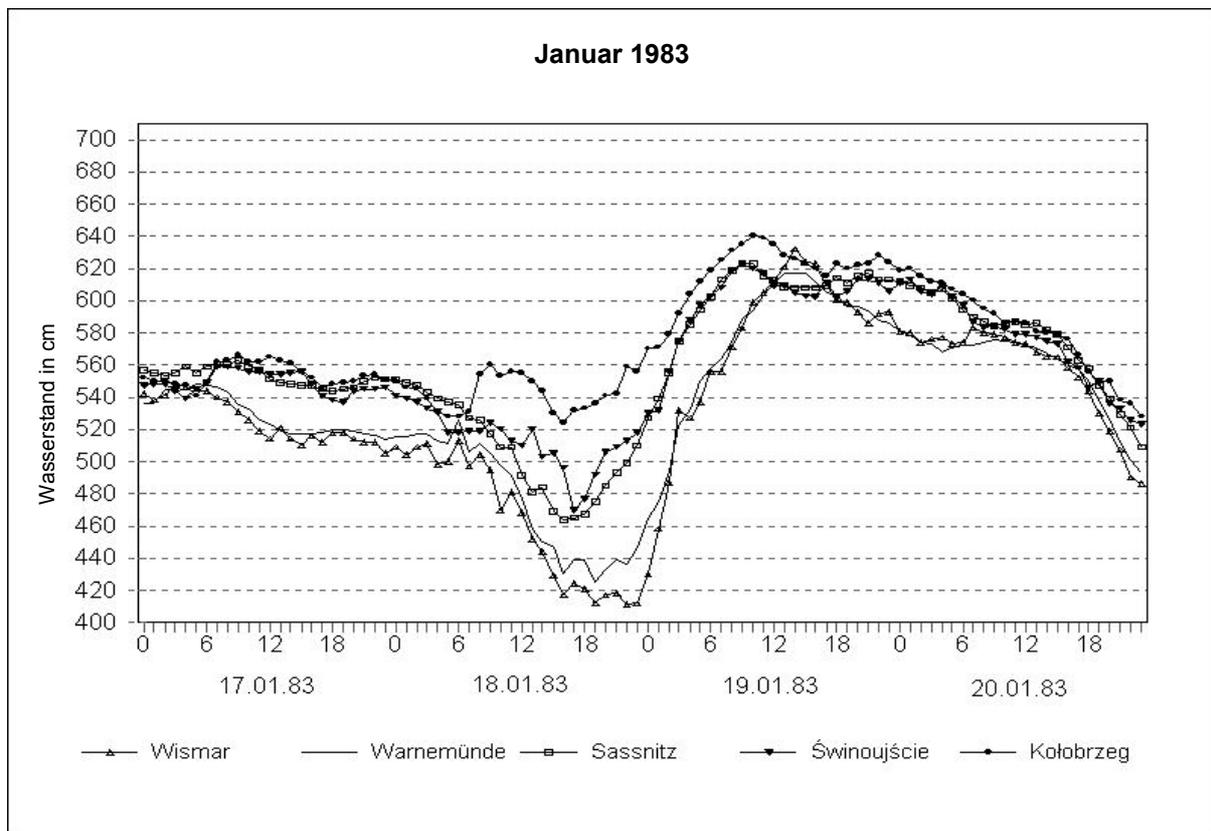
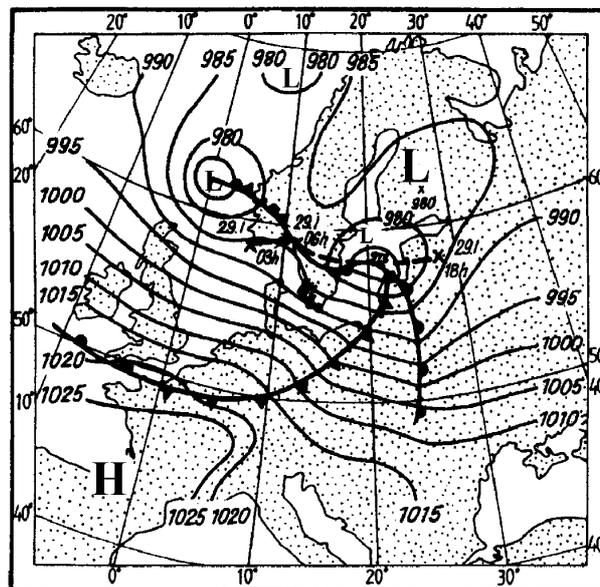


Abb. 6.4.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 1983

## 6.5 Februar 1983

### Meteorologische Lage

Während einer stabilen Lage mit zonaler Zirkulation über Europa (Abb. 6.5.1.) erreichte eines der Tiefdruckzentren in einer langen Reihe ostwärts ziehender Störungen seinen tiefsten Wert von 954 hPa am 1. Februar, 03 UTC über Schottland und füllte sich langsam, während es rasch nach Ost/Südosten abzog. Vor der herannahenden Tiefdruckfront drehten die bisher mäßigen, allmählich zunehmenden Winde über der westlichen und südlichen Ostsee auf SO. Zwischen 9 und 15 UTC überquerten die Fronten die westliche und südliche Ostsee, und der Tiefdruckkern zog langsam weiter in südöstlicher Richtung über den Eingang zu Skagerrak und Norddänemark hinweg zur südlichen Ostsee, während der Luftdruck über West- und Mitteleuropa stark anstieg. Dadurch entstand ein bedrohlich steiler Druckgradient, der zu einem heftigen SW-W-Sturm mit anfänglich 8-9 Bft und bald darauf 9-11 Bft über der südlichen Nordsee führte. Gegen Mittag erreichte der Sturm leicht abgeschwächt mit 7-8 Bft die westliche Ostsee und nahm auf seinem Weg nach Osten weiter leicht ab. In den späten Abendstunden des 1. Februar, als sich das Zentrum des Tiefs über der südlichen Ostsee befand, führte eine der über das dänische Sundgebiet ziehenden Sekundärfronten zu einer starken Drehung des W-SW-Sturms auf Nordwest über der westlichen und südlichen Ostsee. Als das Sturmtief am 2. Februar um die Mittagszeit die Bucht von Riga erreicht hatte (Abb. 6.5.2.), drehte der Sturm weiter und wurde böig, bei Windstärke 7-8 Bft und Böen von 9 Bft. Um ca. 15-18 UTC begann sich der Luftdruckgradient abzuschwächen, aber die auflandigen NW-SW-Winde hielten noch zwei Tage lang an, bis zum 4. Februar um die Mittagszeit.



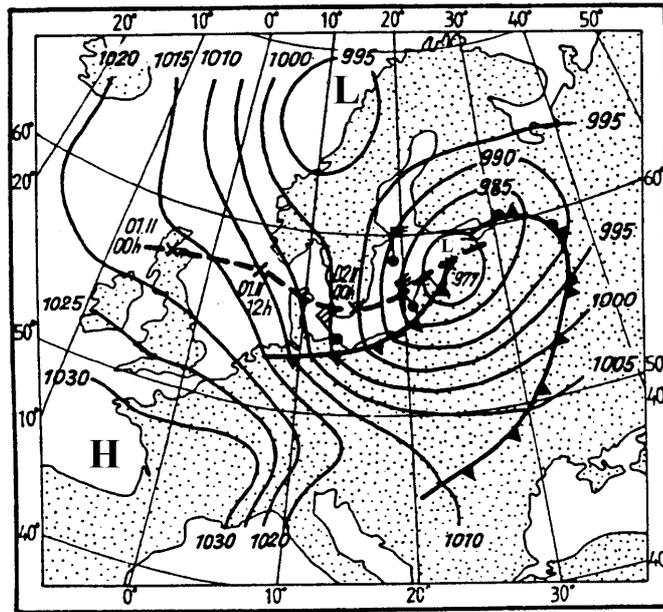


Abb. 6.5.2. Zugbahn des Tiefs vom 1. Februar, 00 UTC, bis 2. Februar 1983, 12 UTC; Luftdruck und Windfeld am 2. Februar 1983, 12 UTC

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Aufgrund einer intensiven westlichen Luftströmung über der Nord- und Ostsee in den letzten Januartagen 1983 (Abb. 6.5.1.) führten die häufig Sturmstärke erreichenden vorwiegend westlichen Winde zu relativ hohen Wasserständen an der südlichen Ostseeküste. In den späten Abendstunden des 1. Februar wurde der mittlere Wasserstand um 30-70 cm überschritten.

Um die Mittagszeit des 1. Februar begannen die Wasserstände in diesem Gebiet unter der Einwirkung des zeitweise Orkanstärke erreichenden SW-W-Sturms über der westlichen Ostsee rapide zu fallen. In Wismar z.B. fiel der Wasserstand innerhalb von 10 Stunden um 136 cm. Der niedrigste Stand von nur 419 cm wurde um 21 UTC gemessen. Eine Stunde später wurde in Warnemünde der tiefste Stand mit 455 cm gemessen. An anderen Pegelstationen fielen die Minima viel flacher aus, weil der Südweststurm weiter östlich wegen der nordwestlichen Luftströmung im Gefolge der südwärts wandernden Frontlinie nicht seine volle Stärke erreichte.

Als der Nordweststurm spät abends am 1. Februar auf die Gewässer der westlichen Ostsee traf, begann ein rascher, unregelmäßiger Anstieg der Wasserstände. Auf anfängliche Schwankungen des Wasserspiegels in Wismar folgte ein rascher Anstieg des Wasserstandes um 131 cm innerhalb von sechs Stunden. Der stärkste Anstieg um 47 cm/h wurde zwischen 09 und 10 UTC gemessen. Insgesamt stieg das Wasser während dieser Sturmflut um 1,4 bis 1,6 m. Die Höchststände wurden zwischen 09 und 10 UTC gemessen: 613 cm in Wismar, 608 cm in Warnemünde und 619 cm in Sassnitz. Zwei Stunden später betrug der Pegelstand in Świnoujście 599 cm und in Kołobrzeg 627 cm. Die Phase des Höchststands war kürzer: ca. 4-5 Stunden.

Die Hochwasserstände (über 560 cm) während dieser Sturmflut hielten etwa 16-22 Stunden an, wonach sie allmählich auf die Warnpegelwerte absanken. Infolge durchziehender Tiefausläufer über der Ostsee mit relativ starken westlichen bis nordwestlichen Luftströmungen blieben die Wasserstände im gesamten Gebiet bis zum 5. Februar hoch.

Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (568 cm am 2. Februar) lag die Dauer dieser Sturmflut zwischen 14 Stunden in Wismar und 33 Stunden in Kołobrzeg.

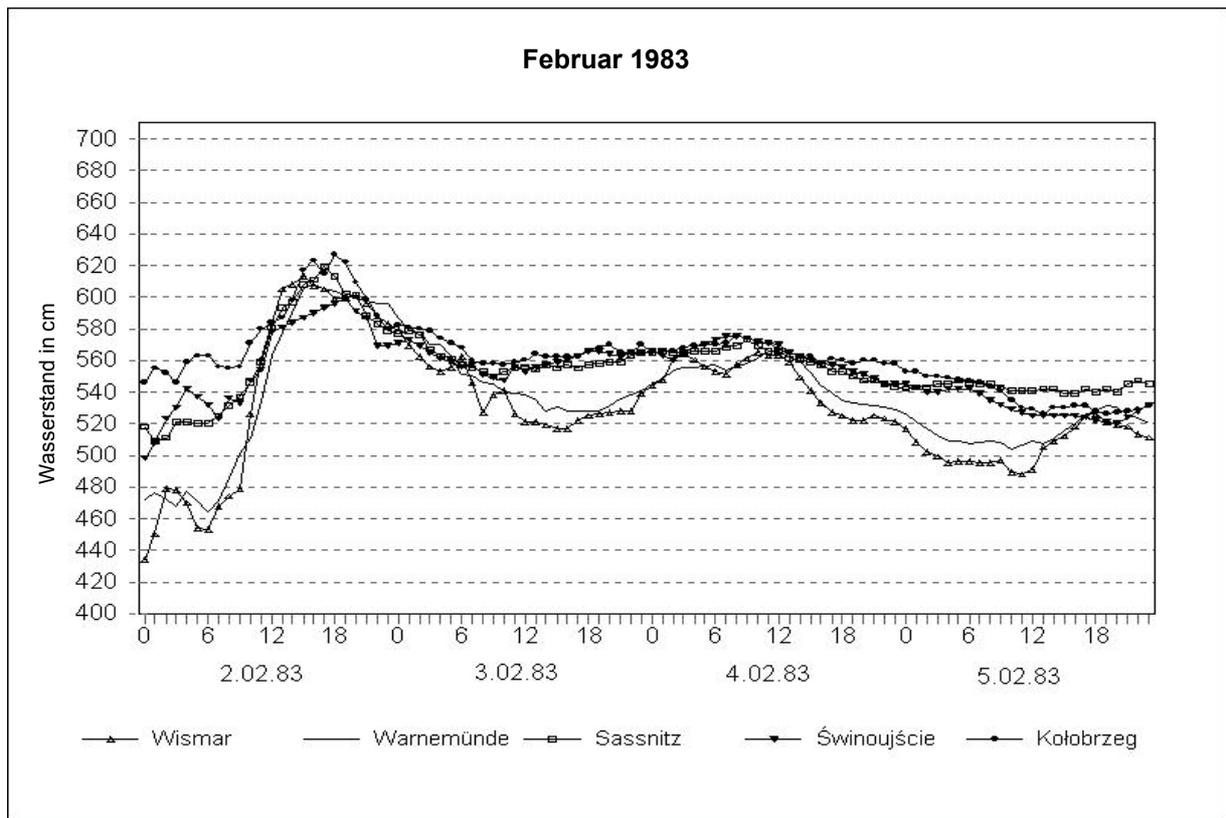


Abb. 6.5.3. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Februar 1983

## 6.6 November 1983

### Meteorologische Lage

Am 26. November 1983 befand sich die Ostsee im Einflussbereich eines Tiefdruckausläufers mit mäßiger bis starker südwestlicher Luftströmung. Im Verlauf des Tages, gegen 18 UTC, tauchte eine neue, sehr aktive Störung (971 hPa) westlich von Irland auf (ca. 52°N, 20° W) und zog rasch in östlicher Richtung. Wenige Stunden später hatte die Störung die Britischen Inseln überquert und erreichte die Nordsee um Mitternacht herum. Hier kam sie fast zum Stillstand, vermutlich infolge einer Blockade durch einen Hochdruckrücken über Skandinavien, bevor sie langsam ihren Weg in ost/nordöstlicher Richtung fortsetzte. Das Tief verstärkte sich weiter und wurde mit 954 hPa um die Mittagszeit des 27. November gemessen, nachdem es das Festland in der Nähe der Wesermündung erreicht hatte. Das Tief bewegte sich nun über Land weiter, entlang der südlichen Küsten der Nord- und Ostsee (Abb. 6.6.1), und erreichte Südwest-Weißrussland am 29. November mit 984 hPa im Zentrum. Danach hörte sein Einfluss auf das Windfeld über der Ostsee auf.

Infolge der beschriebenen Luftdrucklage setzten am 27. November über der nördlichen Ostsee Winde aus NO-O ein. Im mittleren Bereich der Ostsee drehte der Wind auf SO, später O, während in der westlichen Ostsee südöstliche Winde vorherrschten, die sich am Abend im gesamten Gebiet zu einem Nordoststurm verstärkten. Am frühen 28. November wurde das gesamte Ostseegebiet von einem O-NO-Sturm von 8 Bft erfasst (Abb. 6.6.1.), der später auf N rückdrehte und 9 Bft erreichte. Am Nachmittag desselben Tages nahm der Wind allmählich auf 6-5 Bft im westlichen bzw. 7-6 Bft im nördlichen Bereich der Ostsee ab.

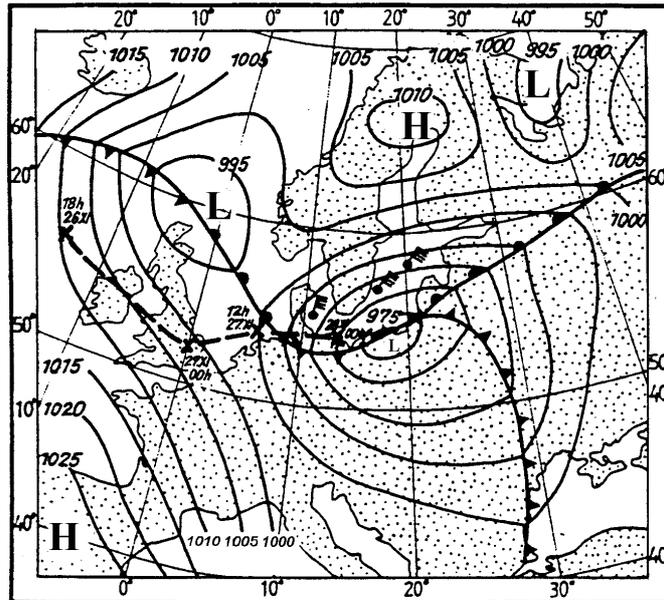


Abb. 6.6.1. Zugbahn des Sturmtiefs zwischen dem 26. und 28. November, 06 UTC; Luftdruck und Windfeld über der südlichen Ostsee am 28. November 1983 um 06 UTC

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Am 26. und 27. November, als die Wasserstände allmählich anstiegen, herrschten im westlichen und mittleren Teil der südlichen Ostseeküste mäßige ablandige bis küstenparallele Winde aus SW, rückdrehend auf SO-O. Der Anstieg der Wasserstände war auf die erhebliche Windstreichlänge aus östlicher Richtung zurückzuführen, die dazu führte, dass Oberflächenwasser in die westlichen Becken hineingedrückt wurde. Dort stieg der Wasserstand am Morgen des 27. November auf ca. 570 cm (Wismar, Warnemünde, Sassnitz) und blieb fast 12 Stunden lang auf diesem Stand (z.B. in Wismar von 8 bis 19 UTC). Dann, um ca. 20 UTC am 27. November, während das Sturmzentrum weiter nach Osten zog, führte der direkte Aufprall des Nordsturms auf die westlichen Ostseeküsten zu einem Anstieg der Wasserstände um 40 cm innerhalb von 2 Stunden. Während der nun folgenden Phase des Höchststandes, die in Wismar 14 Stunden lang anhielt, schwankten die Wasserstände geringfügig zwischen 620 und 645 cm. Das Maximum von 646 cm wurde in Wismar am 28. November um 11 UTC gemessen. Der Pegelstand in Warnemünde erreichte 634 cm und in Sassnitz 619 cm. Im mittleren Bereich der Küste begann der Anstieg später, und die Phase des Höchststandes war zwar gleich lang, setzte aber später ein, z.B. in Kołobrzeg ungefähr 8 Stunden später als in Wismar. Die Höchststände waren niedriger: 613 cm in Świnoujście am 28. November um 13 UTC und 612 cm in Kołobrzeg um 11 UTC. Während der Sturmflut wurde der mittlere Wasserstand um 1,1 - 1,5 m überschritten. Die Pegel an diesem Teil der Küste blieben 31 – 50 Stunden im Warnbereich und über 20 Stunden im Alarmbereich. Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (552 cm am 26. November) lag die Dauer dieser Sturmflut zwischen 39 Stunden in Świnoujście und 54 Stunden in Sassnitz.

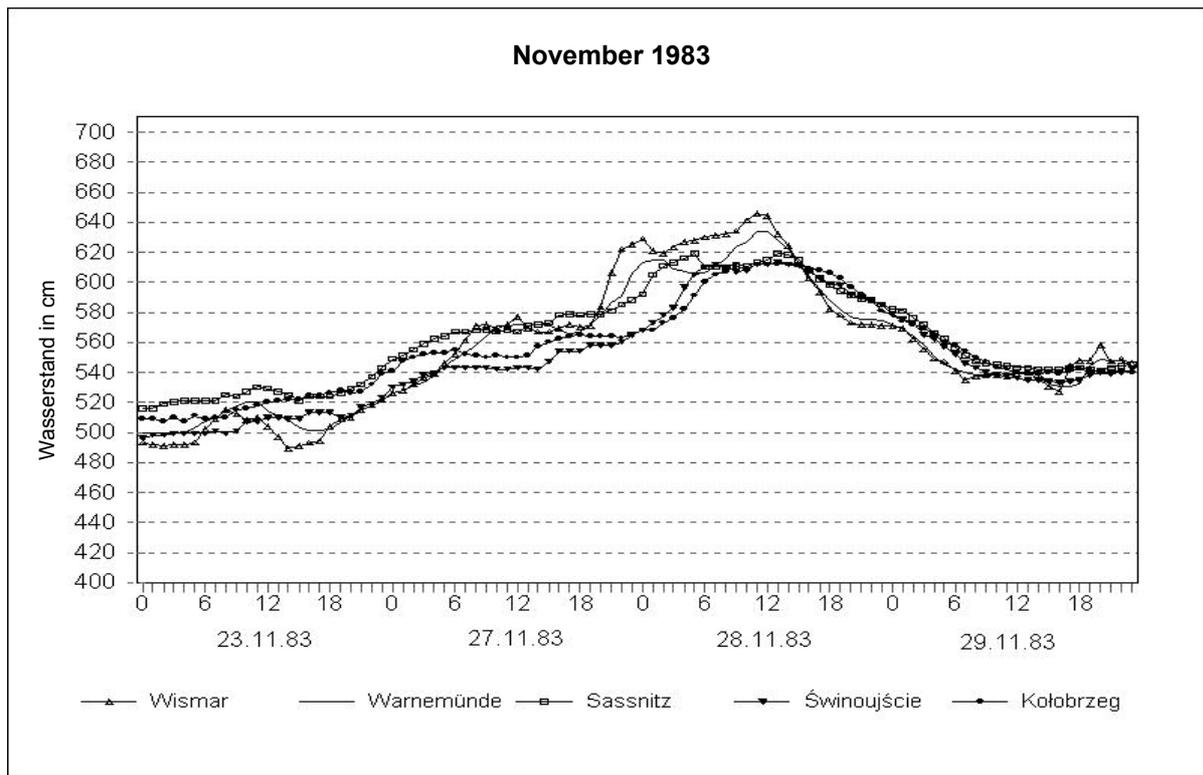


Abb. 6.6.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom November 1983

## 6.7 Oktober 1986

### Meteorologische Lage

Am 19. Oktober herrschte im Gebiet der Ostsee eine leichte bis mittlere Luftströmung aus SW – SO, als sich am Nachmittag des 20. Oktober ein aktives Tiefdruckzentrum von Irland her näherte, die südliche Nordsee überquerte und, während es sich weiter verstärkte, um 21 UTC das Gebiet der südwestlichen Ostsee erreichte. Zu diesem Zeitpunkt betrug der Luftdruck im Zentrum des Tiefs 973 hPa.

Vor dem herannahenden Sturmzentrum, das sich dicht entlang der Küstenlinie in Richtung Osten bewegte, drehte der Wind auf SO – O, weiter auf See auf NO, und nahm auf 7 Bft zu. In einem auf das Tief folgenden schmalen Gebiet hinter der Okklusion, mit sehr steilem Luftdruckgradienten, traf am 20. Oktober um 21 UTC ein N-NW-Sturm mit bis zu 8-9 Bft auf Teile der westlichen Ostseeküste. Der auflandige Sturm wanderte langsam ostwärts, während sich der Druckgradient über der westlichen Ostsee abschwächte (Abb. 6.7.1.). Um 12 UTC überquerte das Tiefdruckzentrum (982 hPa) die litauische Küste und zog weiter nach Osten, so dass zwischen 12 und 15 UTC nur noch die Küsten im Bereich der Danziger Bucht im Einflussbereich des NW-Sturms lagen.

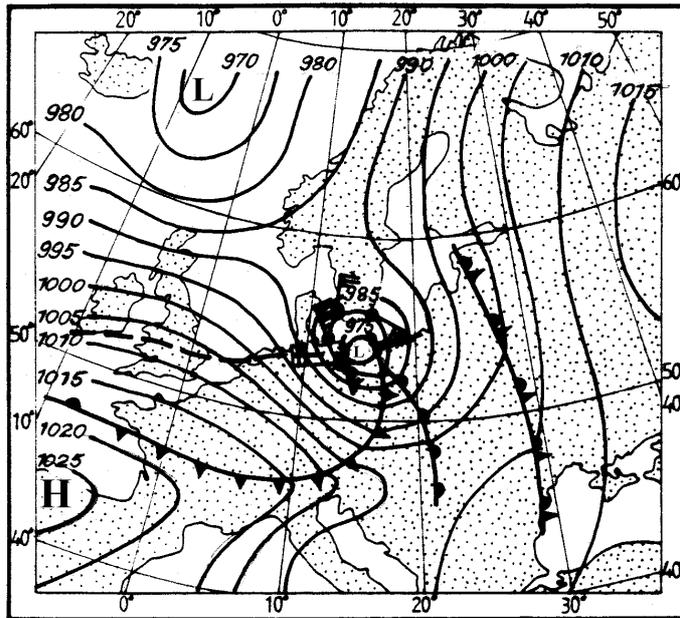


Abb. 6.7.1. Zugbahn des Sturmtiefs zwischen dem 19. und 21. Oktober, 12 UTC; Luftdruck und Windfeld über der südlichen Ostsee am 21. Oktober 1986 um 06 UTC

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Am 20. Oktober stieg der Wasserstand im westlichen Teil der südlichen Ostseeküste allmählich von niedrigen Werten am Tagesanfang auf mittlere Werte im Tagesverlauf, während der Wasserstand im mittleren Bereich der Küste leicht um mittlere Pegelwerte schwankte.

Im westlichsten Abschnitt der Küste führten ablandige Winde, die das herannahende Sturmtief ankündigten, um die Mittagszeit herum zu geringfügig fallenden Wasserständen, die wieder leicht anstiegen, als das Zentrum des Tiefdruckgebietes die Pegel am Nachmittag erreicht hatte. Nun erfolgte ein rascher Anstieg der Pegelstände, als die Windscherlinie (Okklusion) in südlicher Richtung durchzog und der auflandige N-NW-Sturm auf die Küste traf. Um 21 UTC stieg der Pegel in Wismar innerhalb einer Stunde um über 1 m, vermutlich infolge einer entlang der Windscherlinie verlaufenden Dünung, die mit der Tiefdruckfront weiterwanderte. Der Höchststand von 619 cm wurde um 00 UTC gemessen. Im Anschluss daran fielen die Pegelstände leicht und sanken im Einflussbereich des sich abschwächenden auflandigen Sturms innerhalb weniger Stunden auf die normalen Werte.

Ähnliche Wasserstandsänderungen wurden im mittleren Teil der Küste registriert, jedoch mit einer Zeitverzögerung von 6-9 Stunden. Am 20. Oktober zwischen 12 und 19 UTC fielen die Wasserstände in Świnoujście und Kołobrzeg zunächst leicht (um ca. 40 cm) infolge des ablandigen Südoststurms im Vorfeld des herannahenden Tiefs. Der Wasserstand begann um Mitternacht zunächst mäßig schnell, später jedoch rasch anzusteigen. Das Maximum in Sassnitz, gemessen am 21. Oktober zwischen 02 und 05 UTC, verlief in flacher Kurve. In Świnoujście war das Maximum steiler und erreichte 590 cm mit Höchststand zwischen 6 und 7 UTC. In diesem Bereich der Küste war der stündlich gemessene Pegelanstieg deutlich geringer als im Westen: 22 cm/h in Świnoujście und 54 cm/h in Kołobrzeg. Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (509 cm am 19. Oktober) lag die Dauer dieser Sturmflut zwischen 15 Stunden in Wismar und 24 Stunden in Sassnitz.

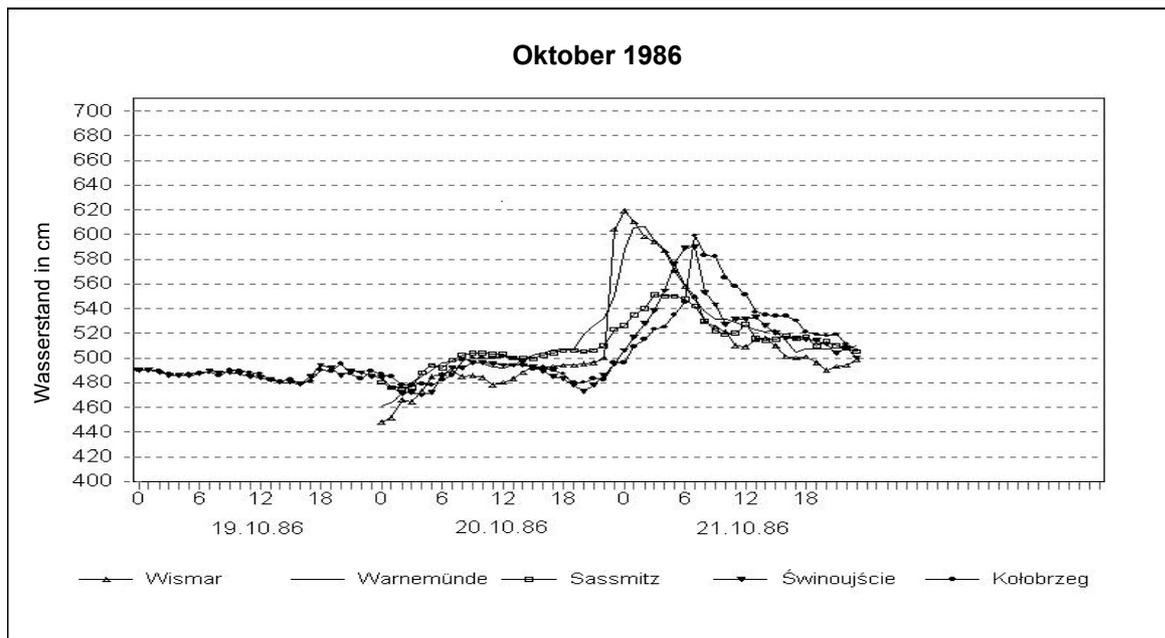


Abb. 6.7.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Oktober 1986

## 6.8 Januar 1987

### Meteorologische Lage

In einem Tiefdruckgebiet am westlichen Rand eines Hochdruckrückens (1030 hPa) über Skandinavien bildete sich in den Morgenstunden des 8. Januar ein aktives Tiefdruckzentrum über dem Skagerrak. Das Tief verstärkte sich, während es langsam in südöstlicher Richtung zog. Das damit verbundene Frontensystem erreichte am Nachmittag die Küsten der südlichen Ostsee und zog am 9. Januar weiter in süd-südöstlicher Richtung über Polen hinweg (Abb. 6.8.1.).

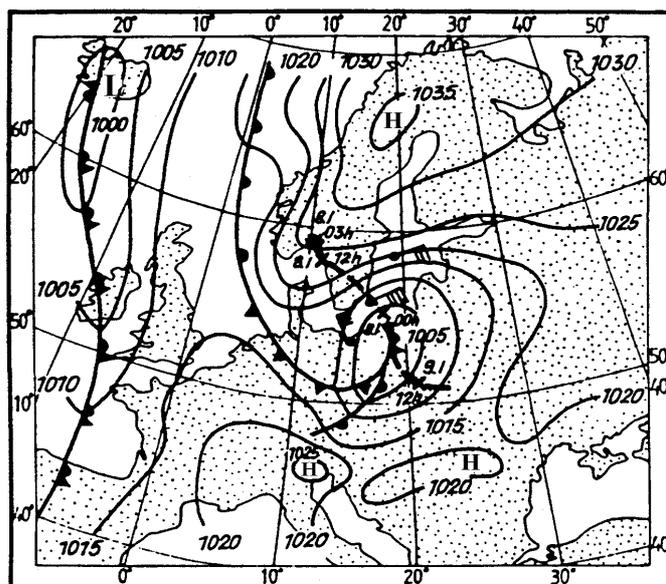


Abb. 6.8.1. Zugbahn des Tiefdruckgebiets zwischen 03 UTC am 8. Januar und 18 UTC am 9. Januar; Luftdruck und Windfeld über der südlichen Ostsee am 9. Januar 1987 um 03 UTC

Am 8. Januar herrschten über den südlichen Ostseebecken leichte bis mäßige Winde aus W bis SW/SO. Bei Annäherung des Tiefs drehte der Wind auf SW und erreichte über der westlichen Ostsee mäßige bis hohe Windgeschwindigkeiten. Ein NW-N-Sturm der Stärke 6-8 Bft entwickelte sich hinter dem Tief und traf gegen 15 UTC am 8. Januar auf die Küste der Wismarschen Bucht und gegen Mitternacht mit verstärkter Gewalt auf die Küste der Pommerschen Bucht und Teile der mittleren Ostseeküste. In den Frühstunden des 10. Januar flaute der inzwischen aus NO kommende Sturm allmählich ab, während das Tief in südlicher Richtung abzog.

Über der südlichen Ostsee herrschte jedoch immer noch NO-Sturm wechselnder Stärke. Es wurden infolge extrem kalter kontinentaler Luftmassen über dem im südlichen Bereich noch nicht ganz zugefrorenen Meer (die Küstenstationen meldeten am 10. Januar um 6 UTC  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  in Kaliningrad,  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  in Klaipeda,  $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$  in Liepaja,  $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$  in Riga und  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  in Helsinki) sehr starke Böen registriert.

Am 11. Januar stieg der Luftdruck in dem über Skandinavien liegenden Hoch auf 1052 hPa. Der steilste Gradient, der mit einem stetigen NO-Sturm der Stärke 8-10 Bft einherging, wurde an der südlichen und südöstlichen Küste von Schweden gemessen. Am 12. Januar zwischen 06 und 21 UTC, während sich eine ausgedehnte, flache Zone tieferen Luftdrucks über Mitteleuropa bildete und nordwärts bewegte, erreichte der Sturm seine höchste Stärke. Der Bereich des steilsten Gradienten, in dem der heftigste Sturm tobte, bewegte sich auf die skandinavische Küste und den westlichsten Teil der westlichen Ostsee zu, während im Bereich der südlichen und südöstlichen Ostsee weiterhin etwas schwächere, vorwiegend küstenparallele Winde herrschten (Abb. 6.8.2.). Erst gegen 00 UTC am 13. Januar flaute der Wind an der südlichen Ostseeküste allmählich ab, während der Sturm auf See und im Gebiet der Zentralen Ostsee noch mehrere Tage lang anhielt.

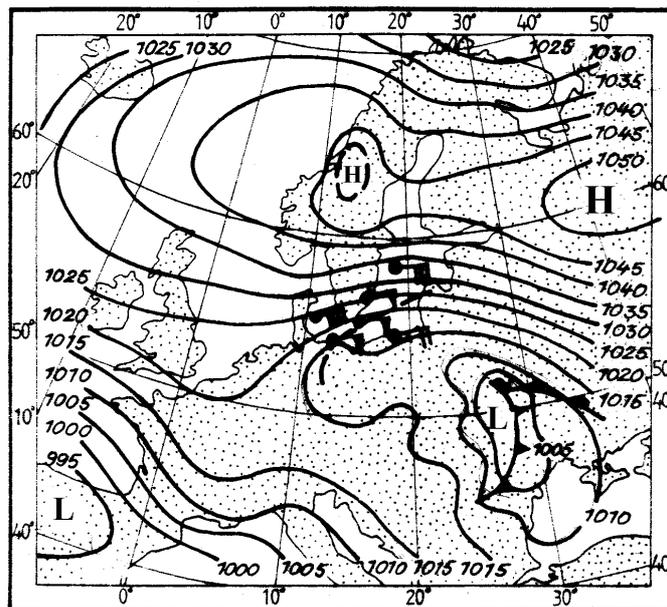


Abb. 6.8.2. Luftdruck und Windfeld am 12. Januar 1987, 18 UTC, über der südlichen Ostsee

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Während der Sturmflut vom 8. - 9. Januar 1987 begann der Wasserstandsanstieg in Wismar und Warnemünde zwischen 12 und 15 UTC am 8. Januar, als der Wind auf NW drehte und Sturmstärke erreichte. Zwischen 18 und 21 UTC stieg der Wasserstand im mittleren Bereich der Küste rasch an infolge des hinter der Kaltfront einsetzenden Sturms der Stärke 7-8 Bft aus Nordwest bis Nord. Der Höchststand wurde zuerst in Sassnitz erreicht (605 cm um ca. 03 UTC am 9. Januar), wo auch der stärkste mittlere Anstieg pro Stunde ( $10\text{ cm/h}$  bzw.

111 cm in 11 Stunden) registriert wurde. Als nächstes wurde der Höchststand von 612 cm gegen 07 UTC in Świnoujście erreicht, mit einem mittleren Anstieg von ca. 9 cm/h, und in Kołobrzeg mit einem doppelten Maximum von 607 und 609 cm zwischen 07 und 10 UTC. In Wismar und Warnemünde, wo der anfänglich aus nördlicher Richtung kommende Sturm von 6-7 Bft auf NO drehte und zwischen 09 und 13 UTC am 9. Januar 7-8 Bft erreichte, trat der Höchststand zuletzt ein. Die Höchstpegelstände von 611 cm in Wismar und 600 cm in Warnemünde wurden beide um ca. 13 UTC erreicht (Abb. 6.8.3.).

Der stärkste stündliche Anstieg wurde am 9. Januar in Kołobrzeg zwischen 05 und 06 UTC mit 24 cm/h gemessen und um ca. 00 UTC mit 11 cm/h in Warnemünde. Der Wasserstand blieb fast 20 Stunden lang oberhalb der Warnpegel. Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (520 cm am 9. Januar) betrug die Dauer dieser Sturmflut 33 Stunden.

Die zweite Phase vom 12.-13. Januar war durch einen am 11. Januar nachmittags beginnenden langsameren Anstieg der Wasserstände gekennzeichnet. Im mittleren Teil der Küste wurden die Warnpegel nur an den Küsten der Pommerschen Bucht überschritten, wo die Höchststände am 12. Januar zwischen 17 und 19 UTC erreicht wurden mit 599 cm in Świnoujście (14 - 16 UTC) und 614 cm in Sassnitz. Die Wasserstände in diesem Gebiet begannen zu sinken, als der Bereich schwächerer, nach SO drehender Winde das Seegebiet nordwestlich von Bornholm und Rügen erreicht hatte (Abb. 6.8.2.). In Warnemünde wurde der Höchststand zwischen 22 und 23 UTC am 12. Januar erreicht, mit einem gemessenen Pegelstand von 642 cm. In Wismar, wo zwischen 00 und 01 UTC am 13. Januar den Höchststand von 673 cm erreicht worden war, fiel der Wasserstand zuletzt. Bezogen auf den Vergleichswasserstands-Indikator (519 cm am 11. Januar) lag die Dauer der zweiten Phase der Sturmflut zwischen 77 Stunden in Kołobrzeg und 90 Stunden in Warnemünde.

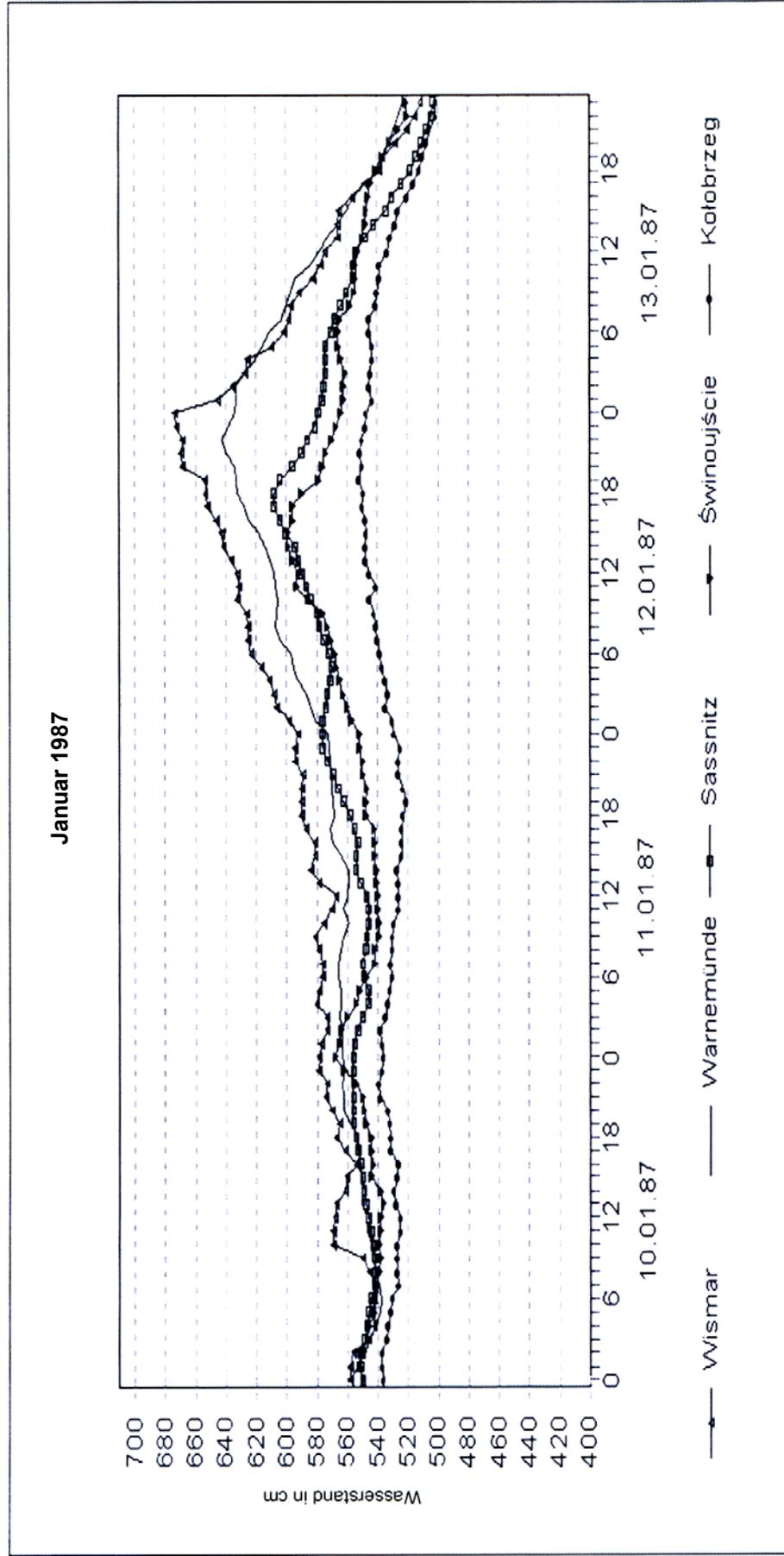


Abb. 6.8.3. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 1987

## 6.9 November 1988

### Meteorologische Lage

Ende November 1988 zogen zahlreiche vom Nordatlantik her kommende Tiefdruckgebiete über Skandinavien und die Ostsee hinweg. Am 28. November um ca. 06 UTC kam es zur raschen Verstärkung eines zunächst über Schottland liegenden und dann ost-südostwärts wandernden großen Tiefs mit einem Luftdruck von 992 hPa im Zentrum. Am 29. November, 06 UTC, hatte das Tief Südschweden erreicht und gegen 18 UTC am selben Tag Litauen, mit einem Druck von nur 969 hPa im Zentrum des Tiefs (Abb. 6.9.1.). Das Tiefdruckgebiet wurde von einer Okklusion mit stark wechselhaften Winden begleitet. Am 29. November, nach Durchzug der Okklusion über die westliche und südliche Ostsee und anschließend die südöstlichen Becken drehten die zunächst südlichen bis westlichen stürmischen Winde der Stärke 7 – 9 Bft rasch auf NW – N. Dabei verlagerte sich die Zone des stärksten Gradienten langsam westwärts, so dass der Nordsturm mit 8 – 10 Bft am heftigsten erst auf den östlichen Küstenbereich traf und dann zur mittleren und westlichen Ostseeküste weiterzog, die er am Nachmittag erreichte. In den Abendstunden des 29. November nahm der Wind zunächst im mittleren Küstenbereich ab, in den Morgenstunden des 30. November dann auch an der westlichen Küste. Am Morgen des 30. November nahm der Wind von 8 auf 5 Bft ab.

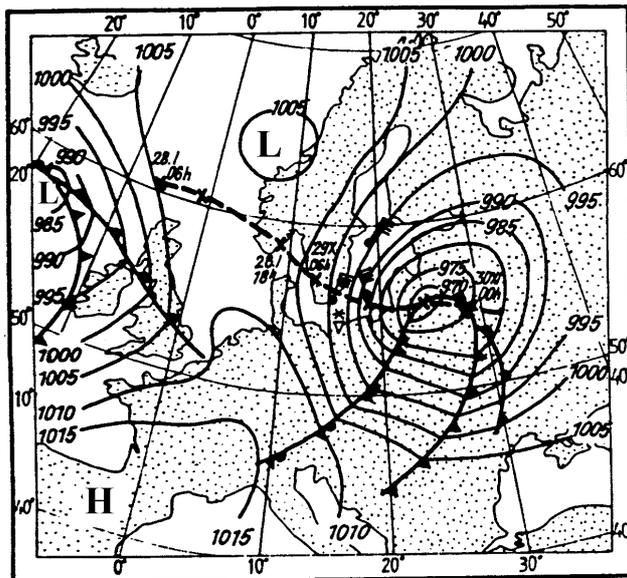


Abb. 6.9.1. Zugbahn des Tiefdruckgebiets vom 28. November, 18 UTC, bis 30. November, 00 UTC; Luftdruck und Windfeld über der Ostsee am 29. November 1988, 18 UTC

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Der Anstieg des Wasserstandes begann um ca. 09 UTC am 29. November infolge eines schwach auflandigen stürmischen Windfelds (bis zu 10 Bft) im Vorfeld der Okklusionsfront des Tiefs mit Zentrum südwestlich Gotland. Um die Mittagszeit herum zog eine Böenlinie über die Küste. Störungen des Windfelds entlang dieser Böenlinie, und zwar hauptsächlich Richtungsänderungen, verursachten Wasserstandsschwankungen an der Küste. Zwischen 11 und 13 UTC registrierte der Pegel Wismar zuerst ein Absinken des Wasserstandes, das zu diesem Zeitpunkt am Pegel Sassnitz kaum zu erkennen war. Zwischen 12 und 14 UTC wurde es eindeutig in Świnoujście und Kołobrzeg registriert. Später, als der N–NW-Sturm die

gesamte Ostsee erfasst hatte, stieg der Wasserstand bis zum Erreichen des Höchststands an, zuerst im mittleren Teil der Küste und später im Westen.

Am 29. November wurde der Höchstwasserstand zuerst in Kołobrzeg mit 647 cm gemessen, in Świnoujście mit 621 cm und Sassnitz 620 cm. Charakteristisch für diesen Windstau waren zwei Maxima von 634 cm und 642 cm um 12 bzw. 22 UTC, die in Kołobrzeg im mittleren Bereich der Küste gemessen wurden. Die Maxima von 647 cm in Wismar und 628 cm in Warnemünde wurden zur selben Zeit registriert: am 30. November um 03 UTC. Nach Erreichen der Maxima sank der Wasserstand bei abflauendem Wind am 30. November langsam wieder ab.

Während dieser Sturmflut stieg der Wasserstand im mittleren Ostseeküstenbereich um maximal 25-32 cm/h und im westlichen Bereich 16-23 cm/h. Die Alarmpegel wurden an allen Pegelstationen 9 -14 Stunden lang überschritten. Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (522 cm am 29. November, 09 UTC) dauerte die Sturmflut zwischen 25 Stunden in Wismar und 40 Stunden in Kołobrzeg.

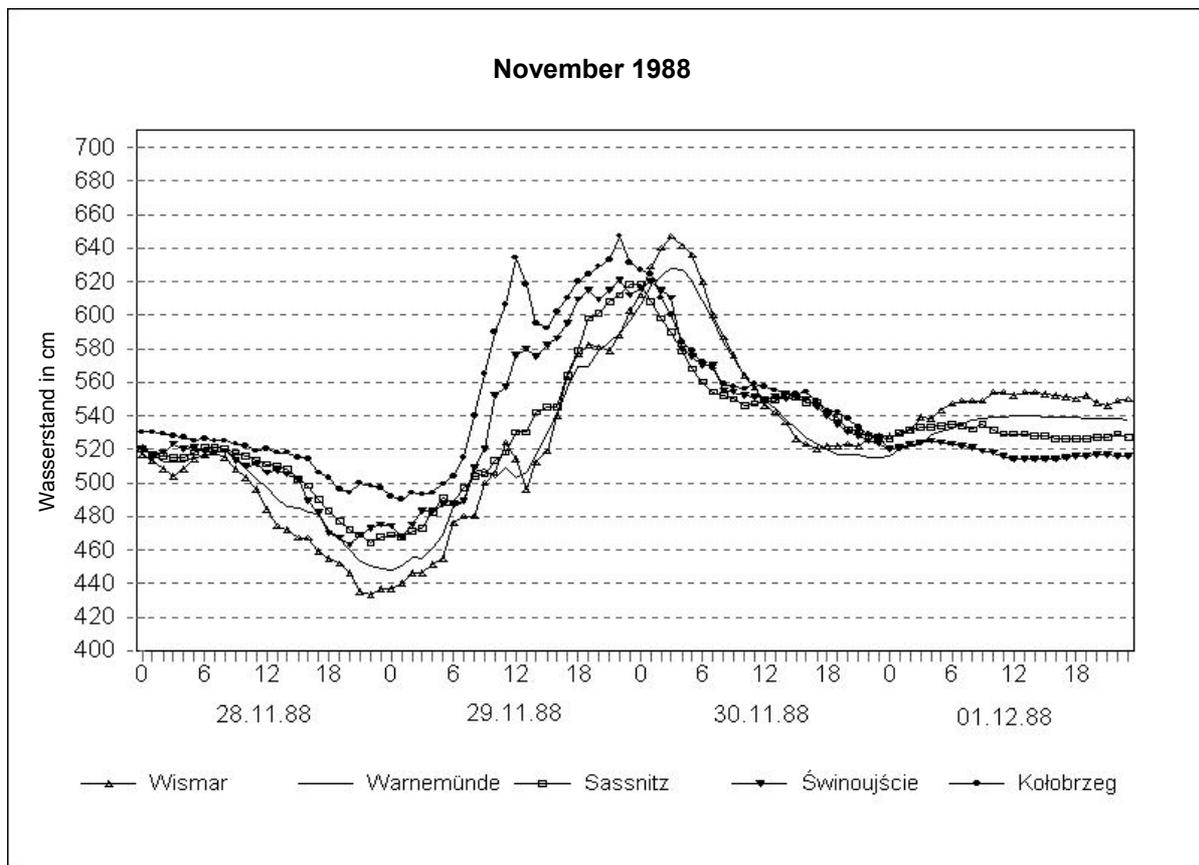


Abb. 6.9.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom November 1988

## 6.10 Dezember 1989

### Meteorologische Lage

Am 5. Dezember 1989 lag westlich der Ostsee ein Hochdruckgebiet über den Britischen Inseln, während sich im Osten ein großräumiges Tief über Russland erstreckte. In den Nachtstunden des 5. Dezember begann ein großes Tief (975 hPa über der Norwegischen See) über Skandinavien und die Bottensee in Richtung nördliche Ostsee zu ziehen, wo es seine Richtung änderte und über Estland hinweg in Richtung Russland zog, während der Luftdruck stark sank. Während das Tief in östliche Richtung zog, wanderte ein sehr aktiver Tiefausläufer mit einem atmosphärischen Frontensystem im Zusammenhang mit dem

abziehenden Tief über der Ostsee in Richtung Süden. Am 5. Dezember und in den Morgenstunden des nächsten Tages führte diese Luftdrucklage zu einer stürmischen SW-Strömung über dem gesamten Gebiet der Ostsee.

Um die Mittagszeit des 6. Dezember erreichte eine Warmfront die südlichen Ostseeküsten, zuerst die westlichen und einige Stunden später auch die östlichen Küstengebiete. Hinter der Frontlinie drehte der Wind erst W, später NW, und nahm auf 9 Bft zu. Am 7. Dezember überquerten im Laufe des Morgens mehrere Fronten die Küstenlinie. Der Nordweststurm drehte weiter und erreichte zeitweise 12 Bft (Abb. 6.10.1.), um dann allmählich abzuflauen. Während das Tiefdruckzentrum unter sehr langsamer Abschwächung nach Osten abzog, lag das Hochdruckgebiet immer noch über Skandinavien, und aufgrund des steilen Druckgradienten zwischen den beiden Zentren herrschte noch viele Stunden lang Starkwind über der Ostsee. Zwischen 12 UTC am 7. Dezember und 6 UTC am 8. Dezember nahm der Luftdruck im Gebiet westlich von Dänemark und über der westlichen Ostsee jedoch ab infolge einer kleinräumigen zyklonalen Störung im Gebiet des Kattegats und Südschwedens. Dabei flaute der Wind zunächst ab und drehte dann bei zunehmender Windstärke wieder auf SW, was zu einem mehrere Stunden lang anhaltenden starken ablandigen Wind über der westlichen Ostsee führte.

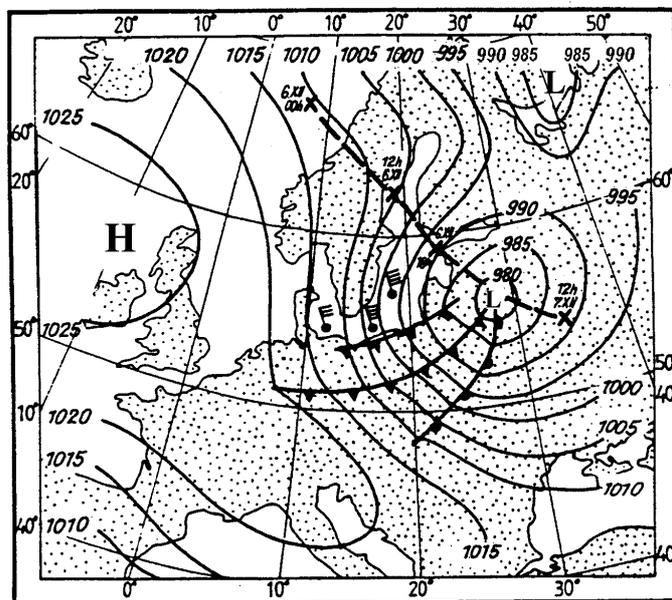


Abb. 6.10.1. Zugbahn des Tiefdruckgebiets vom 6. Dezember, 00 UTC, bis 7. Dezember, 12 UTC; Luftdruck und Windfeld am 7. Dezember 1989, 06 UTC

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Der ablandige Südweststurm am 5. und 6. Dezember führte zu einem allmählichen Absinken der Wasserstände auf 450 – 470 cm. Dieser Effekt war im westlichen Abschnitt der Küste ausgeprägter. Im mittleren Bereich der Küste (Kołobrzeg) sanken die Pegel nicht unter 489 – 490 cm (zwischen 07 und 11 UTC), während der tiefste Stand in Wismar erst ca. 10 Stunden später gemessen wurde, und zwar 448 cm zwischen 16 und 17 UTC am 6. Dezember. Diese Unterschiede verstärkten sich, als starke SW-Winde vor der Front die Küstenlinie stellenweise überquerten. Die Höchstwasserstände wurden am 7. Dezember zwischen 11 und 15 UTC erreicht, je nach Lage der Pegelstation. Die Höchststände lagen zwischen 633 cm in Wismar und 605 cm in Świnoujście (Abb. 6.10.2.).

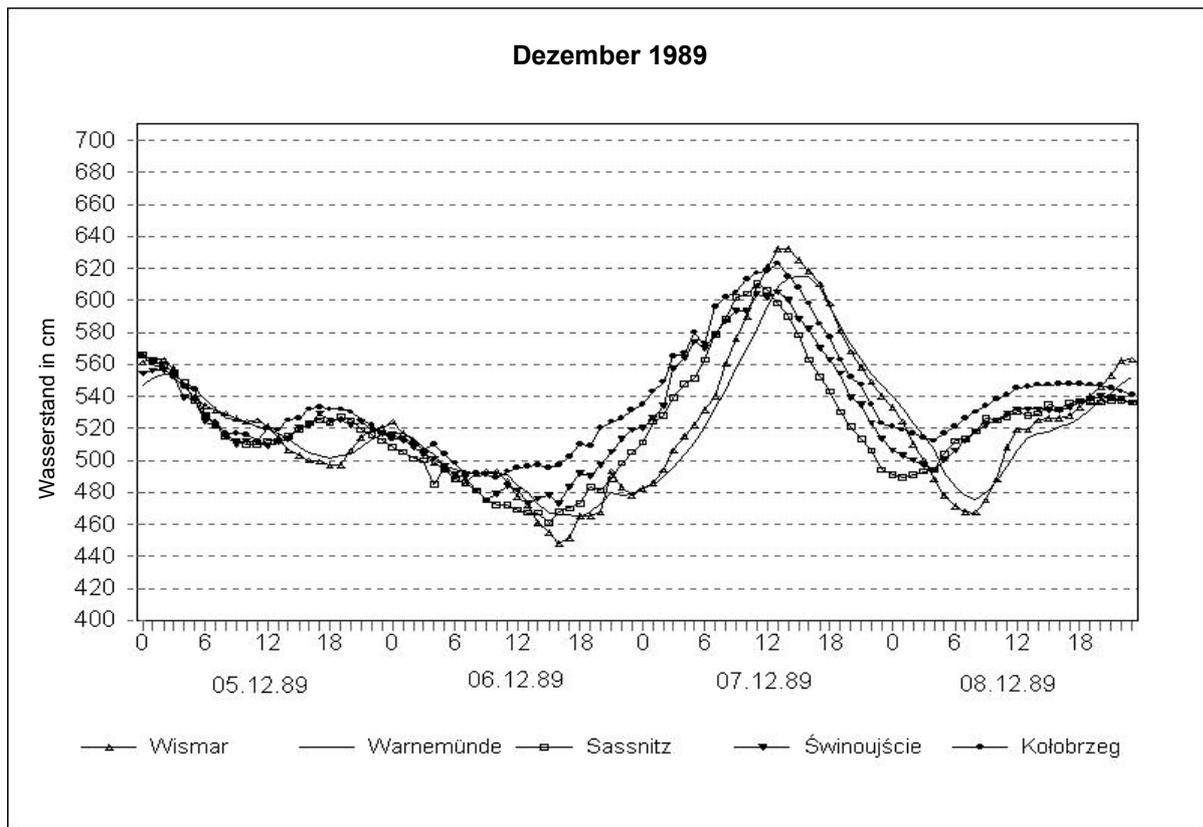


Abb. 6.10.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Dezember 1989

Da dem Windstau verhältnismäßig niedrige Wasserstände vorausgingen, erreichte er eine erhebliche Amplitude zwischen 1,3 m im mittleren Teil der Küste und 1,8 m im westlichen Teil, wobei der Wasserstand in diesen Gebieten durchschnittlich um 6,3 cm/h bzw. 12,6 cm/h anstieg. Die Alarmpegel an allen Pegelstationen wurden überschritten, und die Wasserstände blieben 7 bis 12 Stunden (in Sassnitz bzw. Kołobrzeg) lang auf diesem hohen Stand. Bezogen auf den Referenzpegel-Indikator von 513 cm am 6. Dezember dauerte diese Sturmflut zwischen 21 Stunden in Wismar und 33 Stunden in Kołobrzeg.

Das Ende der Sturmflut wurde durch stürmische ablandige Winde am späten 7. Dezember und dem darauffolgenden Morgen an der westlichen Ostseeküste beschleunigt. Dadurch sanken die Wasserstände nur kurz nach Erreichen des Maximums wieder auf relativ niedrige Werte (467 cm in Wismar und 475 cm in Warnemünde am 8. Dezember um 08 UTC). Sobald der Wind nachgelassen hatte und das Wasser nicht mehr von den Küsten weggedrängt wurde, stieg der Wasserstand an der westlichen Ostseeküste am Nachmittag und Abend des 8. Dezember wieder auf verhältnismäßig hohe Werte an (560 cm im westlichen, 550 cm im mittleren Teil der Küste).

## 6.11 Januar 1992

### Meteorologische Lage

Am 16. Januar lagen Skandinavien und die Ostsee unter dem Einfluss eines weiträumigen starken Tiefdruckgebiets (985 hPa), das vom Ladogasee aus langsam in nördlicher Richtung zog. Gleichzeitig verstärkte sich ein über der Norwegischen See entstandenes sekundäres Tief und zog in den frühen Morgenstunden des 16. Januar in südöstlicher Richtung. Dabei überquerte es das mittlere Skandinavien, die Åland-Inseln, Estland und Lettland innerhalb eines Tages. Sein Zentrum, in dem der Luftdruck auf 982 hPa gefallen war, erreichte den westlichen Teil von Weißrussland am 17. Januar gegen 06 UTC. Inzwischen hatte sich über

den Britischen Inseln ein Hoch gebildet, das sich ostwärts über die Nordsee, Skandinavien und die Ostsee ausdehnte (Abb. 6.11.1.).

In den Nachtstunden des 16. Januar drehten die vorherrschend westlichen Winde der Stärke 6 – 7 Bft über der Ostsee rasch auf NW – N und nahmen auf 7 – 9 Bft zu, zuerst im mittleren Bereich der Küste (um Mitternacht am 16. Januar) und etwas später (ca. 05 UTC am 17. Januar) auch im westlichen Küstenbereich. Der Sturm hielt bis zum 17. Januar um die Mittagszeit an. Nachdem sich das in östlicher Richtung wandernde Tief über Weißrussland aufgefüllt hatte und die Ostsee sich im Einflussbereich des Hochs befand, drehte der Wind vor allem im westlichen Küstenbereich langsam zurück und nahm auf 8 – 6 Bft ab, mit weiter abnehmender Tendenz. Der Wind drehte weiter in ablandige Richtung und kam am 18. Januar zeitweise aus SW, vor allem im westlichen Teil der Küste.

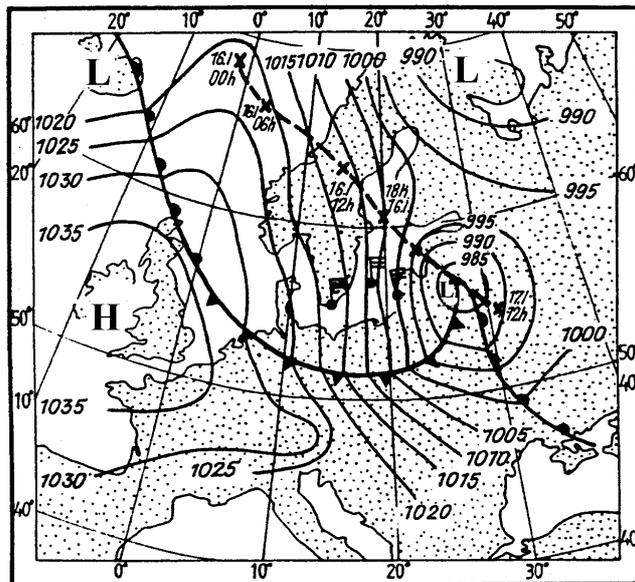


Abb. 6.11.1. Zugbahn des Tiefdruckgebiets vom 16. Januar, 00 UTC, bis 17. Januar, 12 UTC; Luftdruck und Windfeld am 17. Januar 1992, 06 UTC

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Der auflandige Wind in der Nacht vom 16. auf den 17. Januar führte zu einem Windstau, der im mittleren Teil der Küste gegen Mitternacht am 16. Januar begann und sich nach Westen hin fortsetzte, was am 17. Januar ab ca. 05 UTC zu einem Anstieg des Wasserstandes in Wismar führte. In Kolobrzeg wurde der Höchststand von 640 cm am 17. Januar um 08 UTC registriert, etwa gleichzeitig mit dem Höchststand von 616 cm in Świnoujście. In Sassnitz stieg der Pegel etwa zwei Stunden später auf den Höchststand von 636 cm, und in Warnemünde zwischen 11 und 12 UTC auf etwas über 598 cm. Der Höchststand in Wismar betrug 613 cm, gemessen um 12 UTC (Abb. 6.11.2.).

Ab ca. 22 UTC am 16. Januar stieg das Wasser um ungefähr einen Meter innerhalb von 12 Stunden (in Kolobrzeg innerhalb von nur 9 Stunden). Die höchste Anstiegsrate wurde in Kolobrzeg mit 31 cm/h gemessen; der Wert in Wismar betrug 30 cm/h. Die mittlere Anstiegsrate variierte im zentralen Küstenbereich von 9-12 cm/h und im westlichen Küstenbereich von 11-14 cm/h. Die hohen Wasserstände (über 580 cm) hielten in Warnemünde 8 Stunden lang an und in Kolobrzeg 14 Stunden. Danach sanken die Wasserstände und zwar im mittleren Teil der Küste etwas gleichmäßiger als in den anderen Gebieten.

Die Ursache der um ca. 30 cm höheren Wasserstände im zentralen Küstenbereich während der Kulminationsphase der Sturmflut war nicht nur der stärkere, vorwiegend auflandige Wind, sondern auch das um etwa 30 cm höhere Ausgangsniveau vor Beginn des Anstiegs.

Bezogen auf den Referenzpegel-Indikator (532 cm am 16. Januar) dauerte die Sturmflut zwischen 20 Stunden in Warnemünde und 6 Stunden in Kołobrzeg.

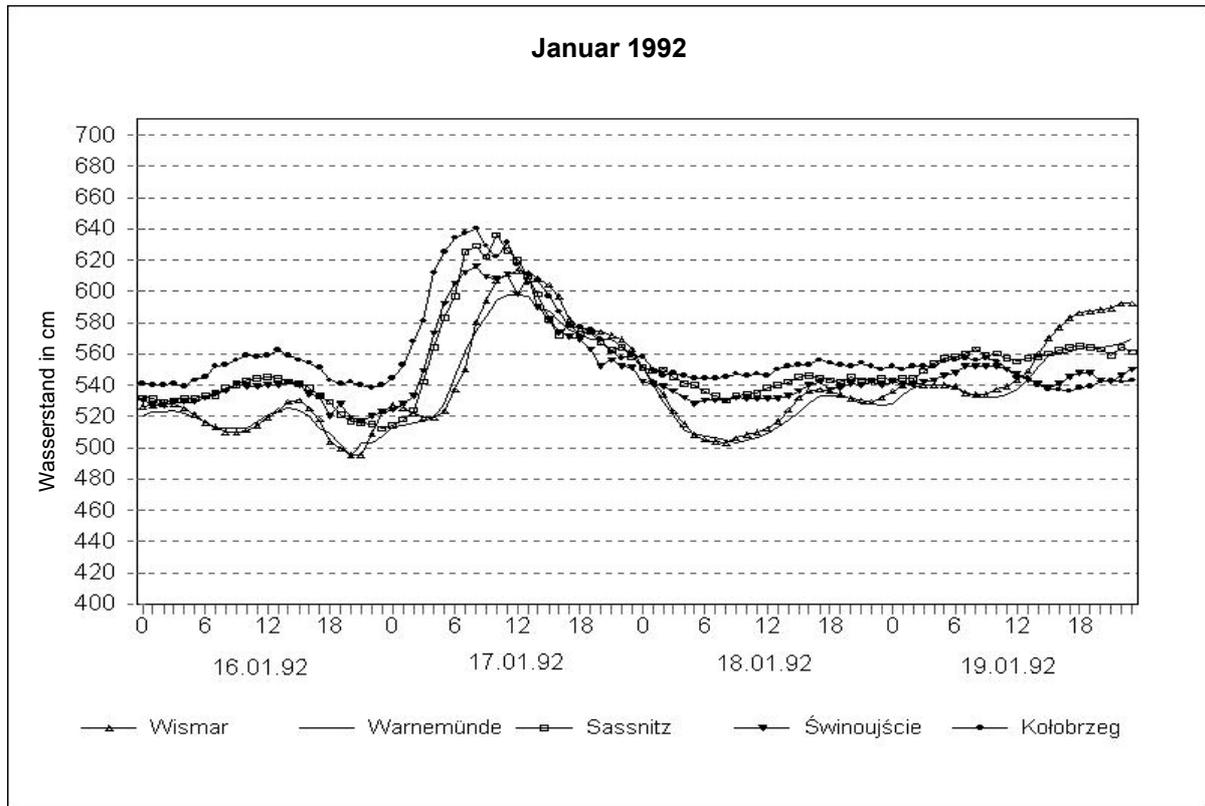


Abb. 6.11.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 1992

## 6.12 Februar 1993

### Meteorologische Lage

Zwischen dem 19. und 23. Februar 1993 verursachten stürmische Winde an den Küsten der südlichen Ostsee Sturmfluten unterschiedlicher Stärke und Dauer.

Am 19. Februar zog ein Tiefdruckgebiet von der Norwegischen See aus über Skandinavien und erreichte um ca. 03 - 06 UTC die Ostsee bei Stockholm, wo es eine zeitlang fast stationär blieb, während es sich auffüllte, bevor es langsam weiter in östlicher Richtung zog. Nach Durchzug der Kaltfront um ca. 03 UTC entwickelten sich ablandige stürmische Winde über dem gesamten südlichen Ostseegebiet. Infolge eines sich über Skandinavien bildenden Hochdruckrückens drehte der Wind schon bald (um ca. 15 UTC am 19. Februar) auf N-NW und nahm im gesamten Gebiet der Ostsee auf Sturmstärke zu (00 UTC am 20. Februar). Erst gegen Mittag desselben Tages drehte der Wind zurück und flaute auf 6 – 5 Bft ab (Abb. 6.12.1.).

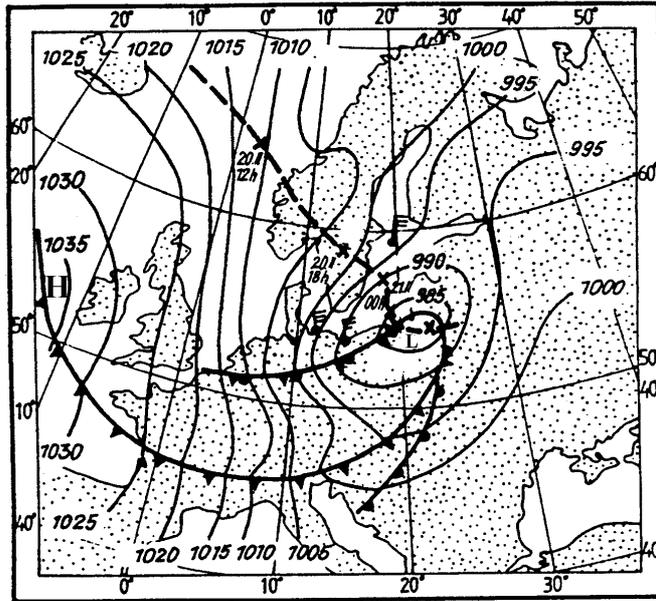


Abb. 6.12.1. Zugbahn des Tiefdruckgebiets, Luftdruck und Windfeld über der Ostsee am 21. Februar 1993, 12 UTC

Inzwischen zog ein neues aktives Tiefdruckgebiet rasch von der Norwegischen See heran und wanderte über Skandinavien hinweg zur südöstlichen Ostsee, wo es sich am 20. Februar zwischen 00 und 09 UTC verlangsamte und nach Osten weiterzog, um gegen Mittag die litauische Küste zu erreichen. Ähnlich wie schon am Vortag entstand hinter dem Tief ein Hochdruckrücken über Skandinavien. Am Nachmittag des 20. Februar wurden in dem von dem Tiefdruckgebiet ausgehenden zyklonalen Windsystem SW-W-Winde der Stärke 6 – 8 Bft über der westlichen und südlichen Ostsee gemessen. In der Nacht zum 21. Februar entwickelte sich ein Sturm aus nördlicher Richtung, der schon bald – kurz nach 09 UTC – auf NO drehte und 7 – 9 Bft erreichte. Der NO-Sturm erfasste zunächst die nördliche und zentrale Ostsee, dehnte sich aber bereits gegen Mittag des 21. Februar auf die westlichen, südlichen und südöstlichen Gebiete der Ostsee aus. Mit der nördlichen Luftströmung erreichte arktische Kaltluft das Gebiet und führte zu einer Zunahme der Sturmböen. Am späten 21. Februar schwächte sich der Luftdruckgradient über Dänemark, dem Kattegat und der westlichen Ostsee ab, das Tief füllte sich allmählich und zog nach Litauen ab. Infolgedessen flaute der Sturm in den Morgenstunden des 22. Februar über der gesamten südlichen Ostsee auf 8 – 6 Bft, später 7 – 5 Bft, ab.

Im Laufe des Tages wurde der Luftdruckgradient über der westlichen Ostsee infolge eines sich von den Britischen Inseln ostwärts erstreckenden Hochdruckrückens wieder stärker. Im westlichen Bereich der Küste frischte der auflandige Wind aus Nordost auf und hielt bis in die frühen Morgenstunden des 23. Februar an, um sich dann allmählich abzuschwächen.

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Die beschriebene meteorologische Lage hatte eine Reihe von Wasserstandsschwankungen an der südlichen Ostseeküste zur Folge. Vor dem ersten Windstau kam es um die Mittagszeit des 19. Februar herum erst zu einem Absinken der Wasserstände. Die Wasserstände begannen dann in den Abendstunden des 19. Februar zu steigen und erreichten rasch ihre Maxima, wobei die Extremwerte allerdings unter 590 cm blieben.

Nachdem der Wind von nördlichen auf küstenparallele Richtungen gedreht hatte und abgeflaut war, fielen die Wasserstände allmählich. Das Sinken der Wasserstände wurde durch einen über der westlichen und südlichen Ostsee am Nachmittag und Abend des 20. Februar entstehenden SW-Sturm erheblich beschleunigt. Der Tiefststand von fast 460 cm

wurde in Wismar gemessen; im mittleren Teil der Ostseeküste schwankten die Wasserstände um 500 cm (Abb. 6.12.2.).

Das Einsetzen des nun folgenden orkanartigen N-NO-Sturms hatte einen raschen Anstieg des Wasserspiegels zur Folge, zuerst im mittleren Teil der Küste, wo der Wasserstand innerhalb eines halben Tages in Kołobrzeg um 1,2 m und in Wismar um 1,9 m stieg. Die höchsten Anstiegsraten von maximal 35-37 cm/h wurden in Wismar und Warnemünde gemessen. In den anderen Küstengebieten betrug die Anstiegsrate 21-22 cm/h. Während dieser Sturmflut wurde der mittlere Wasserstand um 1,2 – 1,6 m überschritten. Der Höchststand im mittleren Bereich der Küste wurde zwischen 12 und 15 UTC beobachtet, mit Werten von 630 cm in Kołobrzeg, 641 cm in Świnoujście und 621 cm in Sassnitz. Im westlichen Küstenbereich wurden die Maxima zwischen 17 und 19 UTC erreicht, mit 631 cm in Warnemünde und 656 cm in Wismar. Die Wasserstände blieben ca. 20 – 27 Stunden lang oberhalb von 560 cm und blieben bis zum 24. Februar auf Höhe der Warnpegel. Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (520 cm am 21. Februar) dauerte die Sturmflut zwischen 29 Stunden in Wismar und 68 Stunden in Kołobrzeg.

Die letzte größere Schwankung in dieser Serie, die nur den mittleren Küstenbereich betraf, begann in den Nachtstunden des 22. Februar. Unter dem Einfluss auflandiger Nordostwinde, die über dem Kattegat und der westlichen Ostsee Sturmstärke erreichten, begannen die Pegel am 22. Februar gegen Mittag zu steigen. Der Anstieg hielt bis in die Morgenstunden des 23. Februar an. In Wismar stieg der Wasserstand geringfügig über 585 cm, und in Warnemünde auf 565 cm, in beiden Fällen um 00-01 UTC am 23. Februar. Im Anschluss daran gingen die Wasserstände langsam zurück.

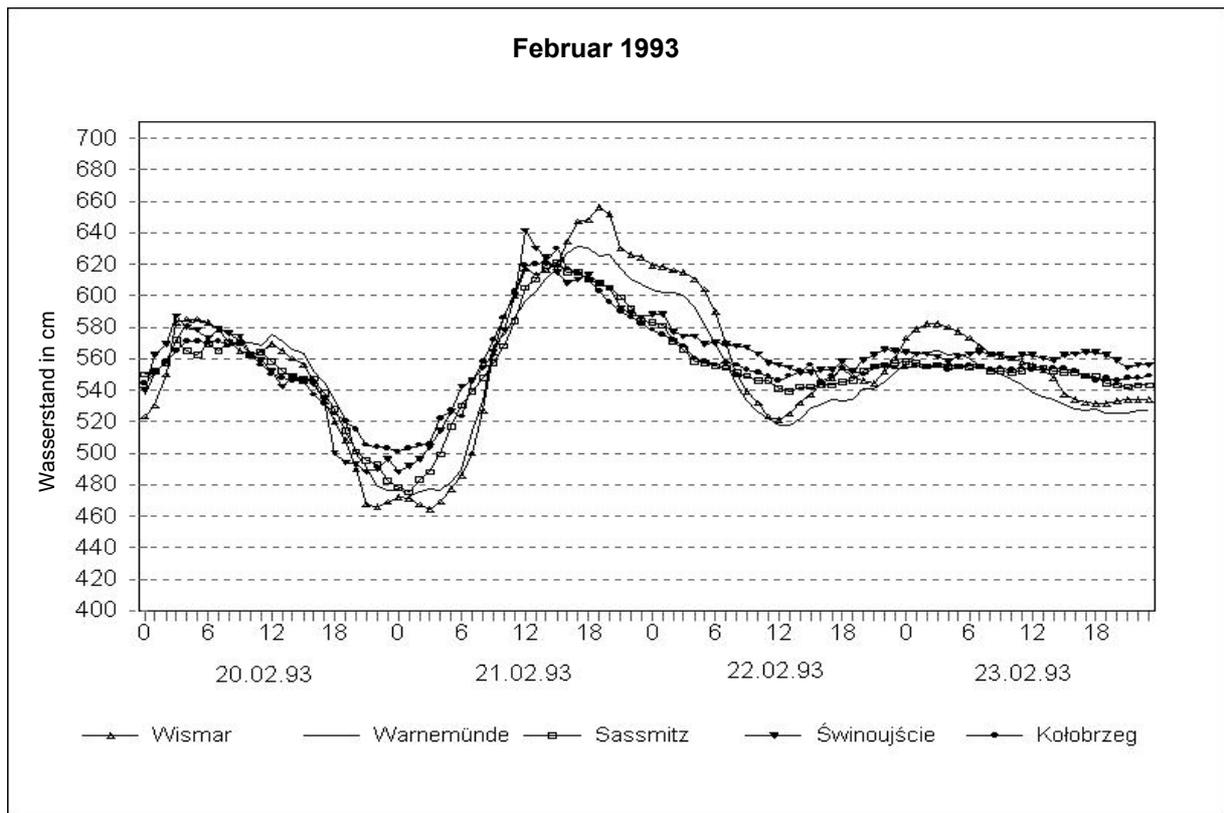


Abb. 6.12.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Februar 1993

## 6.13 Januar 1995

### Meteorologische Lage

Am 1. Januar erstreckte sich ein Hochdruckrücken von den Britischen Inseln nordwärts über die Norwegische See und die Nordsee, später auch über das nördliche Skandinavien, während ein stationär über Zentralskandinavien und den angrenzenden Gebieten liegendes großes Tief (971 hPa um 00 UTC am 1. Januar) sich auffüllte. Im Süden berührte es die westlichen Gebiete der südlichen Ostseeküste (Abb. 6.13.1.). Starke ablandige Winde der Stärke 7-9 Bft setzten am 1. Januar ein und hielten bis Mitternacht an, um dann unter Abschwächung langsam auf N-NO zu drehen und am 2. Januar gegen 03-06 UTC wieder an Stärke zuzunehmen. Im mittleren Teil der Küste hielten die vorwiegend küstenparallelen Winde mit leicht aufländiger (westlicher) Tendenz bis zum Nachmittag des 2. Januar an.

Der Luftdruck über Skandinavien stieg stetig an, während sich das Tief ostwärts bewegte, und am 2. Januar nachmittags stellte sich über der gesamten Ostsee eine nord- bis nordöstliche Luftströmung ein. Die Windstreichlänge der stürmischen Nordwinde entsprach nun der gesamten Längsachse der Ostsee.

In den Frühstunden des 3. Januar briste der Wind auf Sturmstärke auf und wehte mit 9 – 10 Bft aus Nordost. Er traf zuerst auf den mittleren Bereich der südlichen Ostseeküste (um Mitternacht) und später (03 – 06 UTC) auf die westlichen Küstenabschnitte. Um ca. 09 – 12 UTC nahm der Sturm ab und wehte erst stark, später mäßig mit Windstärke 7 – 5 Bft.

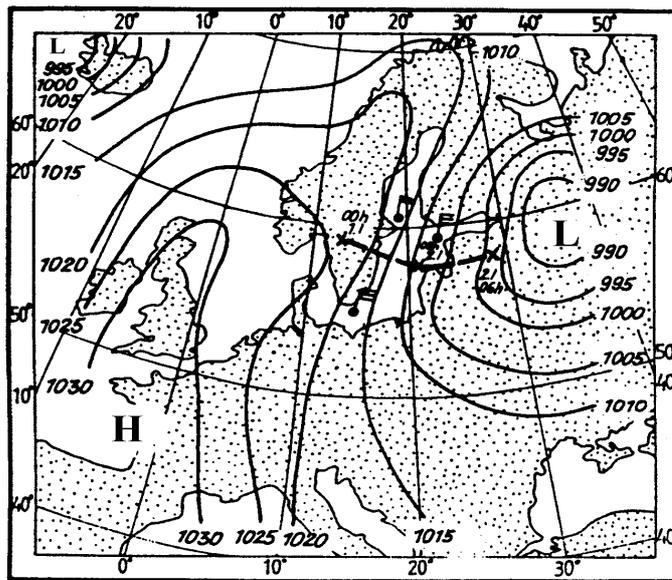


Abb. 6.13.1. Zugbahn des Tiefdruckzentrums von 00 UTC am 1. Januar bis 06 UTC am 3. Januar 1995, Luftdruck und Windfeld über der Ostsee am 3. Januar 1995, 06 UTC

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Am 1. Januar wurden an den westlichen Küsten leicht fallende Wasserstände infolge mäßiger bis starker ablandiger Winde beobachtet, die gegen Mitternacht abflauten. Daraufhin setzte ein unmittelbarer Anstieg des Wasserspiegels ein, der durch den Einfluss eines Nordsturms in den Frühstunden des 2. Januar noch beschleunigt wurde. Diese erste Phase des Anstiegs dauerte ca. 9 Stunden und führte zu Wasserständen von 580 – 600 cm um 05 UTC (Abb. 6.13.2.). Die mittlere Anstiegsrate betrug 8 cm/h, und das Maximum von 20 cm/h wurde zwischen 6 und 7 UTC am 2. Januar erreicht.

An den mittleren Küstenabschnitten, d.h. an den Pegeln in Sassnitz, Świnoujście und Kołobrzeg, begann der Anstieg in den Morgenstunden des 1. Januar und dauerte bis kurz nach 00 UTC am 3. Januar. Die Pegelmaxima wurden mit 614 cm in Sassnitz, 620 cm in Świnoujście und 616 cm in Kołobrzeg gemessen. Die höchste Anstiegsrate betrug 11 cm/h und wurde kurz vor Erreichen des Maximums gemessen.

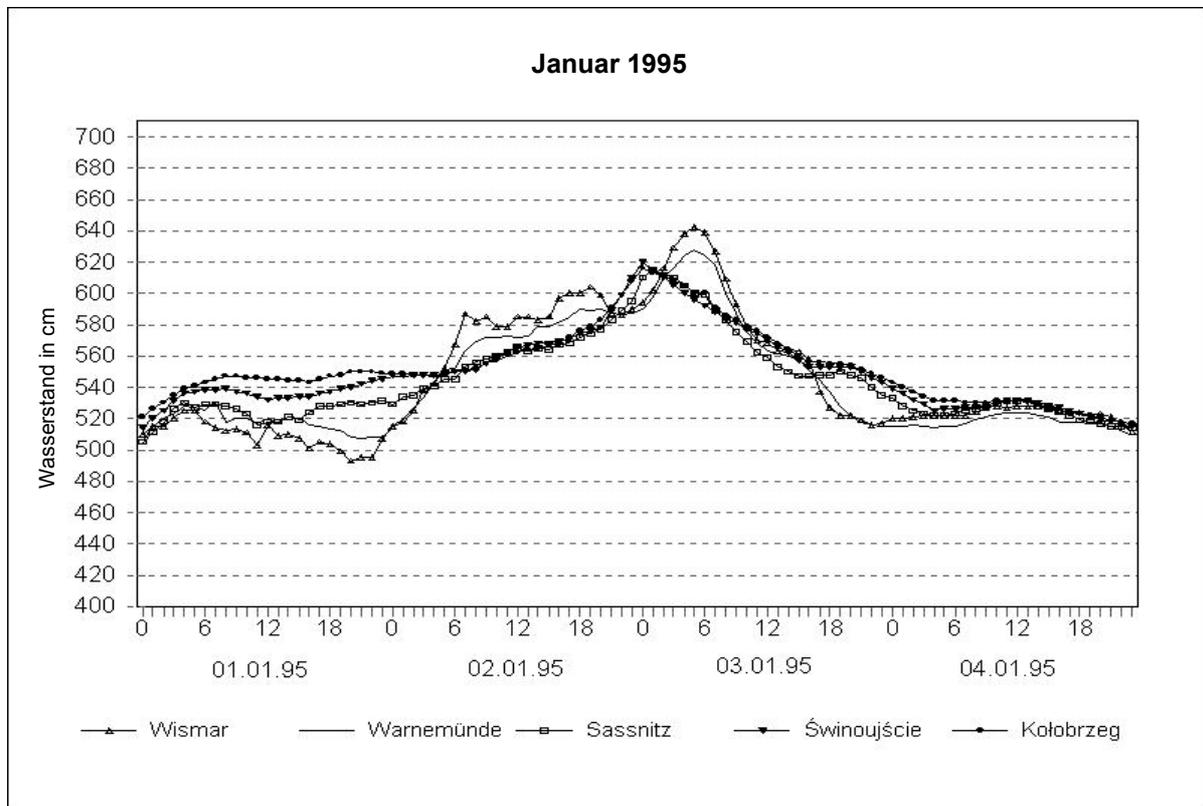


Abb. 6.13.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 1995

Die Wasserstände im mittleren Teil der Küste blieben bis ca. 05 UTC am 3. Januar mit kleineren Schwankungen auf 580 – 600 cm, als etwas höhere Maxima gemessen wurden: 642 cm in Wismar und 629 cm in Warnemünde. Sofort nach Erreichen des Höchstwasserstandes (05 – 06 UTC) fielen die Wasserstände kontinuierlich und relativ schnell auf Werte um 520 cm. Im westlichen Teil der Küste blieben die Wasserstände 32 – 34 Stunden lang im Bereich des Warnpegels, und im mittleren Teil ca. 26 – 29 Stunden lang. Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (511 cm am 1. Januar) dauerte die Sturmflut zwischen 37 Stunden in Wismar und 68 Stunden in Kołobrzeg.

## 6.14 April 1995

### Meteorologische Lage

Vom Anfang des Monats an befand sich die Ostsee im Einflussbereich einer lebhaften zyklonalen Tätigkeit. Am 7. April um ca. 00 UTC erschien nördlich der Shetland-Inseln ein Tiefdruckzentrum mit einem Luftdruck von 997 Pa und zog unter rascher Verstärkung in südöstlicher Richtung. Innerhalb eines halben Tages erstreckte sich das Zentrum von der Norwegischen See bis Südschweden, und am 7. April gegen 15 UTC erreichte es die Ostsee bei der Insel Öland mit einem Luftdruck von 982 hPa. Nun verlangsamte es sich erheblich und verlagerte sich mit weiter fallendem Druck zur litauischen Küste hin, die es am 8. April gegen 03 UTC erreichte (Abb. 6.14.1.).

Inzwischen näherte sich hinter dem über der Norwegischen See und der Nordsee liegenden Tief von den Britischen Inseln her ein Hochdruckgebiet. Der Druckgradient zwischen den beiden Zentren verstärkte sich am Mittag des 7. April gefährlich, vor allem über dem zentralen Bereich der Ostsee.

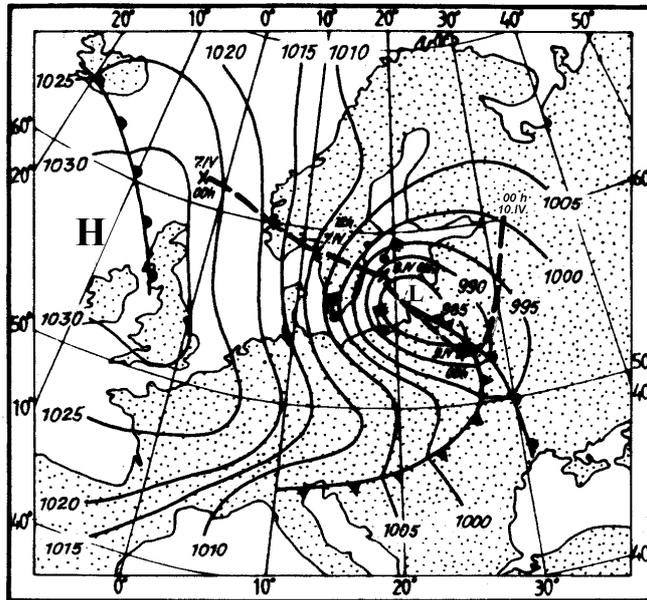


Abb. 6.14.1. Zugbahn des Tiefdruckzentrums von 00 UTC am 7. April bis 00 UTC am 10. April 1995, Luftdruck und Windfeld über der Ostsee am 8. April 1995, 06 UTC

Der steile Gradient schwächte sich erst am 9. April langsam ab, als sich das Tief innerhalb von 24 Stunden – von 03 UTC am 8. April bis 03 UTC am 9. April – auffüllte, während es in Richtung Litauen, Nordostpolen und West-Weißrussland zog, um von dort aus weiter nach NO – N zu ziehen. In den Abendstunden des 9. April war das Tief in der Nähe des Ladoga-Sees immer noch gut zu erkennen (993 hPa), von wo aus es dann in nord-nordwestlicher Richtung über Finnland hinweg zog. Das abziehende Tiefdruckgebiet hinterließ einen langgezogenen Ausläufer, so dass die Isobaren über der Ostsee weiterhin in Nord-Süd-Richtung verliefen.

Während sich die obige Luftdrucklage am 7. April aufbaute, drehte der ursprünglich mit 5 – 7 Bft aus westlichen Richtungen und später mit 6 – 8 Bft aus SW wehende Wind am Nachmittag auf W – NW (zuerst in den östlichen und mittleren Gebieten) und nahm auf 7 – 9 Bft zu. Am 8. April herrschten weiterhin nördliche bis nordwestliche Wind über den westlichen, südlichen und südöstlichen Teilen der Ostsee, während in den mittleren und nördlichen Bereichen Winde aus N – NO vorherrschten. Die Windstärke erreichte 7 – 9 Bft, in Böen 10 Bft. Der Wind legte sich erst am Abend des 8. April, als sich das Sturmzentrum langsam in Richtung Weißrussland verlagerte.

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Die aufgrund der oben geschilderten meteorologischen Lage entstehende Sturmflut überschritt sich mit den ohnehin schon relativ hohen Wasserständen an der Küste (520-540 cm). Die Wasserstände stiegen relativ gleichmäßig, zuerst im mittleren Bereich der Küste, und die Höchststände wurden fast gleichzeitig um ca. 17 UTC am 8. April an der gesamten Küste erreicht. Die erreichten Höchstwasserstände bewegten sich zwischen 608 cm in Sassnitz und 629 cm in Wismar. Die mittlere Anstiegsrate lag in Wismar und Warnemünde knapp über 6 cm/h, in Świnoujście und Kołobrzeg bei 3 cm/h (Abb. 6.14.2.).

Die Wasserstände blieben 12 - 25 Stunden lang in Höhe des Alarmpegels. Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (541 cm am 7. April) dauerte die Sturmflut zwischen 27 Stunden in Wismar/Warnemünde und 54 Stunden in Kołobrzeg.

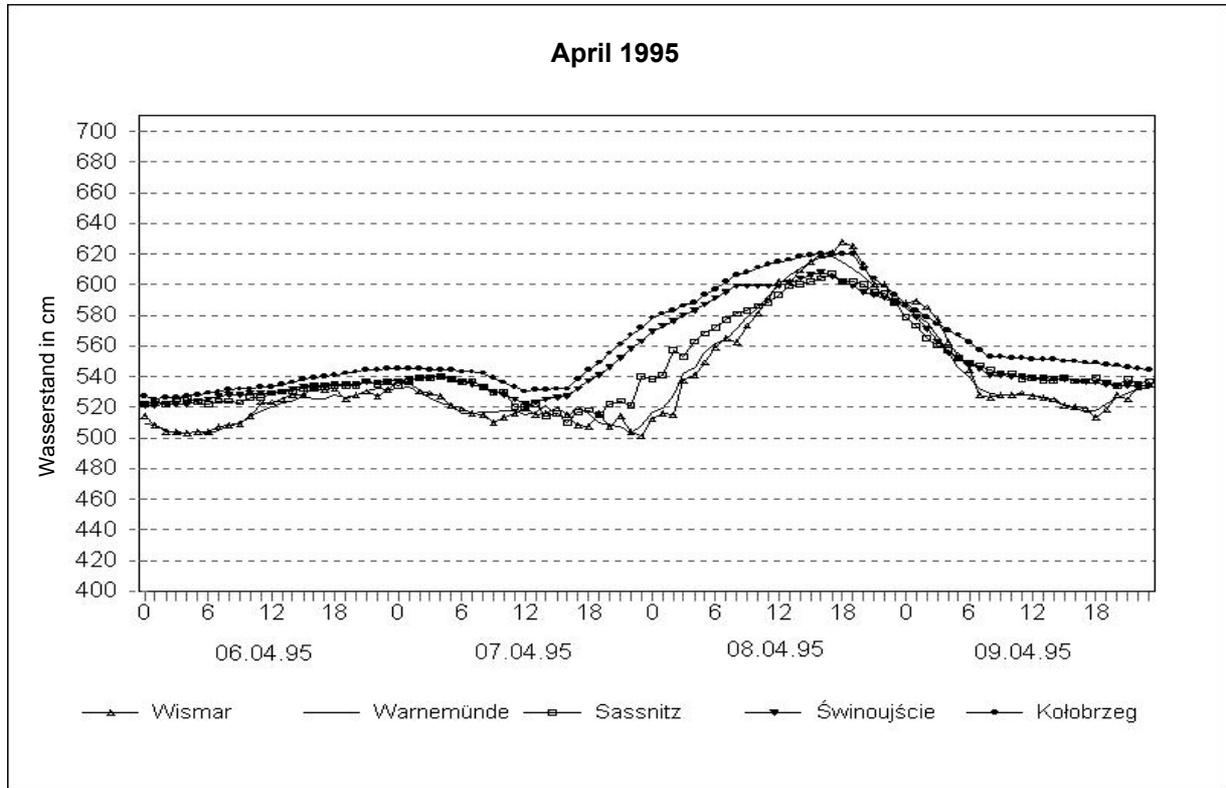


Abb. 6.14.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom April 1995

## 6.15 November 1995

### Meteorologische Lage

Dem starken Nordsturm vom 3. – 5. November 1995, der das gesamte Ostseegebiet betraf, ging am 1. November ein schwächerer Sturm voraus, der vor allem an den westlichen und mittleren Küstenabschnitten nicht zu bedeutenden Pegelanstiegen führte. Dieser schwächere Vorläufer hing mit einem Tief zusammen, das sich am 1. November um 00 UTC südlich von Öland gebildet hatte und in den darauffolgenden Stunden über die südliche Ostsee hinwegzog. Unter allmählicher Verstärkung erreichte das Tief die litauische Küste und zog von dort aus weiter nach Ost-Südost in Richtung Weißrussland. Bereits am Abend des 1. November wurde das Tiefdruckgebiet von starken NO-O-Winden im Bereich der südöstlichen Ostsee begleitet. Der Wind nahm auf 6 – 8 Bft, in Böen 9 Bft zu, drehte dann in den Morgenstunden des 2. November und flaute auf 7 – 5 Bft ab (Abb. 6.15.1.).

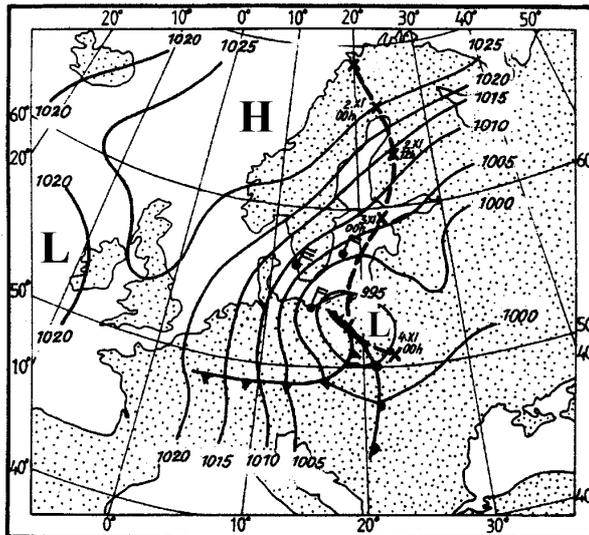


Abb. 6.15.1. Zugbahn des Tiefdruckzentrums von 00 UTC am 2. November bis 00 UTC am 4. November 1995, Luftdruck und Windfeld über der südlichen Ostsee am 3. November 1995, 12 UTC

Ein ausgedehntes, flaches Tiefdruckgebiet mit mehreren schwach ausgebildeten Zentren hielt sich jedoch über Skandinavien und der Ostsee. Eines dieser Zentren, das fast stationär über Lappland lag, nahm an Aktivität zu und begann am 2. November um ca. 03 UTC in südlicher Richtung entlang der östlichen Ostseeküste zu ziehen. Zwischen 18 UTC am 2. November und 12 UTC am 3. November erreichte das sich langsam südwärts verlagernde und verstärkende Tief die Küste westlich der Danziger Bucht. Das flache Tiefdruckgebiet führte wechselnde Winde mit sich, doch hinter dem Tief verstärkte sich der Luftdruckgradient über Skandinavien bedrohlich, vor allem über Dänemark, dem Kattegat und der westlichen Ostsee. Am 3. November gegen 09 UTC setzte in diesem Gebiet starker Nordwind ein, der stetig an Stärke zunahm. In den folgenden Stunden zog ein N-NO-Sturm der Stärke 6 – 8 Bft allmählich in östlicher Richtung und erfasste das gesamte Gebiet der Ostsee, so dass in den Abendstunden des 3. November und am Morgen des 4. November in den westlichen Gebieten 9 Bft erreicht wurden. In Warnemünde erreichte die Windgeschwindigkeit 22 m/s, am Kap Arkona 28 m/s und in Świnoujście 19 m/s. Die höchste Windgeschwindigkeit, die in dieser Nacht an der Westküste gemessen wurde, betrug fast 35 m/s.

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Die beschriebenen Luftdruck- und Windverhältnisse am 1. und 2. November, die auf eine Sturmflut hindeuteten, verursachten an der westlichen und mittleren Ostseeküste wider Erwarten keinen Windstau. Da der Haupteinflussbereich des Sturms die Südostküste war, war an den westlich der Danziger Bucht gelegenen Küsten so gut wie kein Anstieg der Wasserstände festzustellen: knapp 560 cm in Wismar am 2. November um 00 – 04 UTC. Unmittelbar vor Einsetzen der Sturmflut vom 3. – 5. November 1996, um ca. 00 – 06 UTC, lag der Wasserstand nur 24 – 30 cm höher als der mittlere Wasserstand. Unter der Einwirkung der stürmischen Nordwinde begannen die Wasserstände an der Küste am 3. November gegen Mittag anzusteigen, zuerst im äußersten Westen – um ca. 06 UTC in Wismar und Warnemünde – und etwa 3 – 9 Stunden später dann im mittleren Bereich der Küste. Die höchsten Wasserstände wurden zwischen 20 und 22 UTC in Wismar (702 cm) und Warnemünde (660 cm) erreicht. Das Maximum in Sassnitz (637 cm) wurde zur selben Zeit gemessen, als auch Świnoujście einen hohen Pegelstand von 652 cm registrierte. Allerdings erreichte das ca. 7 Stunden später gemessene absolute Sturmflutmaximum in

Świnoujście 669 cm. Der Wasserstand in Kołobrzeg stieg auf einen Höchststand von 640 cm, gemessen am 4. November um 02 UTC.

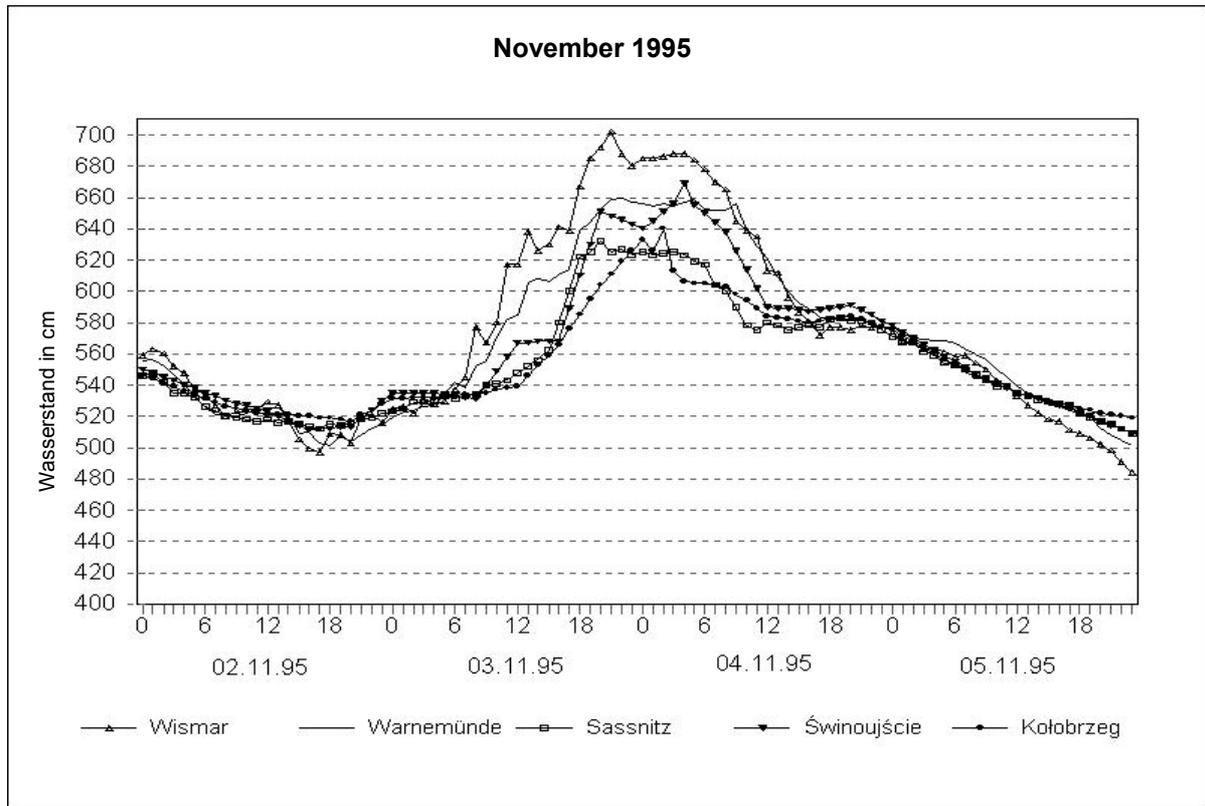


Abb. 6.15.2. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom November 1995

Während dieser Sturmflut stieg der Wasserstand auf 1,6 – 2 m über Normal. Die Wasserstände blieben über 24 Stunden lang oberhalb des Alarmpegelstands und sanken dann langsam wieder auf normale Werte. Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (536 cm am 2. November) dauerte die Sturmflut zwischen 50 Stunden in Kołobrzeg und 55 Stunden in Warnemünde.

Die Form der Variationskurve dieser Sturmflut ist typisch für einen lang anhaltenden auflandigen Sturm gleichbleibender Stärke und Richtung: ein relativ steiler, unregelmäßiger Anstieg (z.B. in Warnemünde 165 cm innerhalb von 14 Stunden), ein praktisch flaches Maximum (Plateau) mit geringfügigen Schwankungen (in Warnemünde innerhalb von ca. 12 Stunden zahlreiche Schwankungen mit einer Amplitude von nur 5 – 10 cm), und eine relativ gleichmäßige Abnahme (ca. 85 cm in 8 Stunden) auf einen Wasserstand, der bedeutend höher ist als vor der Sturmflut.

## 6.16 April 1997

### Meteorologische Lage

Am 9. – 10. April 1997 wanderte ein sich abschwächendes Hochdruckgebiet von Mitteleuropa nach Westen und blieb stationär über Frankreich und den Britischen Inseln (1034 hPa vor Irland), während Tiefdruckgebiete von der Norwegischen See aus in südwestlicher Richtung über Skandinavien und die Ostsee hinwegzogen. Einige der Tiefdruckgebiete füllten sich auf ihrem Weg nach Süden bald auf, während aus anderen Sekundärzentren entstanden (Abb. 6.16.1.).

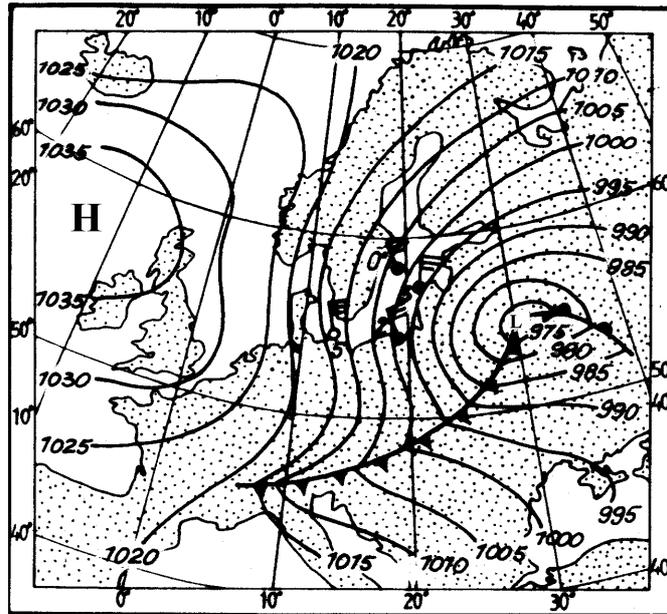


Abb. 6.16.1. Luftdrucklage über Europa und Windfeld über der Ostsee am 11. April 1997, 18 UTC

Am 10. April zogen mehrere Tiefausläufer über Skandinavien und die Ostsee hinweg, wodurch eine südöstliche Warmluftströmung entstand, gefolgt von einströmender arktischer Kaltluft. Vor dem Tiefausläufer und in seinem südlichen Bereich entwickelte sich nachmittags über der östlichen Nordsee, dem Kattegat und der westlichen Ostsee ein Weststurm der Stärke 8 – 9 Bft. Um Mitternacht und in den Morgenstunden des 11. April erreichte die Windgeschwindigkeit vor der herannahenden Kaltfront über den westlichen Becken vereinzelt über 10 – 11 Bft bei zeitweise W-SW rückdrehendem Wind. In den östlichen Becken der Ostsee war der Sturm schwächer.

Um 09 UTC am 11. April drehte der Sturm hinter der Kaltfront auf NW und erreichte in Bøen 8 – 9 Bft. Gegen 15 UTC überquerte eine sekundäre Kaltfront mit auf NNW – N drehenden stürmischen Winden, die in Bøen 10 Bft erreichten, die Küste. Am Nachmittag und nachts waren die nördlichen Winde immer noch böig, nahmen aber in den frühen Morgenstunden des 12. April allmählich auf 7 – 5 Bft ab.

Im Laufe des 12. April entwickelte sich ein Hochdruckrücken über Skandinavien, der sich später, am 13. April, unter dem Einfluss eines südwärts wandernden Tiefdruckzentrums auflöste. Vor der Warmfront, die die südliche Ostseeküste am 13. April um 18 UTC überquerte und dort stationär bis zum 16. April blieb, nahmen südwestliche Winde am 14. April zwischen 09 und 15 UTC auf 6 – 7 Bft zu. Am 14. April drehte der Wind im allgemeinen von WSW auf W – NNW, schwankte aber im mittleren Teil der Küste stellenweise stark aufgrund böiger Störungen, die im Vorfeld der Front entstanden.

Nachdem die Front die Küstenlinie gegen 18 UTC am 14. April überquert hatte, stellte sich am östlichen Rand des sich über Skandinavien verstärkenden Hochdruckrückens eine nördliche Luftströmung der Stärke 6 – 7 Bft ein, die in Bøen 8 Bft erreichte. Da der „alte“, quasi-stationäre Tiefausläufer sich nicht verlagerte (Abb. 6.16.2.), blieb die Zone des Druckgradienten mit seinen nördlichen Winden unter leichter Abschwächung bis zum 16. April über Skandinavien und der Ostsee.

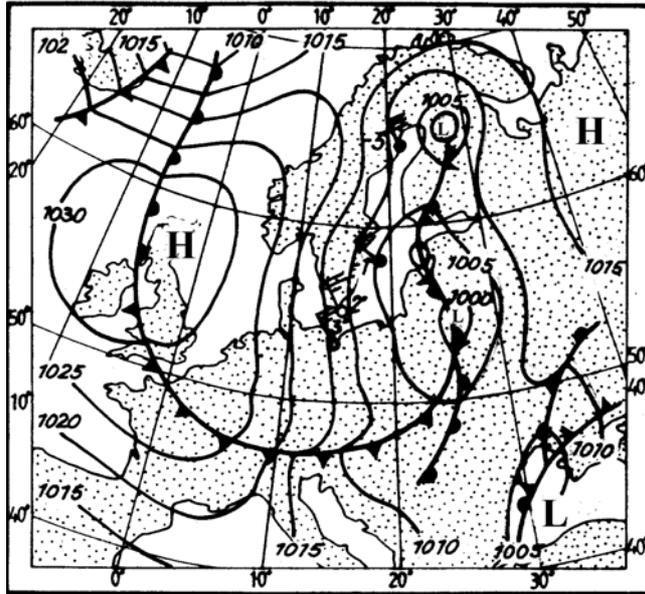


Abb. 6.16.2. Luftdrucklage über Europa und Windfeld über der Ostsee am 15. April 1997 um 06 UTC

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Am 10. April lagen die Pegel im Bereich des mittleren Wasserstands. Gegen Ende dieses Tages und am frühen 11. April führte ein heftiger ablandiger bzw. küstenparalleler W-SW-Sturm über den westlichen Ostseebecken zu einem Absinken der Wasserstände, die um ca. 06 UTC am 11. April auf 472 cm in Wismar und 484 cm in Warnemünde fielen. Da der mittlere Teil der Küste nicht unmittelbar von dem SW-Sturm betroffen war, sanken die Wasserstände in Świnoujście und Kołobrzeg am Morgen dieses Tages nur geringfügig. Unmittelbar nach Erreichen der Wasserstandsminima kurz nach 06 UTC begann das Wasser an der westlichen Küste infolge einer plötzlichen Änderung der Windrichtung zu steigen. Der Wind hinter der Kaltfront erreichte jetzt Sturmstärke und wehte in aufländiger Richtung (Abb. 6.16.3). Im mittleren Teil der Küste stieg das Wasser langsamer, und der Anstieg begann zwei bis drei Stunden früher.

Der Warnpegel von >560 cm wurde am 11. April um 11 UTC zuerst in Kołobrzeg überschritten, gefolgt von Świnoujście um 14 UTC, Sassnitz um 16 UTC, Warnemünde um 19 UTC und Wismar um 20 UTC.

Die Höchststände wurden sehr schnell erreicht: zwischen 17 und 23 UTC am 11. April. Sie lagen um 1,0 – 1,2 m über dem mittleren Wasserstand und erreichten in Wismar 620 cm, in Warnemünde 609 cm, in Sassnitz 604 cm, in Świnoujście 600 cm und in Kołobrzeg 612 cm.

Die stärkste Dynamik während dieser Sturmflut wurde an den Pegeln im westlichen Küstenbereich gemessen, wo der Höchststand nur 3 – 4 Stunden nach Überschreiten der Warnpegel erreicht wurde. Der schnellste Anstieg wurde in Wismar mit 52 cm/h gemessen, während in Warnemünde und Sassnitz die Anstiegsrate mit 25 cm/h bzw. 26 cm/h nur halb so groß war. Die mittleren Anstiegsraten betragen 19 cm/h in Wismar, 17 cm/h in Warnemünde und 16 cm/h in Sassnitz.

In der Pommerschen Bucht und weiter östlich war die Sturmflutdynamik weniger ausgeprägt, obwohl die Warnpegel hier früher als im westlichen Küstenbereich überschritten wurden. Der Anstieg erfolgte langsamer, so dass der Höchststand in Świnoujście erst 5 Stunden nach überschreiten der Warnpegel erreicht wurde, und in Kołobrzeg sogar erst 10 Stunden danach. Die höchste Anstiegsrate betrug 25 cm/h in Świnoujście und 22 cm/h in Kołobrzeg, bei einer mittleren Anstiegsrate von 11 cm/h bzw. 6,4 cm/h. Der Pegel von 560 cm wurde in

Świnoujście 22 und in Kołobrzeg 27 Stunden lang überschritten. Die Wasserstände an diesem Teil der Küste fielen gleichmäßiger als im westlichen Küstenbereich. Dem zweiten Wasserstandsanstieg innerhalb dieser 5 Tage ging ein kurzfristiges Absinken der Pegel im Bereich der Westküste am Nachmittag des 13. April voraus, das durch stürmische ablandige Winde verursacht wurde. Dabei sank der Wasserstand in Wismar bis auf 452 cm. Kurz darauf stiegen die Wasserstände wieder an, allerdings sehr ungleichmäßig wegen des ausgesprochen wechselhaften NW-N-Sturms. Die Amplitude der Wasserstandsschwankungen war zwar im Westen größer, aber das Maximum in diesem Küstenbereich wurde mit 584 cm in der Nacht vom 16. April in Świnoujście gemessen. Die Höchststände in Kołobrzeg, Sassnitz, Warnemünde und Wismar wurden zwischen 9 und 11 UTC am 15. April erreicht, mit Werten von 568 cm, 561 cm, 570 cm bzw. 582 cm. Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (521 cm am 11. April) dauerte die Sturmflut zwischen 112 Stunden in Kołobrzeg und 120 Stunden in Warnemünde.

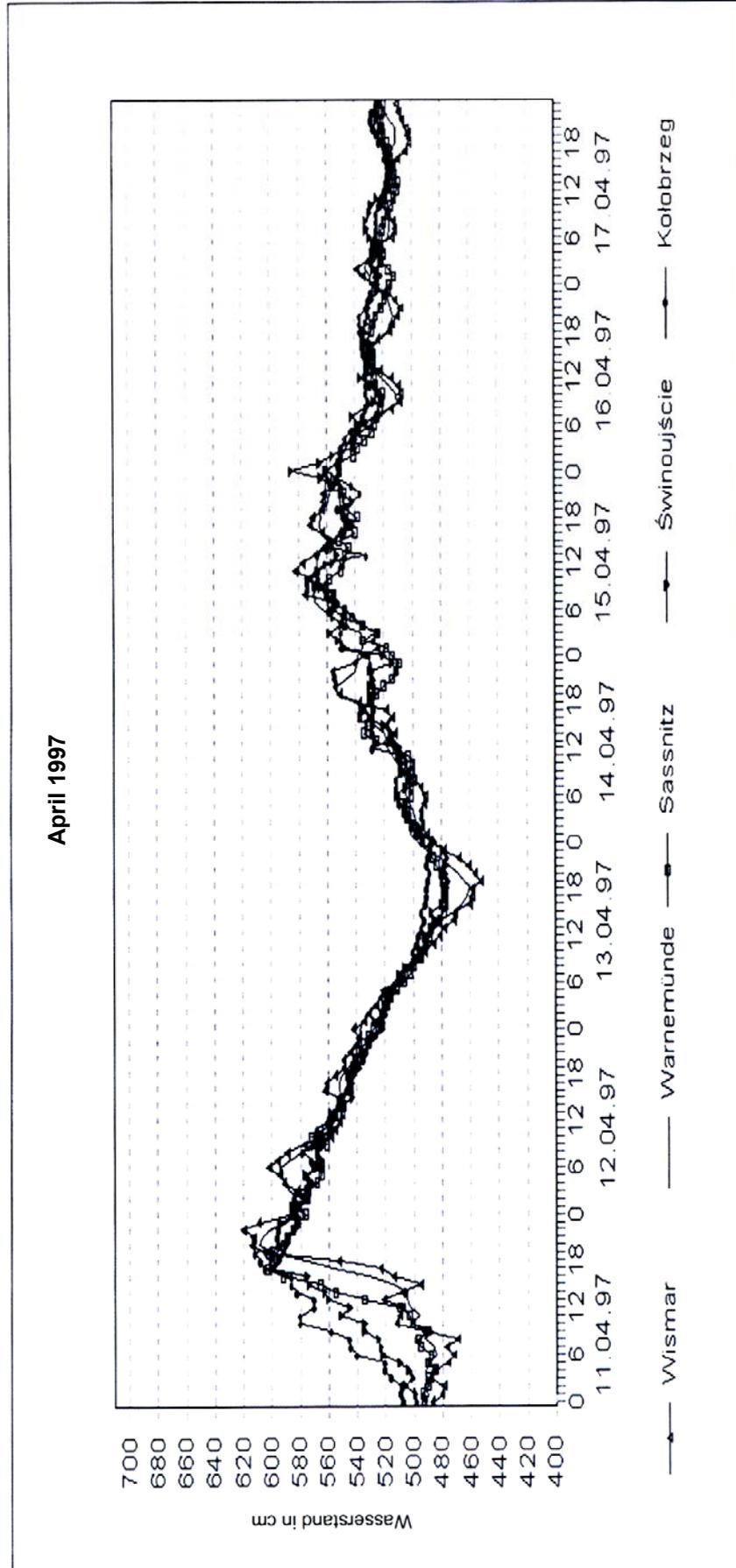


Abb. 6.16.3. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom April 1997

## 6.17 Januar 2000

### Meteorologische Lage

Am 15. – 17. Januar 2000, den drei Tagen vor der Sturmflut, herrschte über der Nord- und Ostsee eine nordwestliche Luftströmung, die von einem weiträumigen, quasi-stationären Hochdrucksystem über dem nordöstlichen Nordatlantik verursacht wurde. Der Luftdruck im Zentrum des vor Irland liegenden Hochs stieg auf über 1045 hPa. Am östlichen Rand des Hochs zog eine Folge von Tiefausläufern von den arktischen Gewässern nordöstlich von Skandinavien in süd-südöstlicher Richtung über die Ostsee hinweg auf die russischen Tiefebene zu.

Am 17. Januar wurde in einem Teilbereich der westlichen Ostseebecken der Druckgradient steiler. Diese Zone verlagerte sich schon bald darauf in östlicher Richtung; der Wind drehte N – NO und erreichte mit 7 – 8 Bft Sturmstärke, in Bøen 9 Bft. Die Entwicklung setzte sich am 18. Januar fort, bis in den frühen Morgenstunden des 19. Januar (Abb. 6.17.1.) der Wind leicht auf 4 – 6 Bft abflaute.

Am 20. Januar zog eine Folge von Tiefausläufern südostwärts über Skandinavien und die Ostsee hinweg in Richtung Weißrussland. Der Wind drehte NW – W und nahm gegen Abend wieder auf 6 – 7 Bft zu.

Die Kaltfront des Tiefausläufers überquerte zuerst die mittleren und östlichen Teile der Küste, und zwar kurz vor Mitternacht in der Nacht zum 21. Januar Kolobrzeg und Świnoujście und wenige Stunden danach, zwischen 03 und 05 UTC am 21. Januar, die Küstenregion bei Warnemünde und Wismar. Nach Durchzug der Kaltfront drehte der Wind N – NO und erreichte wieder 7 – 9 Bft, wobei einströmende arktische Kaltluft mit Temperaturen unter dem Gefrierpunkt zu verstärkter Bøentätigkeit führte (Abb. 6.17.2.). Der Sturm hielt bis zum Nachmittag des 21. Januar an, als sich der Gradient abschwächte und der Wind zuerst im westlichen Küstenbereich stellenweise auf 5 – 6 Bft abflaute.

Kurz nach Mitternacht drehte der Wind auf W – SW und nahm allmählich ab.

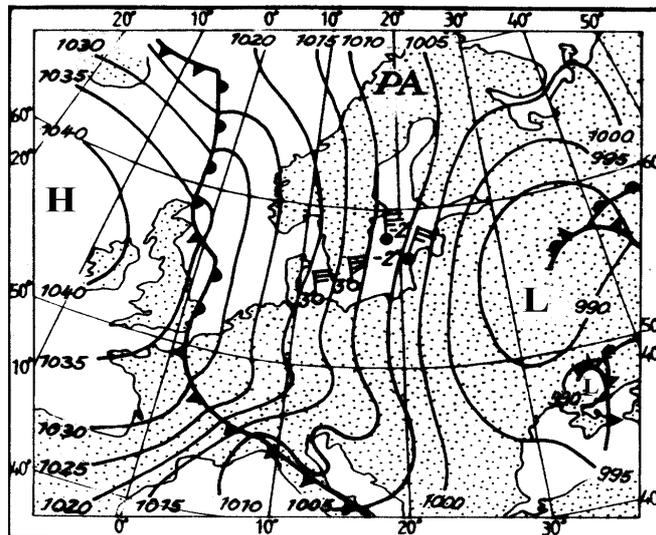


Abb. 6.17.1. Luftdruck über Europa und Windfeld über der südlichen Ostsee am 19. Januar 2000 - eine typische Wetterlage mit lang anhaltender nördlicher Luftströmung über Europa, die häufig zu Windstaus an der südlichen Ostseeküste führt.

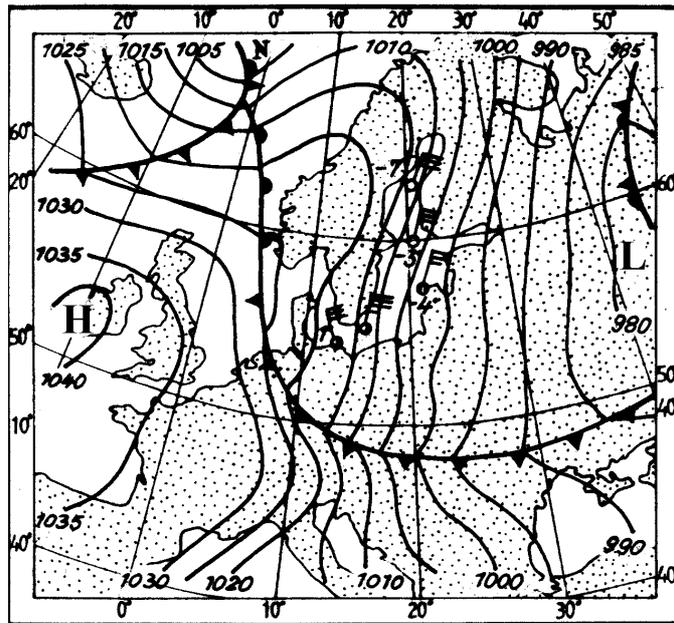


Abb. 6.17.2. Luftdrucklage über Europa und Windfeld über der südlichen Ostsee am 21. Januar 2000 um 12 UTC

### Hydrologische Reaktion des Wasserstandes

Am 17. Januar begannen die Wasserstände unter dem Einfluss eines auflandigen Sturms mit nahezu konstanter Windstärke im gesamten Verlauf der Küste zu steigen, zuerst an den weiter östlich gelegenen Pegeln (in Kołobrzeg gegen Mitternacht) und kurz danach, um ca. 04 UTC, in Warnemünde, dann gegen 06 UTC auch in Wismar. Während die weiter östlich gelegenen Pegel einen ziemlich gleichmäßigen Anstieg verzeichneten, schwankten die Wasserstände im Westen erheblich infolge eines pulsierenden Druckgradienten über diesem Gebiet und wegen des komplizierteren Verlaufs der Küstenlinie.

Der Anstieg dauerte etwa zwei Tage. Der Höchststand wurde am 18. Januar um 19 UTC in Kołobrzeg erreicht (600 cm), drei Stunden später in Świnoujście (600 cm) und Sassnitz (591 cm). Die Maxima in Warnemünde (608 cm) und Wismar (608 cm) wurden am 19. Januar um 02 UTC gemessen. In den Abendstunden des 19. Januar begannen die Wasserstände relativ schnell zu fallen, begünstigt durch den küstenparallelen, leicht ablandigen W-SW-Sturm. Vor allem im westlichen Teil der Küste sanken die Minima bis auf 483 cm, gemessen am 20. Januar um ca. 13 UTC. Der Wasserstand in Kołobrzeg fiel nur bis gegen 06 UTC und fiel an diesem Pegel nicht unter 515 cm.

Kurz nach Mittag am 20. Januar begann unter dem Einfluss eines innerhalb des Tiefdruckausläufers entstandenen W-NW-Sturms, der gegen Mitternacht am 21. Januar auf N-NO drehte, ein erneuter Anstieg des Meeresspiegels. Dieses Mal wurde das ziemlich steile Maximum zwischen 12 UTC und 14 UTC gemessen, und zwar in Kołobrzeg mit 596 cm, Wismar 599 cm, Świnoujście 597 cm und Warnemünde 589 cm. Nur der Höchststand von 581 cm in Sassnitz erfolgte mit 6 Stunden Verzögerung. Während dieser 6 Tage spiegelte ein relativ hoher Referenzwasserstands-Indikator von 545 – 559 cm die typischen Bedingungen an der südlichen Ostseeküste wider. Die berechneten Werte schwankten zwischen 529 cm am Morgen des 17. Januar und 551 cm am Morgen des 22. Januar.

Die erste Sturmflut dauerte 50 – 67 Stunden, die zweite 32 – 37 Stunden.

Die mittlere Anstiegsrate war nicht sehr hoch: sie schwankte zwischen 2 cm/h am 17. und 18. Januar und 3-5 cm/h am 20. und 21. Januar. Es gab allerdings einige abrupte Wasserstandsschwankungen, vor allem im westlichen Teil der Küste: der anfängliche sprunghafte Anstieg in Wismar am 17. Januar zwischen 06 und 09 UTC lag über 16 cm/h,

und eine ähnliche Anstiegsrate wurde am 18. Januar zwischen 10 und 13 UTC gemessen. Dazwischen fielen die Schwankungen kleiner aus.

Typische Merkmale dieser beiden Stürme, die zu den beschriebenen Pegelanstiegen führten, waren die direkte und stetige Einwirkung aufländiger Winde aus nördlichen Richtungen und die lange Windstreichlänge, obwohl der Wind nur zeitweise 9 Bft erreichte. Die Reaktion des Wasserstands war an der gesamten südlichen Küste praktisch einheitlich, und die Höchstwasserstände wurden fast gleichzeitig erreicht. Es wurde keine Phasenverschiebung beobachtet, wie sie gewöhnlich auftritt, wenn eine Störung mit starker Windscherung einhergeht (z. B. in einem entlang der Küste wandernden Tiefdruckzentrum). Bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator (537 cm am 17. Januar) dauerten die beiden Sturmfluten zwischen 50 Stunden in Wismar und 68 Stunden in Kołobrzeg bzw., bezogen auf den Referenzwasserstands-Indikator für den 20. Januar (535 cm), von 31 Stunden in Wismar bis 37 Stunden in Kołobrzeg.

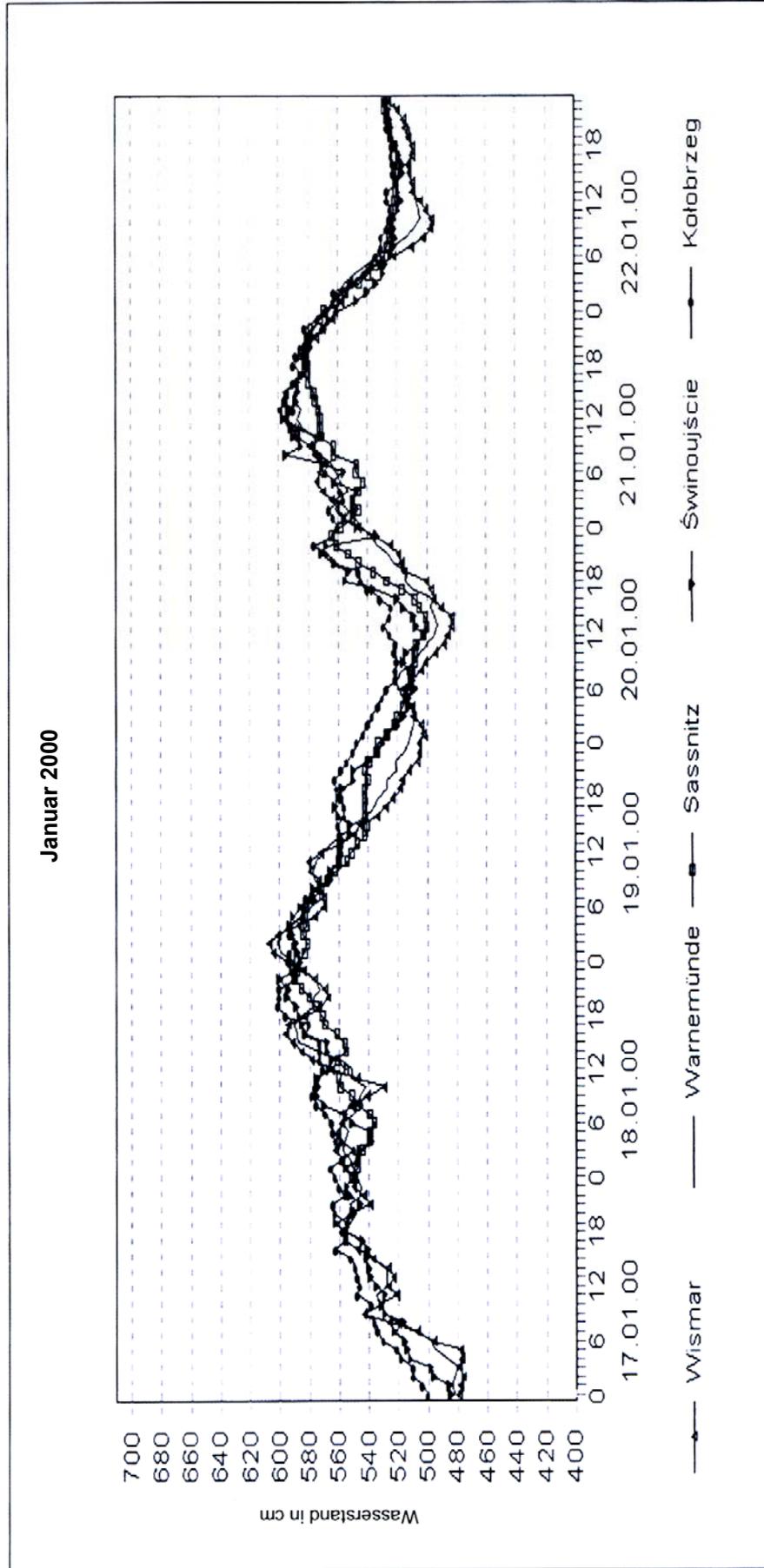


Abb. 6.17.3. Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 2000

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Seit Beginn der verifizierten Beobachtungsreihe im Jahr 1950/51 ist die Anzahl der Sturmfluten pro Dekade von 13 in den 1950er Jahren über 15 bzw. 22 in den darauf folgenden Dekaden auf 34 in den 1980er Jahren gestiegen. In der letzten Dekade des 20. Jahrhunderts lag die Anzahl der Sturmfluten mit 32 kaum darunter.

In den beiden untersuchten Zeiträumen von 1950 – 1975 und 1976 – 2000 unterscheidet sich die mittlere jährliche/saisonale Verteilung lediglich im Monat der größten Häufigkeit: im ersten 25-Jahres-Zeitraum war die Anzahl der Sturmfluten im November am häufigsten (27 % der Sturmfluten), während im Zeitraum von 1976 – 2000 das Maximum zum Januar hin verschoben war, mit 29 % aller Sturmfluten. Außerdem war die Sturmflutsaison im Zeitraum von 1950 – 1975 kürzer. Die ersten Stürme der Saison traten erst im September auf (ca. 2 %) und die letzten Stürme im März, allerdings mit einer Häufigkeit von immerhin 8 %.

Typisches Merkmal der monatlichen Sturmfluthäufigkeitsverteilung ist ein sturmflutfreier Zeitraum von Mai bis Juli.

Die Sturmflutsaison im Zeitraum von 1976 – 2000 dauerte von den ersten Augusttagen (Häufigkeit 1 %) bis April, mit rund 3 % aller jährlichen Sturmfluten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich im Vergleich zum früheren Zeitraum der vorliegenden Untersuchung die Wahrscheinlichkeit einer zu Überschwemmungen führenden Sturmflut gegen Ende des Jahrhunderts etwa verdoppelt hat.

## LITERATUR

- Baerens, C.; Hupfer, P.; Nöthel, H.; Stigge, H.-J.: Zur Häufigkeit von Extremwasserständen an der deutschen Ostseeküste. Teil I: Sturmhochwasser. Spezialarbeiten aus der AG Klimaforschung, Nr.8, Humboldt-Universität, Berlin, 1994
- Beckmann, B.-R.: Veränderungen in der Windklimatologie und in der Häufigkeit von Sturmhochwassern an der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns. Dissertation, Univ. Leipzig, Fakultät für Physik und Geowissenschaften. Wiss. Mitt. a. d. Inst. f. Meteorologie der Univ. Leipzig u. d. Institut für Troposphärenforschung e.V. Leipzig 7(1997a), 93 S., 1997
- Holec, M.; Tymański P.: Podstawy meteorologii i nawigacji meteorologicznej, Wydawnictwo Morskie Gdańsk, 1973
- Hupfer, P.; Baerens, C.; Kolax, M.; TINZ, B.: 1994. Zur Auswirkung von Klimaschwankungen auf die deutsche Ostseeküste. Spez.arb. a.d. Arb.gr. Klimaforschung des Meteor. Inst. der Humboldt-Universität zu Berlin, No. 12 202 S.
- Hupfer, P.; Harff, J.; Sterr, H.; Stigge, H.-J.: 2003. Die Wasserstände an der Ostseeküste – Entwicklung – Sturmfluten – Klimawandel. Die Küste Heft 66 Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee, 331 S.
- Hydrological Aspects of Combined Effects of Storm Surges and Heavy Rainfall on River Flow, WMO - No. 704, Geneva 1988
- International Glossary of Hydrology, WMO - Geneva 1992
- Kluźniak, S.: 1954. Hydrologiczne i meteorologiczne warunki występowania wysokich stanów wody na Zalewie Wiślanym. Przegląd Meteorologiczny i Hydrologiczny, rocznik 1953, zeszyt 3-4, 95-105.
- Kohlmetz, E.: 1964. Untersuchungen über Sturmflutwetterlagen an der deutschen Ostseeküste. Dissertation, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Greifswald, 235 S. s. a.
- Kostrzewa i in. 1983. Charakterystyka spiętrzenia powodziowego u polskiego wybrzeża. Materiały IMGW Warszawa
- Kowalska, B.: 1997. Parametr Malińskiego charakterystyka i długoterminowe zmiany, II Sympozjum Nawigacyjne, Wyższa Szkoła Morska, Gdynia, , rys. 3, bibliogr. 4,
- Kowalska, B.: 2001 Występowanie bardzo wysokich stanów wody w Kołobrzegu w okresie 1951 – 1999, V Sympozjum Bezpieczeństwo morskie i ochrona naturalnego środowiska morskiego, NOT Kołobrzeg, pp. 311 – 320, rys. 11, bibliogr. 3,
- Krüger, Gustav, Wolgast, O: wezbraniach sztormowych na niemieckim wybrzeżu zachodniej części Bałtyku, ze szczególnym uwzględnieniem wezbrania z 30 / 31 grudzień 1904. XII Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft zu Greifswald 1909 - 1010 Pp. 195
- Krzysztofik, K.; Sztobryn, M.: 2002 Warning system of extreme sea levels XIIIth International Scientific and Technical Conference Proceedings - AMW, Gdynia, 14-15.11.2002, Gdynia: AMW, 2002, pp. 84,

- Lisitzin, E.: 1974 Sea-level changes, Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam – Oxford – New York
- Majewski, A.: 1960. Zależność wysokich stanów wody w Zatoce Gdańskiej od gradientu ciśnienia atmosferycznego. Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej tom VIII, zeszyt 2 3-12
- Majewski, A.: 1961 Ogólna charakterystyka wahań poziomu wód u polskiego wybrzeża. Biuletyn PIHM no. 4, Warszawa
- Majewski, A.: Storm Surges along the Southern Coast of the Baltic Sea (in Polish). Technika i Gospodarka Morska no 8 (314) 324-327
- Majewski, A.; Dziadziuszko, Z.; Wiśniewska, A.: 1983 , Monografia powodzi sztormowych 1951-1975, Ogólna charakterystyka powodzi sztormowych u polskiego wybrzeża Bałtyku. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności Warszawa.
- Majewski, A.: 1989 Niezwykłe krótkotrwałe wezbrania morza u południowych i wschodnich brzegów Bałtyku Przegląd Geofizyczny,
- Malicki i Wielbińska: 1992, Some Aspects of the Atmosphere's Impact on the Baltic Sea Waters. Bulletin of the Sea Fisheries Institute 1(125), 19-28
- Malicki, J.; Wiśniewska, A.: 1985 Charakterystyka hydrologiczno-meteorologiczna ekstremalnych powodziowych wezbrań opadowych i sztormowych. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie no. 4. 103 - 104
- MBLU 1996: Dokumentation der Sturmflut vom 3. und 4. November 1995 an der Küste Mecklenburg und Vorpommerns. Hrsg. vom Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern, Rostock, 86 S.
- MEINKE, I.: 1998. Das Sturmflutgeschehen in der südwestlichen Ostsee - dargestellt am Beispiel des Pegels Warnemünde. Diplomarbeit, Philipps-Universität Marburg, FB Geographie, Marburg, 169 S.
- NEEMANN, V.:1994. Beschreibung des Sommerhochwasserereignisses an der westlichen Ostseeküste von Schleswig-Holstein am 28.08.1989 im Vergleich anderer Hochwasser. Dt. Gewässerkd. Jahrbuch - Küstengebiet der Nord- und Ostsee, Abflußjahr 1989(1994), 135-149
- Ostrowski i in.: 1999. Monografia katastrofalnych powodzi w Polsce w latach 1946-1996
- Projekt wewnętrzny IMGW A-6: 1999. Prace badawcze nad katastrofalnymi wezbraniem sztormowymi na wodach granicznych
- Stanisławczyk, I.: 2002 Meteorologiczne uwarunkowania występowania wezbrań sztormowych na południowym wybrzeżu Bałtyku w okresie 1976-2000 w zbiorze referatów z Konferencji Naukowo-Technicznej Bezpieczeństwo morskie i ochrona naturalnego środowiska morskiego I Forum Morskie w Kołobrzegu, Kołobrzeg, 20-22.05.2002, Koszalin: Środkowopomorska Rada NOT w Koszalinie, 2002, pp. 95-102, rys.4, bibliogr. 4,
- Stanisławczyk I., Sztobryn M.: 2000 Zmiany napełnienia Bałtyku jako wskaźnik oceanicznych wlewów powierzchniowych, Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu, część II, materiały na XII Międzynarodową

- Konferencję Naukowo – Techniczną zorganizowaną przez Sekcję Nawigacji Komitetu Geodezji PAN i Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej AMW, Gdynia, 16–17.11.2000, Gdynia: wydane przez Akademię Marynarki Wojennej, , pp. 251 – 256, rys. 2, bibliogr. 3,
- Stanisławczyk I 2001 : Wahania poziomu morza na Wybrzeżu Polskim podczas bardzo silnego sztormu w grudniu 1999, Wiadomości IMGW T.XXIV, 2001, pp. 19 - 25, bibliogr. 6,
- Stigge, H.-J. 1994. Die Wasserstände an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns. Die Küste H 56, 1-24
- Stigge, H-J 1995. The Local Effect of Storm Surges on the Baltic Coast. Contr. to the UNESCO Workshop HYDROCOAST'95, Bangkok, 130-137
- Stigge, H-J 1995 Forecasting Baltic Storm Surges by Throwing Dice Deutsche Hydrogr. Zeitschr, Vol. 47, No. 4, Hamburg –Rostock 1995(b), pp.313-318.
- Sztobryn i inni. 1995. Studies and Modelling of Severe Hydrometeorological Conditions Along the Polish Coast. Końcowy raport z projektu UE no ERB CE PDCP 925076
- Sztobryn, M.; Krzywiński, W: 1996 Extreme sea level events, sea-ice conditions, mean surface temperature and mean salinity changes during the last 45 years - Gulf of Gdansk, (w druku) w Materiałach II Workshop of Baltic Sea-Ice Climate., Estonia: Wydawnictwa Naukowe Uniwersytetu w Tartu, ,
- Sztobryn M., Kańska A., Krzysztofik K.: 1998 Comparison between observed, hindcast and nowcast sea level on southern part of the Baltic Sea, European Geophysical Society XXIII General Assembly, Nice, France, , rys. 12, bibliogr. 4,
- Sztobryn, M.; Kańska, A.: 2000. Ekstremalne zagrożenia hydrologiczne polskiej strefy przybrzeżnej południowego Bałtyku, Współczesne problemy ekstremalnych zagrożeń środowiska, II Ogólnopolska Szkoła Ekstremalnych Zagrożeń, Jachranka, 06-08.11.2000, Warszawa: IMGW, , pp. 113 – 120, rys. 2, bibliogr. 13,
- Sztobryn, M; Kańska, A; Stigge, H. J.: 2000 Analiza przebiegu wezbrań sztormowych na polsko – niemieckich wodach granicznych w latach 1976 - 1995, Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu, część II, materiały na XII Międzynarodową Konferencję Naukowo – Techniczną zorganizowaną przez Sekcję Nawigacji Komitetu Geodezji PAN i Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej AMW, Gdynia, 16–17.11.2000, Gdynia: , wydane przez Akademię Marynarki Wojennej, , pp. 269 – 274, rys. 6
- Sztobryn, M.; Kowalska, B.: 2000 Zmiany i zagrożenia brzegów i środowiska Południowego Bałtyku –sesja naukowa z okazji 50-lecia Oddziału Bałtyckiego PTGeof. (Gdynia, 24-25 V 1999), Przegląd Geofizyczny, XLV, I (2000), pp. 89-90,
- Sztobryn, M.; Stepko, W.:2000 Poziomy morza w Warunki Środowiskowe Polskiej Strefy Południowego Bałtyku w 2000 roku - materiały IMGW. Gdynia: IMGW, 2002, pp. 30 – 35, rys. 3, tab. 1
- Sztobryn, M.: 2001 . Forecasting Storm Surges and Very Low Sea Levels Seminarium nt New Methods and Tools in Water Level Forecasting and Ice Service, grupy roboczej W1 Komisji ds. Współpracy na wodach granicznych polsko-niemieckich. Rostock,

- Sztobryn, M. i inni: 2001. Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do prognozowania groźnych zmian poziomu morza – zachodnie wybrzeże Polski, raport końcowy z wykonania projektu KBN no 3509003018, pp.92
- Sztobryn, M.: 2002. Hydrodynamic Models in the Sea Levels Forecasting Service, Conference Group of the Visegrad States, Bratislava, The Slovak Republic, 16-17.05.2002, Bratislava: The Slovak Hydrometeorological Institute, pp. 115-121, rys. 1, tab. 4, bibliogr. 5,
- Sztobryn, M.: 2002. Wykorzystanie modeli matematycznych w morskich prognozach hydrologicznych - System Morskiej Hydrologii Operacyjnej w IV Polish School on Extreme Hazards, Jachranka, 28-30.10.2002, Warszawa: IMGW, 2002, pp. 179 - 189
- Sztobryn, M.: 2003. Forecast of Storm Surge by means of Artificial Neural Network. Journal of Sea Research, pp. 12
- Wielbińska, D.: 1964. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na poziom morza. Biuletyn PIHM no.2
- Wielbińska, D. ; Stanisławczyk, I.: 1983. Charakterystyka cyrkulacji nad południowo-zachodnim Atlantykiem. Praca wewnętrzna IMGW. 1-16.
- Wiśniewska, A.: 1975. Zależność wysokich stanów wody od wybranych parametrów meteorologicznych. Praca wewnętrzna IMGW, wykonana jako III etap tematu 305-24.02, Gdynia.
- Wiśniewska, A.: 1978. Synoptyczne warunki powstawania wezbrań sztormowych i próba ich prognozy u polskiego wybrzeża Bałtyku. Studia i Materiały Oceanologiczne PAN no. 27 Meteorologia Morska (1 ) Sopot. 49-56.
- Wiśniewska, A.: 1980. Empiryczna metoda prognozowania stanu wody w rejonie Władysławowa. Praca wewnętrzna IMGW. 92-106.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1.1.	Westlicher und mittlerer Teil der südlichen Ostseeküste	8
Abb. 2.1.	Höchstwasserstände der höchsten Sturmfluten auf halbjähriger Basis 1870 – 2000	10
Abb. 2.2.	Anzahl der Sturmfluten pro Saison in Świnoujście von 1950 bis 2000 in % der Gesamtanzahl der Ereignisse in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts	10
Abb. 2.3.	Mittlere monatliche Häufigkeitsverteilung von Sturmfluten in zwei Zeiträumen: 1950 – 1975 und 1976 – 2000	11
Abb. 3.1.	Häufigkeitsverteilung der Höchstwasserstände bei Sturmfluten in Wismar, Warnemünde und Sassnitz von 1976 – 2000	12
Abb. 3.2.	Häufigkeitsverteilung der Höchstwasserstände in Świnoujście bei Sturmfluten von 1950 – 1975 und 1976 – 2000	13
Abb. 3.3.	Häufigkeitsverteilung der Höchstwasserstände in Kołobrzeg bei Sturmfluten von 1950 – 1975 und 1976 – 2000	13
Abb. 3.4.	Häufigkeitsverteilung der täglichen Wasserstandswerte in cm an den Sturmfluttagen	14
Abb. 3.5.	Dauer der Sturmfluten in Świnoujście – Häufigkeitsverteilung	15
Abb. 3.6.	Anzahl der Stunden mit Wasserständen von 560 cm bzw. 580 cm oder darüber in der Sturmsaison bestimmter Jahre. Eine Sturmsaison dauert von August eines Jahres bis zum Juli des darauf folgenden Jahres	17
Abb. 4.1.	Wasserspiegelschwankung um ca. 3 m innerhalb von 24 Stunden am Pegel Kiel-Holtenau als Folge einer Änderung der Windrichtung in der zentralen Ostsee	18
Abb. 4.2.	Wasserspiegelschwankungen von ca. 0,5 m in der Warnow-Mündung in Rostock	19
Abb. 4.3.	Beispiel einer regelmäßigen halbtägigen Tide an der Pegelstation Wismar vom 10. – 14. August 2000	19
Abb. 6.1.1.	Zugbahn des Sturmtiefzentrums, Luftdruckverhältnisse über der südlichen Ostsee am 2. Januar 1976 um 06 UTC	24
Abb. 6.1.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 1976	25
Abb. 6.2.1.	Zugbahn des Sturmtiefs, Luftdruckverhältnisse und Windfeld, die zur Sturmflut vom 24.-27. Dezember 1976 an den Küsten der südlichen Ostsee führten	26
Abb. 6.2.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Dezember 1976	27
Abb. 6.3.1.	Zugbahn des Sturmtiefs vom 3. Januar 1978, 00 UTC bis 5. Januar 1978, 00 UTC; Luftdruckverhältnisse und Windfeld über der Ostsee am 4. Januar, 18 UTC	28

Abb. 6.3.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 1978	29
Abb. 6.4.1.	Zugbahn des Tiefdruckzentrums zwischen dem 17. Januar, 18 UTC und 19. Januar, 12 UTC; Luftdruckverhältnisse und Windfeld am 18. Januar 1983, 18 UTC	30
Abb. 6.4.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 1983	31
Abb. 6.5.1.	Beispiel für winderregtes Oberflächenwasser aufgrund einer langanhaltenden zonalen Luftströmung als Auslöser erhöhter Wasserstände in der südlichen Ostsee. Luftdrucklage am 29. Januar 1983: ein Tiefausläufer, der innerhalb des Bereichs intensiver Luftströmung in den Tagen vor der Sturmflut vom 2.-4. Februar 1983 die Nordsee und Ostsee überquerte	32
Abb. 6.5.2.	Zugbahn des Tiefs vom 1. Februar, 00 UTC, bis 2. Februar 1983, 12 UTC; Luftdruck und Windfeld am 2. Februar 1983, 12 UTC	33
Abb. 6.5.3.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Februar 1983	34
Abb. 6.6.1.	Zugbahn des Sturmtiefs zwischen dem 26. und 28. November, 06 UTC; Luftdruck und Windfeld über der südlichen Ostsee am 28. November 1983 um 06 UTC	35
Abb. 6.6.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom November 1983	36
Abb. 6.7.1.	Zugbahn des Sturmtiefs zwischen dem 19. und 21. Oktober, 12 UTC; Luftdruck und Windfeld über der südlichen Ostsee am 21. Oktober 1986 um 06 UTC	37
Abb. 6.7.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Oktober 1986	38
Abb. 6.8.1.	Zugbahn des Tiefdruckgebiets zwischen 03 UTC am 8. Januar und 18 UTC am 9. Januar; Luftdruck und Windfeld über der südlichen Ostsee am 9. Januar 1987 um 03 UTC	38
Abb. 6.8.2.	Luftdruck und Windfeld am 12. Januar 1987, 18 UTC, über der südlichen Ostsee	39
Abb. 6.8.3.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 1987	41
Abb. 6.9.1.	Zugbahn des Tiefdruckgebiets vom 28. November, 18 UTC, bis 30. November, 00 UTC; Luftdruck und Windfeld über der Ostsee am 29. November 1988, 18 UTC	42
Abb. 6.9.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom November 1988	43
Abb. 6.10.1.	Zugbahn des Tiefdruckgebiets vom 6. Dezember, 00 UTC, bis 7. Dezember, 12 UTC; Luftdruck und Windfeld am 7. Dezember 1989, 06 UTC	44
Abb. 6.10.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Dezember 1989	45
Abb. 6.11.1.	Zugbahn des Tiefdruckgebiets vom 16. Januar, 00 UTC, bis 17. Januar, 12 UTC; Luftdruck und Windfeld am 17. Januar 1992, 06 UTC	46

Abb. 6.11.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 1992	47
Abb. 6.12.1.	Zugbahn des Tiefdruckgebiets, Luftdruck und Windfeld über der Ostsee am 21. Februar 1993, 12 UTC	48
Abb. 6.12.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Februar 1993	49
Abb. 6.13.1.	Zugbahn des Tiefdruckzentrums von 00 UTC am 1. Januar bis 06 UTC am 2. Januar 1995, Luftdruck und Windfeld über der Ostsee am 3. Januar 1995, 06 UTC	50
Abb. 6.13.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 1995	51
Abb. 6.14.1.	Zugbahn des Tiefdruckzentrums von 00 UTC am 7. April bis 00 UTC am 10. April 1995, Luftdruck und Windfeld über der Ostsee am 8. April 1995, 06 UTC	52
Abb. 6.14.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom April 1995	53
Abb. 6.15.1.	Zugbahn des Tiefdruckzentrums von 00 UTC am 2. November bis 00 UTC am 4. November 1995, Luftdruck und Windfeld über der südlichen Ostsee am 3. November 1995, 12 UTC	54
Abb. 6.15.2.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom November 1995	55
Abb. 6.16.1.	Luftdrucklage über Europa und Windfeld über der Ostsee am 11. April 1997, 18 UTC	56
Abb. 6.16.2.	Luftdrucklage über Europa und Windfeld über der Ostsee am 15. April 1997 um 06 UTC	57
Abb. 6.16.3.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom April 1997	59
Abb. 6.17.1.	Luftdruck über Europa und Windfeld über der südlichen Ostsee am 19. Januar 2000 - eine typische Wetterlage mit lang anhaltender nördlicher Luftströmung über Europa, die häufig zu Windstaus an der südlichen Ostseeküste führt	60
Abb. 6.17.2.	Luftdrucklage über Europa und Windfeld über der südlichen Ostsee am 21. Januar 2000 um 12 UTC	61
Abb. 6.17.3.	Wasserstandsänderungen während der Sturmflut vom Januar 2000	63

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1.1.	Kalender der Sturmfluten im westlichen und mittleren Teil der südlichen Ostseeküste in den Jahren 1976-2000	6
Tabelle 2.1.	Einige Hochwasserstände in m über Normalmittelwasser mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit des Unterschreitens von P oder der Wiederkehrzeit T in Jahren; 2000 für deutsche Küstenstädte berechnet	9
Tabelle 3.4.	Anzahl der Stunden pro Saison im Zeitraum 1976 – 2000, in denen Wasserstände von 560 cm bzw. 580 cm erreicht oder überschritten wurden	16

## **ABKÜRZUNGEN**

BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
HN	Höhennull
IMGW	Institut für Meteorologie und Wasserwirtschaft
MBLU	Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern
NATO	Nordatlantikpakt
NN	Normalnull
P	Häufigkeit
PN	Pegelnul
T	Wiederkehrzeit
UTC	koordinierte Weltzeit
WMO	Weltorganisation für Meteorologie

## AUTOREN

Marzenna Sztobryn	+48-58-6288-14	Marzenna.Sztobryn@imgw.pl
Hans-Joachim Stigge †		
Danuta Wielbińska		
Bärbel Weidig	+49-381-4563-784	baerbel.weidig@bsh.de
Ida Stanisławczyk	+48-58-6288-142	Ida.Stanislawczyk@imgw.pl
Alicja Kańska	+48-58-6288-146	Alicja.Kanska@imgw.pl
Katarzyna Krzysztofik	+48-58-6288-146	Katarzyna.Krzysztofik@imgw.pl
Beata Kowalska	+48-58-6288-147	Beata.Kowalska@imgw.pl
Beata Letkiewicz	+48 -58-6288-147	Beata.Letkiewicz@imgw.pl
Monika Mykita	+48-58-6288-146	Monika.Mykita@imgw.pl

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie  
Neptunallee 5  
18057 Rostock

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Oddział Morski  
Waszyngtona 42  
81-342 Gdynia , Polska