

Extrem-Wasserstände an der deutschen Beltseeküste im Zeitraum 1901 bis 1954

Von Ernst-Günter KANNENBERG, Kiel.

Mit 1 Abbildung

Einleitung

Durch das Hochwasser am 4. Januar 1954 an der deutschen Beltseeküste, bei dem Wasserstandshöhen auftraten, wie sie seit 40 Jahren — seit dem Hochwasser vom 30. Dezember 1913 — nicht mehr vorgekommen waren, wurde erneut die Frage nach der Häufigkeit und den Ursachen dieser Erscheinung und ihres Gegenteils, der Niedrigwasserstände, aufgeworfen.

Die in Form der Wasserstandsschwankungen gegebenen hydrographischen Verhältnisse der deutschen Beltseeküste unterscheiden sich erheblich von denen der deutschen Nordseeküste. An der Nordseeküste bestimmen Ebbe und Flut als kosmisch-bedingte periodische Wasserstandsschwankungen, die von meteorologisch-bedingten unregelmäßig überlagert werden, das wechselnde Bild der Küste. Dagegen beherrschen an der Beltseeküste meteorologisch-bedingte unregelmäßige Wasserstandsschwankungen, welche die kosmisch-bedingten infolge geringer Amplitude meist völlig überdecken¹⁾, das Bild des Küstensaumes.

Das Auftreten von extremen Wasserständen in der Beltsee wird ausschließlich durch das Zusammentreffen besonderer meteorologischer und hydrographischer Verhältnisse ermöglicht und durch die Gestalt des langgestreckten Ostseebeckens sehr begünstigt. Die Hauptachse des Ostseebeckens verläuft von der Beltsee zum Finnischen Meerbusen in SW-NO Richtung, so daß Stürme aus diesen beiden entgegengesetzten Richtungen den größten Einfluß auf eine Verdriftung der Wassermassen haben und dabei in den beiden abschließenden Meeresteilen die höchsten Stau-Effekte erzielen können. Die westlichen Öffnungen des Ostseebeckens ins Kattegatt, die Belte und der Sund, haben ein so geringes Durchlaßvermögen, daß sie infolge der Schnelligkeit der Vorgänge beim Zustandekommen von Extremwasserständen keine unmittelbare Entlastung durch Abführung von Wassermassen zu bringen vermögen.

Zu den hydrographischen Bedingungen, die das Auftreten von extremen Wasserständen begünstigen können, gehören die in der Ostsee auftretenden Eigenschwingungen (NEUMANN 1941) und der „aktuelle Wasserstand“ der Ostsee (HELA 1944). Erstere werden im allgemeinen erst durch den Windstau an einem Ende des Beckens ausgelöst, können aber auch unter bestimmten Umständen die meteorologisch bedingten Wasserstandsschwankungen begünstigen und verstärken.

¹⁾ An der Beltseeküste beträgt der Tidenhub nur 10—20 cm. Er verringert sich von der Kieler Bucht bis zur Darßer Schwelle etwa auf die Hälfte.

Der „aktuelle Wasserstand“ der Ostsee kann nach HELA (1944) Schwankungen von mehr als ± 50 cm aufweisen und ist im wesentlichen von einer vorhergehenden länger dauernden Wetterlage und ihrem Einfluß auf die dänischen Gewässer (Belte und Sund) abhängig.

Durch meteorologische Einflüsse wesentlich verstärkte Fluten werden an der Nordseeküste mit Recht als Sturmfluten bezeichnet. Eine diesen Verhältnissen hydrographisch gleichartige Erscheinung gibt es an der Beltseeküste nicht. Trotzdem wird auch hier von Sturmfluten gesprochen, da die meteorologischen Grundbedingungen, das äußere Erscheinungsbild und die Wirkungen durchaus denen der Nordseeküste gleichen. WASMUND (1939) prägte daher für die an der Beltseeküste auftretende und der Sturmflut an der Nordseeküste gleichende Erscheinung den Ausdruck: Sturm-Hochwasser. Es genügt jedoch vollauf, die positiven Wasserstandsschwankungen der Beltsee als Hochwasser zu bezeichnen, denn sie können nur durch Stürme erzeugt werden, so daß die Entstehung eindeutig ist.

Die Bedeutung der Extremwasserstände für Wissenschaft und Praxis

Positive und negative Wasserstandsschwankungen größeren Betrages haben für verschiedene Vorgänge und Erscheinungen eine erhebliche Bedeutung, unterscheiden sich jedoch in der Art ihrer Bedeutung für Wissenschaft und Praxis.

Im allgemeinen wurde bisher den positiven Wasserstandsschwankungen, den Hochwässern (HW), fast ausschließlich Beachtung geschenkt. Tage mit HW sind diejenigen Zeitabschnitte, an denen die marinen Kräfte am intensivsten arbeiten und die Küste ihre umfassendsten Gestaltveränderungen erfährt. Bei HW wird an der Beltseeküste nicht nur in dem unter normalen Verhältnissen der Meereswirkung entzogenen Bereich oberhalb der MW-Linie die Abtragung der Steilufer und die Umlagerung der Strandwälle in Gang gesetzt und weitergetrieben, sondern auch am submarinen Grund der Sandtransport auf den Sandriffen und die Abtragung der Abrasionsplatte vor den Steilufern ganz wesentlich verstärkt. — Aus diesem Grunde wurde HW und ihre Folgeerscheinungen von Seiten verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen wegen der damit verbundenen Veränderungen und Zerstörungen aller Art, sowohl natürlicher Formen (Kliffs, Strandwälle, Dünen) als auch künstlicher, von Menschenhand geschaffener Anlagen (Gebäude, Brücken, Uferschutzwerke, Entwässerungsbauwerke) stets große Aufmerksamkeit geschenkt, da sie eindrucksvolle Aufschlüsse über das Wirken der marinen Kräfte und die Zweckmäßigkeit von Schutzbauten vermitteln. Erst in jüngster Zeit hat WEYL (1954) außerdem auf die Bedeutung der HW im Zusammenhang mit dem „Prinzip des Aktualismus“ hingewiesen, daß wir „auch im geologischen Geschehen der Erd-Oberfläche ... meist kurzfristige Zeiten starker Wirkung und langandauernde Zeiten ruhiger Entwicklung zu unterscheiden haben und bei der Ausdeutung vorzeitlicher Ablagerungen dieser Tatsache Rechnung tragen müssen.“

Viel weniger Beachtung fanden bisher negative Wasserstandsschwankungen, also extreme Niedrigwasserstände (NW), an der Beltseeküste. Diese Tatsache hängt einmal damit zusammen, daß sie im Gegensatz zu HW keine Folgeerscheinungen haben und keine Veränderungen an der Küste erfolgen, zum anderen aber besonders damit, daß die Beobachtungszeit allein auf wenige Stunden

beschränkt bleibt, während nach einem HW die herbeigeführten Veränderungen und Zerstörungen meist wochen- oder sogar monatelang erhalten bleiben. Dennoch bieten extreme NW ausgezeichnete Möglichkeiten für Beobachtungen und Studien des küstennahen Meeresbodens, sowohl in morphologischer und geologischer als auch in biologischer Hinsicht. — Erstmals hat WASMUND (1939) umfangreiche und vielseitige Beobachtungen des trockengefallenen Meeresgrundes der Kieler Förde während eines extremen Niedrigwasserstandes im November 1938 mitgeteilt. Unter ähnlichen Bedingungen machten PETERSEN (1952) und der Verfasser (1951) im Oktober 1949 Beobachtungen an der trockengefallenen Abrasionsplatte des Brodtener Steilufers bei Travemünde, wobei die Formen der submarinen Abtragung im Geschiebemergel näher untersucht werden konnten.

Wenn auch die Kenntnis über den Meeresgrund der Beltsee in jüngster Zeit durch verschiedene geologische Untersuchungsmethoden wesentlich erweitert werden konnte, so bleiben doch weitere Beobachtungen während extremer NW an anderen Küstenabschnitten der Beltsee wünschenswert, da gerade die Flachwasserzone bis 2 m Tiefe das Gebiet der intensivsten Veränderungen und der ungestörten Beobachtung infolge häufiger Brandung am wenigsten zugänglich ist. Auf die Bedeutung derartiger Beobachtungen vom trockengefallenen küstennahen Meeresboden für die Deutung fossiler Sedimente hat bereits WASMUND (1939) hingewiesen.

Bisherige Arbeiten über Extremwasserstände und das Ziel der vorliegenden Bearbeitung

Als klassische Bearbeitung eines einzelnen HW-Standes muß der Aufsatz von BAENSCH (1875) über das HW vom 13. Nov. 1872 angesehen werden. BAENSCH gab nicht nur einen Überblick über den Verlauf dieses einmaligen Ereignisses, sondern auch über die meteorologischen Verhältnisse und die hervorgerufenen Veränderungen und Zerstörungen sowie über technische Folgerungen. Eine weitere bedeutsame Bearbeitung erfolgte durch KRÜGER (1911), der nicht nur das Sylvester-HW von 1904 analysierte, sondern vor allem auch eine Zusammenstellung aller historisch bekannter HW der deutschen Ostseeküste anfertigte. — An weiteren Bearbeitungen späterer HW liegen folgende vor:

- | | |
|------------------------|--|
| HW vom 30. Dez. 1913 | durch FRIEDERICHSEN (1914), |
| HW vom 1./2. März 1949 | durch REINHARD (1949), |
| HW vom 4. Jan. 1954 | durch WÜST (1954), WEYL (1954) v. BÜLOW
(1954) und KANNENBERG (1955). |

Die Arbeiten von FRIEDERICHSEN, REINHARD und v. BÜLOW behandeln nur die mecklenburg-vorpommersche Küste, während WÜST und WEYL nur die schleswig-holsteinische Ostküste berücksichtigen.

In einer Reihe von anderen Arbeiten werden die HW-Stände eines Ortes bzw. Pegels über einen längeren Zeitraum verfolgt. So untersuchte SCHAPER (1895) die HW-Stände am Pegel Lübeck im Zeitraum 1887—1894, STARK (1952) die HW-Stände am Pegel Lübeck von 1885—1949, WASMUND (1939) die HW-Stände am Pegel Kiel von 1864—1938. Eine Auswertung von NW-Ständen liegt nur vom Pegel Kiel durch WASMUND im o. a. Zeitraum vor.

In einigen neueren Arbeiten weitergespannter Themenstellung wurde auch eine Anzahl neuerer HW-Stände bekannt gegeben. So hat PETERSEN (1952,

S. 114 f.) eine Fortsetzung der verdienstvollen Zusammenstellung von KRÜGER (1911) mit HW-Ständen von mehr als 1,5 m MW an verschiedenen deutschen Beltseepiegeln bis 1949 vorgenommen. Ebenso brachte REINHARD (1953, S. 44 f. u. 78) Angaben über weitere HW-Stände am West-Darß bis 1949.

Es fehlt jedoch immer noch eine Gesamtschau über die HW- und NW-Stände an verschiedenen Pegeln eines größeren Küstenabschnittes. Die seit 1900 vorliegenden Gewässerkundlichen Jahrbücher bilden hierfür eine ausgezeichnete Grundlage, haben aber bisher in dieser Hinsicht noch keine genügende Auswertung erfahren. Für eine derartige Gesamtschau stellt die deutsche Beltseeküste vom Kleinen Belt bis zum Darß einen Küstenabschnitt dar, der auf Grund seiner Lage am westlichen Abschluß des Ostseebeckens mit den extremsten Wasserstandsschwankungen ein besonderes Interesse verdient.

Erst das Vorliegen einer hydrographischen Statistik kann zur Erkenntnis und Lösung weiterer interessanter Probleme der Extremwasserstände beitragen, die dann unter Heranziehung der gleichzeitigen meteorologischen Beobachtungen in Angriff genommen werden können. — Im folgenden soll daher zunächst eine Statistik der Extremwasserstände an der deutschen Beltseeküste unter besonderen Gesichtspunkten zusammengestellt werden. Diese Statistik ermöglicht als erstes Aussagen über die Häufigkeit und Verteilung der HW und NW sowie über gewisse zeitliche und regionale Unterschiede. Weiterhin sollen die meteorologischen Bedingungen für Extremwasserstände in großen Zügen erörtert werden.

Die Auswahl der Pegel und ihre Eigenheiten

Für die Zusammenstellung kamen vor allem Pegel in Betracht, die eine durchgehende, möglichst ununterbrochene Beobachtungszeit aufweisen können. Leider sind derartige Pegel nicht zahlreich, so daß wenig Auswahlmöglichkeiten bestehen. Auf der anderen Seite wurde angestrebt, sowohl Pegel in den tief ins Land einschneidenden Buchten und Förden, als auch Pegel an der Außenküste für die Bearbeitung heranzuziehen. Nach eingehender Erwägung aller Möglichkeiten wurden folgende Pegel ausgewählt:

Pegel	Allg. Lage	Besondere Lage
Flensburg	Innenküste	Flensburger Förde
Schleimünde	Außenküste	Kieler Bucht
Kiel	Innenküste	Kieler Förde
Marientleuchte	Außenküste	Fehmarn-Belt
Lübeck	Innenküste	Untertrave
Travemünde	Innenküste	Lübecker Bucht
Wismar	Innenküste	Wismarer Bucht
Warnemünde	Außenküste	

Ununterbrochene Beobachtungszeiten bzw. eine ununterbrochene Veröffentlichung der Beobachtungen bestehen nur bei den Pegeln Kiel, Lübeck und Travemünde. Im einzelnen sind bei den ausgewählten Pegeln folgende Beobachtungszeiten in den Gewässerkundlichen Jahrbüchern veröffentlicht (Abflußjahr):

Pegel Flensburg 1901—1910 und ab 1931 durchgehend
Pegel Schleimünde 1901—1910 und ab 1931 durchgehend

Pegel Kiel	1901 und alle folgenden
Pegel Marienleuchte	1901—1940 und seit 1951
Pegel Lübeck-Staatswerft . .	nicht veröffentlicht, ab 1901 vorliegend
Pegel Travemünde	1901 und alle folgenden
Pegel Wismar	1901—1940 und ab 1943 durchgehend
Pegel Warnemünde	1901—1940, 1943—1944 und ab 1947

Die Wasserstandsbeobachtungen der Pegel Flensburg und Schleimünde für die Abflußjahre 1921 bis 1930 wurden freundlicher Weise vom Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel zur Verfügung gestellt. Für Lübeck wurden die von STARK (1951 und 1952) bearbeiteten Aufzeichnungen des Pegels Lübeck-Staatswerft herangezogen, da sie einen höheren Grad an Zuverlässigkeit bieten als diejenigen des Pegels Lübeck-Struckfahre, zumal bei letzterem nicht immer die absoluten Extreme erfaßt wurden.

Im Laufe der vergangenen Jahrzehnte erfuhren alle Pegel verschiedene Veränderungen der Höhe ihrer Nullpunktslage. Die erheblichsten Veränderungen in den Nullpunktslagen der Pegel wurden im Jahre 1936 vorgenommen, als alle Pegel, die vorher teilweise recht unterschiedliche Höhen des Nullpunkts zu NN im alten System (aS) oder im System des Küstennivellements aufwiesen, einheitlich auf den Nullpunkt —5,00 m zu NN im neuen System (nS) versetzt wurden.²⁾

Die Wasserstandsangaben der hier bearbeiteten Pegel sind in den Statistiken des Gewässerkundlichen Jahrbuchs auf folgende Nullpunktshöhen bezogen:

Pegel Flensburg	1901—1933	PN = NN — 2,295 m aS
	1934—1936	PN = NN — 2,226 m nS
	1937 ff.	PN = NN — 5,00 m nS
Pegel Schleimünde	1901—1936	PN = NN — 2,313 m aS = NN — 2,215 m nS
	1937 ff.	PN = NN — 5,00 m nS
Pegel Kiel	1901—1936	PN = NN — 0,277 m aS = NN — 0,202 m nS
	1937 ff.	PN = NN — 5,00 m nS
Pegel Marienleuchte	1901—1936	PN = NN ± 0,00 m nicht ausgegl. S. = NN + 0,012 m nS
	1937 ff.	PN = NN — 5,00 m nS
Pegel Lübeck-Staatsw.	Keine Angaben, von STARK umgerechnet	
Pegel Travemünde	1901—1903	PN = NN — 5,46 m ?
	1904—1913	PN = NN — 5,502 m aS
	1914—1936	PN = NN ± 0,00 m aS = NN + 0,050 m nS
	1937 ff.	PN = NN — 5,00 m nS
	1901—1936	PN = NN ± 0,00 m ausgegl. System = NN — 0,065 m aS
Pegel Wismar	1937	PN = NN — 5,00 m aS = NN — 4,931 m nS
	1938 ff.	PN = NN — 5,00 m nS

²⁾ Bezüglich der verschiedenen Nivellementssysteme sei auf die Zusammenstellung von MODEL 1950, S. 64—65 hingewiesen.

Pegel Warnemünde 1901—1936 PN = NN ± 0,00 m
 = NN nS
 1937 ff. PN = NN — 5,00 m nS

Sämtliche im folgenden angegebenen Wasserstände aus der Zeit vor 1937 sind auf das NN im neuen System (nS) umgerechnet worden und werden in cm zu NN angegeben.

Tabelle 1
 Hochwasser an der deutschen Beltseeküste
 in cm zu NN

HW-Datum	WL ³⁾	Flens-burg	Schlei-münde	Kiel	Marien-leuchte	Lübeck	Trave-münde	Wismar	Warnemünde
15. 12. 01	A	?	115	136	108	129	129	136	112
1. 12. 03	B	117	?	130	111	133	129	137	110
31. 12. 04	A	224	211	224	187	218	218	228	188
14. 1. 05	C	107	99	109	117	136	135	?	124
6. 12. 06	A	137	?	130	107	124	121	128	112
9. 1. 08	A	157	154	183	137	186	184	176	142
30. 12. 09	A	103	103	106	111	109	112	110	103
14. 10. 10	C	121	?	129	106	120	126	125	109
5. 5. 13	B	141	—	132	97	132	131	109	83
30. 12. 13	A	167	—	190	183	206	200	208	189
10. 1. 14	A	—	—	175	155	158	153	157	160
29. 9. 14	A	—	—	119	98	100	103	118	111
14. 1. 16	A	—	—	114	91	113	?	122	102
7. 11. 21	A	141	123	166	133	175	123?	196	150
10. 11. 23	B	103	?	100	99	108	?	113	103
6. 2. 24	A	135	111	133	98	124	?	128	114
22. 12. 26	A	121	105	130	100	128	?	110	97
12. 12. 28	B	121	105	108	89	112	112	108	93
15. 10. 34	A	127	103	145	119	126	?	140	116
2/3. 3. 35	B	167	137	155	128	147	129?	133	116
25. 10. 35	B	105	109	120	110	122	?	130	114
9. 2. 36	A	181	130	131	125	131	103?	127	111
14. 2. 39	C	150	98	127	110	110	112	126	101
28. 10. 39	B	130	100	112	100	146	138	124	94
16. 1. 40	?	168	138	136	?	127	124	101	?
13. 11. 41	B	180	121	118	—	104	?	—	—
27. 12. 41	A	178	129	158	—	172	164	—	—
9. 11. 45	A	130	?	129	—	120	120	120	—
13. 1. 46	A	140	?	?	—	155	154	155	—
22. 1. 49	C	120	?	111	108	129	126	127	115
1. 3. 49	A	140	118	150	124	148	140	180	150
11. 12. 49	B	150	127	160	125	164	155	170	110
21. 1. 52	B	130	119	143	118	147	144	128	110
4. 1. 54	(A)	172	160	180	160	202	202	210	170

Extremwasserstände, die bei allen Pegeln oder zumindest bei der Mehrzahl der o. a. Pegel + 1,50 m NN erreichen oder überschritten, sind besonders hervorgehoben und werden in den folgenden Tabellen hHW (höheres Hochwasser) bezeichnet.

³⁾ WL = Wetterlage, vgl. Seite 13.

Tabelle 2
Niedrigwasser an der deutschen Beltseeküste
in cm unter NN

NW-Datum	Flens- burg	Schlei- münde	Kiel	Marien- leuchte	Lübeck	Trave- münde	Wismar	Warne- münde
26. 12. 02	153	141	132	109	166	157	148	132
6/7. 4. 04	143	101	?	106	125	126	122	110
3. 11. 04	121	?	105	106	133	125	120	107
3. 1. 05	157	131	136	107	135	133	132	117
28. 11. 05	119	117	123	106	139	128	126	105
12. 3. 06	185	161	151	129	152	148	150	126
6/7. 1. 08	107	111	115	124	165?	137	133	116
4. 12. 09	141	100	143	103	140	127	134	112
8. 11. 10	—	—	143	108	150	134	136	111
17. 2. 11	—	—	140	108	152	137	124	110
6. 11. 11	—	—	190	176	218	202	192	159
31. 1. 12	—	—	122	117	138	128	127	114
19. 11. 13	—	—	128	113	130	120	120	104
14. 11. 14	—	—	116	?	117	124	124	105
16. 1. 16	—	—	110	146	144	140	136	125
17. 2. 16	—	—	135	106	146	132	135	113
26. 10. 17	—	—	170	120	150	132	142	114
27. 11. 17	—	—	116	123	151	131	129	115
8. 1. 20	—	—	166	177	170	152	166	154
15. 11. 20	135	115	119	111	155	115	126	117
18. 1. 21	139	113	125	110	130	112	121	112
4. 3. 21	131	113	139	111	134	114	123	116
31. 8. 23	135	119	120	108	160	109	126	103
11. 9. 24	139	127	124	114	144	113	107	107
3. 1. 25	106	?	105	107	136	103	113	112
10. 10. 26	223	185	170	162	184	172	172	152
24. 11. 28	159	143	140	112	130	122	116	104
10. 12. 29	141	113	104	?	132	105	123	102
9. 10. 30	149	117	118	108	140	123	114	?
9. 7. 31	183	134	122	117	158	146	130	110
12. 10. 33	145	132	143	128	154	141	138	119
8. 2. 34	181	142	?	119	135	114	?	?
24. 9. 34	127	?	?	110	140	126	126	105
18. 9. 35	127	118	138	103	130	117	115	104
20. 10. 35	147	140	155	142	175	151	145	121
28. 10. 36	173	160	161	133	172	149	165	143
24. 11. 38	200	165	182	131	178	169	161	143
22. 12. 39	174	173	170	141	176	150	156	143
17. 1. 45	166	157	161	—	182	136?	171	104?
10. 9. 47	114	120	121	—	124	120	116	102
10. 11. 48	150	125	136	—	155	154	147	120
16. 1. 54	114	127	118	120	136	124		

Zu beiden Tabellen ist zu bemerken, daß besonders für den Pegel Travemünde im Zeitraum 1917-36 eine Reihe von Werten fehlen bzw. die vorhandenen ganz erhebliche Unterschiede zu den Werten des Pegels Lübeck aufweisen, die an sich nur wenige cm, höchstens 10 cm betragen dürfen. Dieser Mangel ist auf eine teilweise Verstopfung der Brunnenzuleitung des Schreibpegels zurückzuführen, die von HAHN & RIETSCHEL (1938, S. 10) an Hand des gegenüber Nachbarpegeln stark abweichenden Mittelwassers im Zeitraum 1917-26 nachgewiesen ist. Anscheinend haben sich ähnliche Erscheinungen nochmals im Zeitraum 1934-36 bemerkbar gemacht.

Die Statistik der Extremwasserstände

In den vorstehenden Tabellen 1 und 2 sollen zunächst sämtliche Extremwasserstände erfaßt werden, die als HW an den Pegeln der Buchten und Förden der deutschen Beltseeküste — Flensburg, Kiel, Lübeck und Wismar — den Wasserstand $NN + 100$ cm überschritten, bzw. als NW an allen Pegeln den Wasserstand $NN - 100$ cm unterschritten.

Diese gegenüber dem NN etwas ungleichmäßige Grenze in der Auswahl der Extremwasserstände erscheint unter Berücksichtigung der Tatsache, daß das Mittelwasser aller o. a. Pegel im Durchschnitt des Zeitraumes 1901/50 zwischen $NN - 9$ cm und $NN - 6$ cm liegt, gerechtfertigt und läßt damit auch das Verhältnis der in diesem Zeitraum aufgetretenen extremen HW- und NW-Stände bezüglich des Mittelwassers etwa gleichwertig zur Geltung kommen.

Bei den Werten der Tabelle 2 kann angenommen werden, daß nicht immer die absoluten Extreme erfaßt worden sind, da den NW-Ständen nie die Beachtung geschenkt wurde wie den HW-Ständen. — Extreme NW-Stände, die bei allen Pegeln oder zumindest bei der Mehrzahl der o. a. Pegel $NN - 1,50$ m erreichten oder unterschritten, sind besonders hervorgehoben und werden in den folgenden Tabellen mit nNW (niedriges NW) bezeichnet.

Die Häufigkeit der Extremwasserstände

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts sind 34 HW und 42 NW mit einer Verbreitung an der gesamten deutschen Beltseeküste aufgetreten. Darunter müssen 11 HW und 9 NW als besonders extrem bezeichnet werden.

NW sind natürlich wegen des Vorherrschens westlicher Stürme gegenüber östlichen häufiger als HW. Das Übergewicht ist jedoch nicht so erheblich, wie man vielleicht vermuten könnte. Diese Tatsache hängt zweifellos damit zusammen, daß nur unter sehr eng begrenzten meteorologischen Bedingungen, die von der Gestalt des Ostseebeckens bestimmt werden, eine wesentliche Verdriftung von Wassermassen innerhalb dieses Binnenmeeres stattfinden kann.

Keinesfalls ist es jedoch so, daß NW geringer an Zahl sind als HW, wie WASMUND (1939, S. 286) behauptet. In WASMUND's Zusammenstellung kommt eben zum Ausdruck, daß NW-Ständen früher zu wenig Beachtung geschenkt wurde und sicher eine ganze Anzahl unbeobachtet blieb, zumal wenn die Extreme nachts auftraten.

Im Durchschnitt kann fast in jedem Jahr mit einem an der gesamten Beltseeküste verbreitet auftretenden NW und mehr als jedes zweite Jahr mit einem entsprechenden HW gerechnet werden. Alle 5—6 Jahre ist im Durchschnitt ein extremes HW und NW zu erwarten. Im einzelnen ergeben sich gegenüber diesem Durchschnitt jedoch erhebliche Schwankungen, wie sie aus folgenden Zusammenstellungen ersichtlich werden.

a) Verteilung im Zeitraum 1901/50

Von den in o. a. Tabellen angeführten 34 HW (11 hHW) und 42 NW (9 nNW) fielen 32 HW (10 hHW) und 41 NW (9 nNW) in den Zeitraum 1901/50. Diese HW und NW verteilen sich auf die einzelnen Jahrzehnte folgendermaßen:

Tabelle 3
Verteilung der HW und NW auf die einzelnen Jahrzehnte

Jahrzehnt	HW	hHW	NW	nNW
1901/10	8	2	9	1
1911/20	5	2	11	2
1921/30	5	1	9	1
1931/40	7	1	9	4
1941/50	7	4	3	1
1901/50	32	10	41	9

Bereits an anderer Stelle (KANNENBERG 1951, S. 17 f.) konnte festgestellt werden, daß der Zeitraum von etwa 1915 bis 1934 eine wesentlich geringere Anzahl von HW gegenüber der vorhergehenden und nachfolgenden Zeit aufweist. Zur besseren Veranschaulichung dieser Feststellung sei der Zeitabschnitt 1901/50 in folgender Zusammenstellung in drei gleiche Perioden geteilt:

Tabelle 4
Verteilung der HW und NW auf drei 17-jähr. Perioden

Periode	HW	hHW	NW	nNW
1901/17	13	4	18	2
1918/34	6	1	15	2
1935/51	13	5	8	5
1901/51	32	10	41	9

Neben dieser Schwankung in der Häufigkeit der HW im zweiten Drittel des Halbjahrhunderts 1901/50, die sich auch in einem Nachlassen der höheren HW (hHW) äußert, ist vor allem das erheblich geringere Auftreten von NW im letzten Drittel und im letzten Jahrzehnt besonders markant, während zugleich die Extreme (nNW) ausgeprägter sind.

Eine Deutung dieser Schwankungen kann an dieser Stelle nicht versucht werden. Solche Schwankungen müssen aber mit Änderungen in der atmosphärischen Zirkulation zusammenhängen. Von irgendwelchen Periodizitäten zu sprechen, wäre verfrüht und vorerst verfehlt.

b) Verteilung innerhalb des Jahres

Die in o. a. Zusammenstellungen der Tabellen 1 und 2 erfaßten HW und NW verteilen sich auf die Monate des Jahres folgendermaßen:

Tabelle 5
Verteilung der HW und NW auf die Monate des Jahres

Monat:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
HW	9	3	2	—	1	—	—	—	1	4	4	10	= 34
hHW	4	—	2	—	—	—	—	—	—	—	1	4	= 11
NW	9	3	2	1	—	—	1	1	4	6	11	4	= 42
nNW	2	—	1	—	—	—	—	—	—	3	2	1	= 9

HW treten am häufigsten im Dezember und Januar auf. Die HW-freien Monate sind nur Juli und August.

In allen drei Frühjahrsmonaten April bis Juni können HW-Stände von mehr als + 100 cm NN auftreten. Bekannte HW-Stände im April sind der 19. 4. 1903, der in Lübeck (117), Travemünde (120), Wismar (152) und Warnemünde (128) nachgewiesen ist, und der 4. 4. 1911 mit HW in Kiel (110), Lübeck (104), Travemünde (109) und Wismar (112). Neben dem verbreiteten HW vom 5. 5. 1913 wurde am 21. 5. 1917 in Kiel ein HW-Stand von 100 cm NN gemessen. Auch im Juni trat seit der letzten Jahrhundertwende ein HW auf: am 14. 6. 1946 war der Wasserstand in Lübeck auf + 112 und in Travemünde auf + 106 cm NN gestiegen.

Die größte Häufigkeit der NW liegt im Herbst mit Oktober und vor allem November, daneben jedoch auch im Januar. Die NW-freie Zeit beschränkt sich im allgemeinen auf die Frühjahrsmonate Mai und Juni, wobei ersterer durch das Vorherrschen östlicher Winde gekennzeichnet ist. — Als völlig frei von NW-Ständen unter NN — 100 cm kann jedoch kein Monat bezeichnet werden. Während der Monate Mai und Juni wurde dieser Wert an folgenden Tagen unterschritten:

im Mai: am 4. 5. 1907 in Flensburg (115),
am 18. 5. 1909 in Flensburg (115),
im Juni: am 11. 6. 1913 in Kiel (103) und Lübeck (108).

Auch die beiden Sommermonate Juli und August können neben den beiden in der Tabelle 2 angeführten, an der gesamten Beltseeküste verbreiteten NW-Ständen weitere NW an einzelnen Pegeln, vor allem im August, aufweisen:

im Juli: am 16. 7. 1936 in Flensburg (113), Kiel (102), Lübeck (124),
Travemünde (107) und Wismar (107),
im August: am 18. 8. 1938 in Flensburg (116) und Lübeck (109),
am 14. 8. 1941 in Flensburg (180?) und Lübeck (120),
am 30. 8. 1950 in Travemünde (122) und Lübeck (120),
am 10. 8. 1951 in Travemünde (125) und Lübeck (128).

Das Auftreten der äußeren Extreme an HW und NW beschränkt sich auf das Winterhalbjahr und hat bei den HW seinen Schwerpunkt zu Beginn des Winters im Dezember und Januar, bei den NW dagegen im Herbst mit Oktober und November.

Meteorologische Bedingungen der Extremwasserstände

Extremwasserstände an der Beltseeküste sind keinesfalls nur aus den örtlichen Windverhältnissen erklärlich. Für ihre Entstehung sind die Wind- und Luftdruckverhältnisse über dem gesamten Ostseebecken sowie dem Kattegatt und dem Skagerrak maßgeblich.

Das Auftreten von Extremwasserständen in der Beltsee wird in erster Linie durch wandernde Tiefdruckwirbel auf bestimmten Zugbahnen in Verbindung mit starker Gradientenbildung über dem Ostseebecken bedingt. Während die meteorologischen Bedingungen für das Auftreten von HW hinreichend bekannt sind, fehlen bisher noch nähere entsprechende Untersuchungen für das Auftreten der NW. Diese Tatsache ist wiederum durch das geringe Interesse zu erklären, das bisher extremen NW-Ständen entgegengebracht wurde.

a) HW-Wetterlagen

HW entstehen immer dann in der Beltsee, wenn über Nordeuropa ein kräftiges Hochdruckgebiet entsteht und sich nach Süden ausbreitet, während gleichzeitig wandernde Tiefdruckwirbel zum hohen Luftdruck hin ein starkes Gradientenfeld ausbilden.

Zwei Zugbahnen von Tiefdruckgebieten sind für HW und besonders auch die extremen HW kennzeichnend. Einmal sind es vom Nordatlantik kommende Tiefs, die entweder durch das über Nordskandinavien entstehende Hoch nach SO über das Skagerrak und Jütland bzw. Südschweden nach Pommern und weiter ostwärts abgedrängt werden oder weiter südlich von den Britischen Inseln kommend über Norddeutschland und Pommern am Südrande des Ostseebeckens entlangziehen (Wetterlage A).

Die andere Zugbahn eines Tiefs führt aus dem Mittelmeerraum über Böhmen nach Mittel- oder Ost-Deutschland. Die letztgenannten Tiefdruckgebiete (Vb-Tiefs) zeichnen sich im allgemeinen durch eine geringere Wandergeschwindigkeit, aber zugleich durch eine größere Beständigkeit aus (Wetterlage B).

Nach den Untersuchungen von STARK (1952) treten hohe Wasserstände auch dann auf, „wenn ein kräftiges Tiefdruckgebiet über Nordskandinavien sich nach Osten verlagert und der Wind auf der Rückseite eines solchen Tiefs in der östlichen Ostsee mit Sturmesstärke aus nordöstlicher Richtung weht.“ Einzelne HW, die jedoch an keiner Stelle einen Wasserstand von + 1,50 m über NN überschritten, verdanken auch dieser Wetterlage C ihre Entstehung.

Von den 34 HW, die in der Tabelle 1 aufgeführt wurden, entstanden mehr als die Hälfte, nämlich 19, durch ein Tief der Wetterlage A. Diese muß allgemein als die gefährlichste angesehen werden, denn die HW treten durch die von W oder NW ins Ostseegebiet einbrechenden Tiefs sehr plötzlich auf. Vor dem wandernden Tief werden die Wassermassen zunächst durch SW-Sturm nach NO in den Finnischen Meerbusen getrieben, um dann auf der Rückseite des Tiefs — nachdem es die südliche Ostsee überquert hat — bei dem ohnehin einsetzenden Zurückschwingen gewaltig aufgepeitscht zurückzukehren. Dabei entstehen in den Buchten und Förden der Beltsee beträchtliche Staueffekte.

Unter den 11 höheren HW (hHW) entstanden neun aus der Wetterlage A. Die Zugbahnen der Tiefdruckgebiete, die diese neun extremen HW zur Folge hatten, sind in der Fig. 1 dargestellt.

Aus der Wetterlage B entstandene HW, die einen Gesamtanteil von etwa 30 Prozent haben, zeichnen sich öfter durch eine längere Dauer aus, die mit der langsameren Wetterentwicklung zusammenhängt. Das eindruckvollste Beispiel eines langwährenden HW, das durch eine B-Wetterlage entstand, ist das vom 24./27. März 1898 (STARK 1952, Abb. 1b). Auch das HW der Beltsee am 13. November 1872 entstand aus einer Wetterlage B (vgl. BAENSCH 1875).

In jüngster Zeit hat sich allerdings erwiesen, daß es noch weitere, wenn auch sehr selten vorkommende Zugbahnen eines Tiefs geben kann, die ein HW erzeugen. Das HW vom 4. Januar 1954 läßt sich unter keine der bisher genannten Wetterlagen ohne weiteres einordnen, denn es wurde durch einen in ganz anderer Richtung ziehenden Tiefdruckwirbel verursacht. Dieser wanderte von Island kommend über Mittelskandinavien und den Bottnischen Meerbusen zum Eingang des Finnischen Meerbusens, drehte dann nach Süden zur Danziger Bucht und zog

schließlich in WSW-Richtung entlang der südlichen Ostseeküste über Pommern und Mecklenburg nach Westdeutschland ab — ein nach dem bisher vorliegenden Material über die Entstehung der HW einmaliges Ereignis. Trotzdem soll das HW vom 4. Jan. 1954 mit Einschränkung dem Entstehungstyp A zugeordnet werden, denn letzten Endes ist es das Ergebnis eines vom Nordatlantik herangezogenen Tiefdruckgebietes.

b) NW-Wetterlagen

Über Wetterlagen, die NW an der deutschen Beltseeküste herbeiführten, liegen bisher noch keine näheren Untersuchungen vor. Gewisse Hinweise vermag jedoch die Arbeit von PRÜGEL (1942) über „Die Sturmflutschäden an der schleswig-holsteinischen Westküste in ihrer meteorologischen und morphologischen Abhängigkeit“ zu geben, und zwar sowohl die Tabelle 3 (S. 82) über die Verteilung der Sturmfluten als auch die Fig. 12 (S. 42) über die Wege der Tiefdruckgebiete. Aus diesen beiden Darstellungen läßt sich nämlich entnehmen, daß zahlreiche Sturmfluten an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste mit NW-Ständen an der Beltseeküste zeitlich zusammenfallen, d. h. daß beide dem gleichen wandernden Tiefdruckgebiet ihre Entstehung verdanken. Von den bei PRÜGEL in der Tabelle 3 aufgeführten 48 Sturmfluten aus dem Zeitraum 1904/36 waren 17 von NW der Beltseeküste am gleichen oder folgenden Tage, wie sie in Tabelle 2 dieser Arbeit aufgeführt sind, begleitet. Der Zusammenhang ist aus folgender Tabelle zu ersehen:

Tabelle 6
Zusammenhang zwischen Nordsee-Sturmflut und Beltsee-NW

Sturmflut Nordsee	Sturmflut-Typ ⁴⁾	Fig. 12 ⁵⁾	NW Beltsee	Anmerk.
6. 4. 1904	Skagerrak		6-7. 4. 1904	
27. 11. 1905	Skandinavien		28. 11. 1905	
13. 3. 1906	Skagerrak	+	12. 3. 1906	nNW
3. 12. 1909	Skagerrak	+	4. 12. 1909	
6. 11. 1911	Skand. Skagerrak	+	6. 11. 1911	nNW
19. 11. 1913	Skagerrak		19. 11. 1913	
13. 11. 1914	Skandinavien		14. 11. 1914	
16. 2. 1916	Skagerrak	+	17. 2. 1916	
25. 10. 1917	Skagerrak	+	26. 10. 1917	
25. 11. 1917	Skagerrak		27. 11. 1917	
30. 8. 1923	Skagerrak	+	31. 8. 1923	
10. 9. 1924	Skagerrak		11. 9. 1924	
10. 10. 1926	Skagerrak	+	10. 10. 1926	nNW
24. 11. 1928	Skagerrak		24. 11. 1928	
23. 9. 1934	Skagerrak		24. 9. 1934	
19. 10. 1935	Skagerrak		20. 10. 1935	nNW
27. 10. 1936	Skagerrak	+	28. 10. 1936	nNW

Der neueste Fall einer Sturmflut an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste gleichzeitig mit einem NW-Stand an der Beltseeküste ereignete sich am 16. Jan. 1954.

⁴⁾ Nach PRÜGEL, 1942, S. 39.

⁵⁾ Sturmflut-Tiefs, deren Zugbahn in Fig. 12 bei PRÜGEL eingetragen ist, sind hierunter mit einem Kreuz gekennzeichnet.

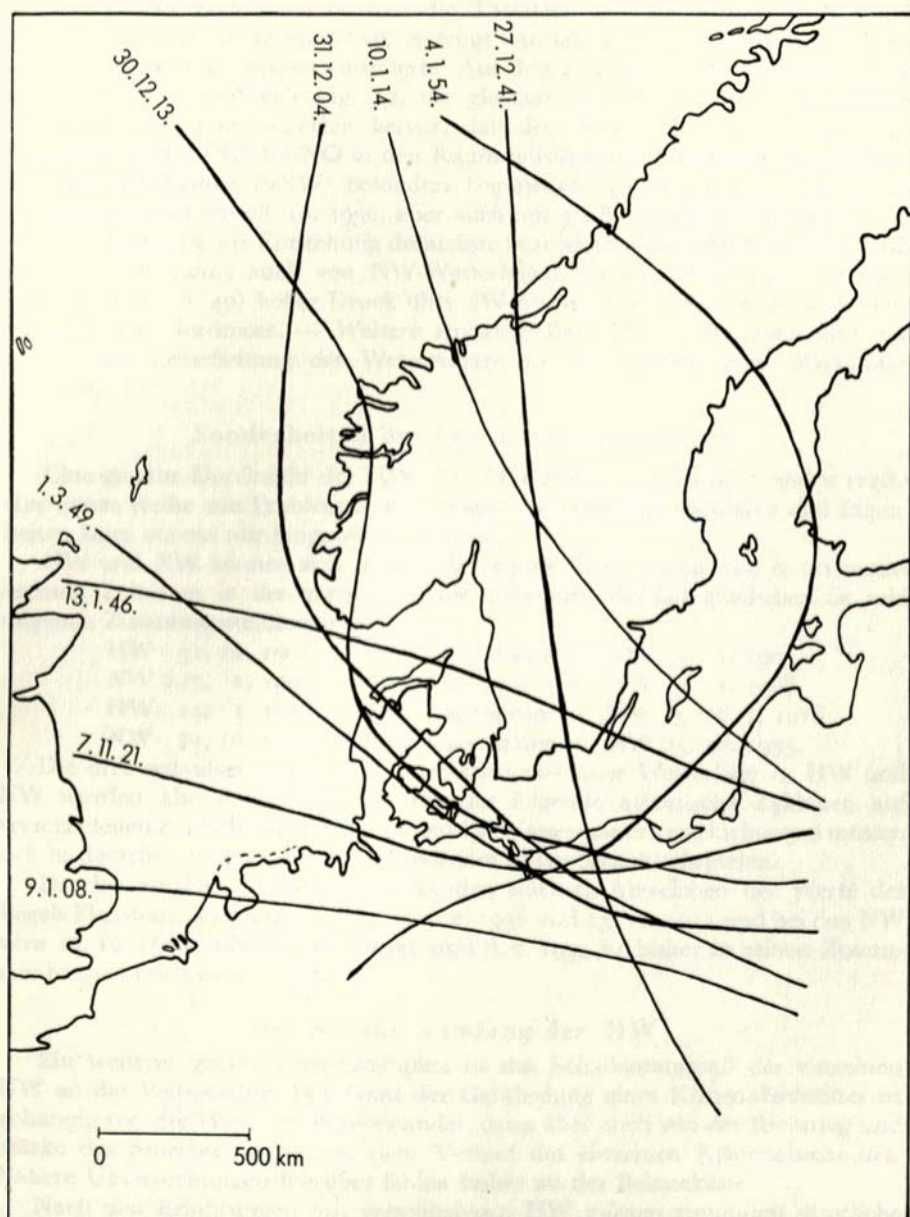


Abb. 1 Zugbahnen der A-Tiefdruckkerne, die der deutschen Beltseeküste HW-Stände von durchschnittlich mehr als + 1,5 m NN brachten.

Die Daten geben nur den Tag des HW an der Beltseeküste an, nicht die Lage des Kerns zu Beginn der eingetragenen Bahn.

Von großer Bedeutung ist nun die Tatsache, daß die meisten NW durch Sturm-Tiefs vom „Skagerrak-Typ“ erzeugt wurden, d. h. von Tiefs, deren Kern über das Skagerrak ostwärts wanderte. Aus den Zugbahnen der Sturmflut-Tiefdruckgebiete in PRÜGEL's Fig. 12, die gleichzeitig NW-Stände in der Beltsee erzeugten, geht nun weiterhin hervor, daß der Verlauf der Zugrichtung vom Skagerrak nach ONO bis NO in den Raum nördlich des Finnischen Meerbusens extreme NW-Stände (nNW) besonders begünstigt, wie es am 12. 3. 1906, am 10. 10. 1926 und am 28. 10. 1936, aber auch am 31. 8. 1923 der Fall war.

Voraussetzung zur Entstehung derartiger Sturmflut-Wetterlagen für die Nordseeküste und damit auch von NW-Wetterlagen für die Beltseeküste ist nach PRÜGEL (1942, S. 40) hoher Druck über SW-Europa und tiefer Druck über dem europäischen Nordmeer. — Weitere Angaben über NW-Wetterlagen sind erst nach einer Verarbeitung der Wetterkarten zu den verschiedenen NW-Daten möglich.

Sonderheiten bei Extremwasserständen

Eine genaue Durchsicht der HW- und NW-Daten in Tabelle 1 und 2 ergibt eine ganze Reihe von Problemen und Fragen. Auf einzelne Probleme und Eigenheiten kann vorerst nur hingewiesen werden.

HW und NW können sich innerhalb weniger Tage folgen, wie es im untersuchten Zeitraum in der ganzen Beltsee verbreitet viermal geschehen ist und folgende Zusammenstellung zeigt:

HW	31. 12. 1904	— vier Tage später —	NW	3. 1. 1905
NW	6./7. 1. 1908	— drei Tage später —	HW	9. 1. 1908
HW	14. 1. 1916	— zwei Tage später —	NW	15./16. 1. 1916
NW	20. 10. 1935	— fünf Tage später —	HW	25. 10. 1935

Die drei erstaufgeführten HW entstanden aus einer Wetterlage A. HW und NW wurden also durch kurz aufeinander folgende atlantische Zyklonen auf verschiedenen Zugbahnen erzeugt. Gewaltige Wassermassenverschiebungen müssen sich in derartig kurzen Fristen innerhalb des Ostseebeckens abspielen.

Das bei einzelnen Extremwasserständen stärkere Abweichen der Werte des Pegels Flensburg, so bei den HW vom 9. 2. 1936 und 13. 11. 1941 und bei den NW vom 10. 10. 1926 (nNW!), 9. 7. 1931 und 8. 2. 1934 ist bisher in seinen Zusammenhängen noch nicht geklärt.

Der Schadensumfang der HW

Ein weiterer großer Fragenkomplex ist das Schadensausmaß der einzelnen HW an der Beltseeküste. Der Grad der Gefährdung eines Küstenabschnittes ist abhängig von der Höhe des Wasserstandes, dann aber auch von der Richtung und Stärke des Sturmes, sowie von dem Verlauf des einzelnen Küstenabschnittes. Nähere Untersuchungen hierüber fehlen bisher an der Beltseeküste.

Nach den Erfahrungen mit verschiedenen HW müssen zumindest sämtliche HW-Stände, die an mehreren Stellen der Beltseeküste die Pegelmarke 650 (= 1,50 m über NN) erreichen oder überschreiten, als gefährbringend und Schäden verursachend angesehen werden, wie es bei allen in Tabelle 1 als hHW hervorgehobenen Wasserständen der Fall gewesen ist. Auch alle Hafenstädte an der Beltseeküste müssen bei derartigen Wasserständen Überflutungen der ufernahen Straßenzüge hinnehmen.

Neben diesen hHW haben sich aber auch noch folgende HW durch umfangreiche Schäden an der schleswig-holsteinischen Beltseeküste ausgezeichnet: die HW vom 28. 10. 1939, 16. 1. 1940, 13. 11. 1941 und 21. 1. 1952. Es muß auffallen, daß es sich in erster Linie um HW jüngerer Zeit handelt. Diese Tatsache ist dadurch erklärlich, daß seit etwa 1920 in verstärktem Umfang durch verschiedene Maßnahmen von Seiten des Küstenschutzes, des Meliorationswesens und auch der Fremdenverkehrswirtschaft in den Seebädern in die natürlichen Verhältnisse an der Küste eingegriffen wurde und Schäden meistens und vor allem an derartigen Anlagen auftraten.

Schriften

- BAENSCH: Die Sturmflut vom 12./13. Nov. 1872 an den Ostseeküsten des Preussischen Staates. — Ztschr. f. Bauwesen, XXV, Sp. 155—220, Berlin 1875.
- BÜLOW, K. VON: 4. Januar 1954 — Sturmflut an der mecklenburgischen Küste. — Natur und Heimat, 3, 1954.
- FRIEDERICHSEN, M.: Die Ostseesturmfluten der Jahreswende 1913/14 und ihre Wirkung auf Pommerns Küsten. — Jb. d. Geogr. Ges. Greifswald, 14, S. 357—368, Greifswald 1914.
- HAHN, A. & RIETSCHEL, E.: Langjährige Wasserstandsbeobachtungen an der Ostsee. — VI. Baltische Hydrolog. Konferenz, Lübeck, Hauptbericht 13, Berlin 1938.
- HELA, I.: Über Schwankungen des Wasserstandes in der Ostsee mit besonderer Berücksichtigung des Wasseraustausches durch die dänischen Gewässer. — Annales Acad. Scient. Fennicae, A, I 28, Helsinki 1944.
- KANNENBERG, E. G.: Die Steilufer der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. — Schr. d. Geogr. Inst. d. Univ. Kiel, 14, H. 1, Kiel 1951.
- KANNENBERG, E. G.: Das Hochwasser am 4. Januar 1954 an der deutschen Beltseeküste. — Urania, 18, H. 1, S. 17—20, Jena 1955.
- KRÜGER, G.: Über Sturmfluten an den deutschen Küsten der westlichen Ostsee. — Jb. d. Geogr. Ges. Greifswald, 12, S. 195—295, Greifswald 1911.
- MODEL, F.: Gegenwärtige Küstenhebung im Ostseeraum. — Mitt. d. Geogr. Ges. Hamburg, 49, S. 64—115, Hamburg 1950.
- NEUMANN, G.: Eigenschwingungen der Ostsee. — Archiv der Seewarte, 61, Hamburg 1941.
- PETERSEN, M.: Abbruch und Schutz der Steilufer an der Ostseeküste. — Die Küste, 1, H. 2, S. 100—152, Heide 1952.
- PRÜGEL, H.: Die Sturmflutschäden an der schleswig-holsteinischen Westküste in ihrer meteorologischen und morphologischen Abhängigkeit. — Schr. d. Geogr. Inst. d. Univ. Kiel, 11, H. 3, Berlin 1942.
- REINHARD, H.: Die Sturmflut am 1. und 2. März 1949 an der mecklenburgischen Ostseeküste. — Ztschr. f. Meteorologie, 3, H. 7, S. 209—218, Berlin 1949.
- REINHARD, H.: Der Bock. — Entwicklung einer Sandbank zur neuen Ostsee-Insel. — Petermanns Geogr. Mitteilungen, Erg.-Heft 251, Gotha 1953.
- SCHAPER: Beziehungen zwischen den meteorologischen Verhältnissen und Hochwassern in Lübeck. — Festschr. d. 67. Vers. deutscher Naturforscher und Ärzte, S. 285—290, Lübeck 1895.
- STARK, E.: Meteorologische Ursachen für hohe Wasserstände in der Lübecker Bucht von 1885 bis 1949. — Unveröff. Bericht an das Wasser- und Schiffsamt Lübeck, Lübeck 1950.
- STARK, E.: Hohe Wasserstände in der Lübecker Bucht von 1885 bis 1949. — Die Küste, 1, H. 2, S. 67—68, Heide 1952.
- WASMUND, E.: Flachseebeobachtungen bei Sturm-Niedrigwasser in der gezeitenschwachen Kieler Förde. — Geologie der Meere und Binnengewässer, 3, S. 284—309, Berlin 1939.
- WEGEMANN, G.: Die Sturmfluten der westlichen Ostsee. — Die Heimat, 21, S. 212—218, Kiel 1911.
- WEYL, R.: Hochwasser an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. — Natur und Volk, 84, H. 3, S. 83—91, Frankfurt a. M. 1954.
- WÜST, G.: Über Ostseesturmfluten. — Schleswig-Holstein, Monatshefte für Heimat und Volkstum, 1954, H. 2, S. 28—30, Flensburg 1954.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein](#)

Jahr/Year: 1957

Band/Volume: [28](#)

Autor(en)/Author(s): Kannenberg Ernst-Günter

Artikel/Article: [Extrem-Wasserstände an der deutschen Beltseeküste im Zeitraum 1901 bis 1954 3-16](#)