

Erfahrungen aus den Sturmfluten vom November/ Dezember 1973 und Folgerungen für die niedersächsischen Küstenschutzwerke

Bericht der vom Niedersächsischen Minister für Ernährung, Landwirtschaft
und Forsten eingesetzten Ingenieur-Kommission¹⁾

Zusammenfassung

Im November und Dezember 1973 sind die Küsten der inneren Deutschen Bucht durch mehrere, in dichter Folge auftretende Sturmfluten heimgesucht worden. Die nach der sehr schweren Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 verstärkten Küstenschutzwerke hatten ihre erste Bewährungsprobe zu bestehen, wenn auch das Ausmaß der Beanspruchung von 1962 nicht erreicht wurde. Für den Bereich der niedersächsischen Küste wurden neue Erfahrungen sowie die örtlich eingetretenen Schäden ausgewertet und im Hinblick auf die nach 1962 gegebenen Empfehlungen für die Verbesserung des Küstenschutzes bewertet. Die Ergebnisse dieser Bewertung werden in dem folgenden Aufsatz mitgeteilt.

Summary

In November and December 1973 the coasts of the German Bay were infested by a series of closely occurring storm tides. The coastal protection works, improved after the heavy storm tides of February 16/17, 1962, then had to stand their first test, though the strain did not reach the extent of 1962. In the coastal area of Lower Saxony new experiences as well as local damages were analysed and estimated in consideration of the recommendations given after the storm tides of 1962 in order to improve the coast protection. The paper deals with the results of these analyses.

Inhalt

1.	Einführung	97
2.	Meteorologische und hydrographische Beobachtungen	99
2.1	Meteorologische Randbedingungen der Sturmzeiten-Kette	99
2.2	Wasserstände der Sturmzeiten-Kette vom November/Dezember 1973	99
2.3	Seegang und Wellenaufwurf	106
2.4	Allgemeine Wirkung von Sturmzeiten-Ketten auf die Küstenschutzwerke	110
2.5	Bewertung der Sturmzeiten-Kette 1973 im Schrifttum	111
3.	Sturmflutschäden und Schadensursachen	112
3.1	Verteilung und Schadensarten	112
3.2	Schäden an den Hauptdeichen	113
3.2.1	Grüne Außenböschung	113
3.2.2	Deichboden	113
3.3	Schäden an den Deichsicherungswerken	114
3.4	Schäden an Deichvorland und Sommerdeichen	114
3.5	Schäden an den Dünen und Schutzwerken der Inseln	115
4.	Ergänzungen der Empfehlungen 1962/70 für den Küstenschutz in Niedersachsen	115
4.1	Bemessung der Deichhöhe	115

¹⁾ Mitglieder der Ingenieur-Kommission waren: Ltd. Baudirektor J. KRAMER, Aurich; Baudirektor G. KRAUSE, Hannover; Dr.-Ing. G. Luck, Norderney.

4.2	Deichprofil	116
4.3	Deichsicherungswerke	116
4.4	Deichvorland	117
4.5	Sommerdeiche	117
4.6	Deichboden und Deichdecke	118
4.7	Anlagen im und am Deich	118
4.8	Deicherhaltung, Deichverteidigung, Vorlandpflege	119
5.	Folgerungen für den Inselschutz	120
6.	Nachschrift	120
7.	Schriftenverzeichnis	121

1. Einführung

In den Monaten November und Dezember 1973 wurden die Küstenschutzwerke der inneren Deutschen Bucht durch mehrere, in dichter Folge auftretende Sturmtiden stark beansprucht. Die Festlandsdeiche erlitten streckenweise mehr oder weniger starke Beschädigungen. Deichbrüche sind jedoch nicht eingetreten. Auf den Ostfriesischen Inseln entstanden Dünenverluste großen Ausmaßes, und die Inselschutzwerke gaben an einigen Stellen der Beanspruchung nach. Die Sturmtiden-Kette (LÜDERS, 1974) war sowohl in der Höhe der Einzeltiden wie auch in deren kurzfristiger Häufung das schwerste Sturmflutereignis nach 1962 (s. Abschn. 6.).

Bereits nach den Sturmfluten vom 31. 1. bis 2. 2. 1953 (Holland-Sturmflut) und insbesondere nach derjenigen vom 16./17. Februar 1962 waren die Küstenschutzwerke der inneren Deutschen Bucht hinsichtlich ihrer funktionellen Wirkung wie ihrer konstruktiven Ausbildung – orientiert an den damals eingetretenen Beanspruchungen – beurteilt worden (z. B. für die niedersächsische Küste LÜDERS, 1957; INGENIEUR-KOMMISSION, 1962). Auf der Grundlage dieser Beurteilungen wurden durch eine Arbeitsgruppe des KÜSTENAUSSCHUSSES NORD- UND OSTSEE Empfehlungen für die Wiederherstellung beschädigter und die Neugestaltung unzureichender Anlagen des Festlandsschutzes erarbeitet (ARBEITSGRUPPE KÜSTENSCHUTZWERKE, 1962). Die seither gewonnenen Erfahrungen sowie neuere Erkenntnisse veranlaßten die Arbeitsgruppe, einen Nachtrag zu den 1962 gegebenen Empfehlungen zu verfassen (ARBEITSGRUPPE KÜSTENSCHUTZWERKE, 1970). Diese Empfehlungen waren in ihrer Gesamtheit Grundlage für die Neugestaltung des Küstenschutzes in der Deutschen Bucht nach 1962. Die für die niedersächsische Küste nach 1962 erarbeitete Planung für den Ausbau des Festlands- und Inselschutzes und die seitdem ausgeführten Küstenschutzarbeiten sind durch den NIEDERSÄCHSISCHEN MINISTER für ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT und FORSTEN im *Generalplan Küstenschutz* zusammengestellt worden (1973).

Obwohl während der Sturmtiden-Kette vom November/Dezember 1973 die HHThw-Stände nur an einem Ort des niedersächsischen Küstengebietes (Abb. 1) – und zwar *Papenburg* – überschritten wurden und die Kraftentfaltungen der Einzeltiden im allgemeinen nicht besorgniserregend waren, erwuchs jedoch aus der zeitlichen Häufung der Sturmtiden eine so starke Belastung der Küstenschutzwerke, daß die hierdurch bewirkten Schäden Veranlassung geben, das Geschehen in Ursache und Wirkung zu deuten sowie die nach der Orkanflut vom 16./17. Februar 1962 entwickelten Vorstellungen zum Küstenschutz einer kritischen Prüfung zu unterziehen.

2. Meteorologische und hydrographische Beobachtungen

2.1 Meteorologische Randbedingungen der Sturmtiden-Kette

In den Abbildungen 2 bis 4 sind für *Norderney*, *Bremerhaven* und *Cuxhaven* die Umhüllenden der Tidewasserstände für die Zeit vom 5. November bis zum 20. Dezember 1973 sowie die zugehörigen Grenzwasserstände (Wind-, Sturm- und Orkanfluten) dargestellt und zu den Windrichtungen sowie Windstärken in Beziehung gesetzt. In *Norderney* wurde die Orkanflutgrenze (Grenze der sehr schweren Sturmflut) unter Westwindeinfluß fünfmal überschritten. In *Bremerhaven* traten keine Orkanfluten ein, und in *Cuxhaven* wurde die Orkanflutgrenze nur dreimal überschritten und zweimal erreicht. Die über die Tide gemittelten Windstärken (Tidemittel) übertrafen in *Norderney* mehrfach 9 Beaufort, die in *Bremerhaven* und *Cuxhaven* nicht erreicht wurden.

Die Erklärung hierfür liefern die in den Abbildungen 5 bis 7 aufgetragenen Windstärkerosen von *Norderney*, *Bremerhaven* und *Cuxhaven*. Sowohl in *Norderney* als auch in *Cuxhaven* überwiegen Winde aus westlichen – also stauwirksamen – Richtungen, während in *Bremerhaven* das Geschehen eher aus WSW gesteuert wurde.

Die höchsten Wasserstände der Sturmtiden-Kette traten am 19./20. November 1973 und am 6./7. Dezember 1973 auf. Die diesen Tiden zugehörigen Großwetterlagen sind in den Abbildungen 8 und 9 sowie 10 und 11 festgehalten worden. Sie zeigen, daß Nord-europa während dieser Zeiträume unter starkem Westwindeinfluß stand.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Sturmtiden-Kette und die durch sie eingebetteten Höchstwasserstände wesentlich durch Westwinde mit langer Wirkzeit gestaltet wurden, ohne daß die Windstärken außergewöhnliche Werte aufwiesen. Die Tidemittel der wenigen Nordwestwinde erreichten vergleichsweise nur geringe Windstärken, und darauf mag es zurückzuführen sein, daß Wasserstände im HHThw-Bereich nur in *Papenburg* aufgetreten sind.

2.2 Wasserstände der Sturmtiden-Kette vom November/Dezember 1973

„Unter Sturmtiden sind alle Tiden zu verstehen, deren Hochwasser (Thw) eine für jeden Pegelort besonders festzulegende Abgrenzungslinie erreichen und überschreiten. Diese Linie stimmt überein mit der Wasserstandslinie, von der ab die Windfluten gerechnet werden“ (LÜDERS, 1974). Die untere Grenze der Windfluten ist identisch mit derjenigen der leichten Sturmfluten des Häufigkeitsverfahrens. In Tabelle 1 sind die nach dieser Definition ermittelten Sturmtiden des November/Dezember 1973 für einige Pegel der niedersächsischen Küste zusammengestellt.

Die Tabelle verdeutlicht, daß während der Sturmweatherlagen im November/Dezember 1973 an beinahe allen Pegeln etwa jeden zweiten Tag die Windflutgrenze überschritten wurde. Lediglich im Bereich der Jade sind Sturmtiden weniger häufig aufgetreten.

Die höchsten Wasserstände der Sturmtiden-Kette wurden – örtlich unterschiedlich – am 13. und 16. November, in der Nacht vom 19. zum 20. November sowie am 6./7. und 13./14. Dezember registriert. Sie sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 1

Dauer der Sturmzeiten-Kette und Anzahl der Sturmzeiten

Pegel	Dauer der Sturmzeiten-Kette Tage	Sturmzeiten Anzahl
Borkum-Südstrand	42	24
Norderney-Riffgat	42	24
Wangerooge West	42	21
Emden	42	22
Norddeich	42	23
Bensersiel	42	20
Wangersiel	37	21
Wilhelmshaven-Seeschleuse	35	12
Vareler Schleuse	35	15
Fedderwarder Siel	42	21
Bremerhaven	42	19
Wremertief	42	22
Spieka-Neufeld	42	24
Cuxhaven	42	25
Otterndorf	42	28
Stadersand	43	31

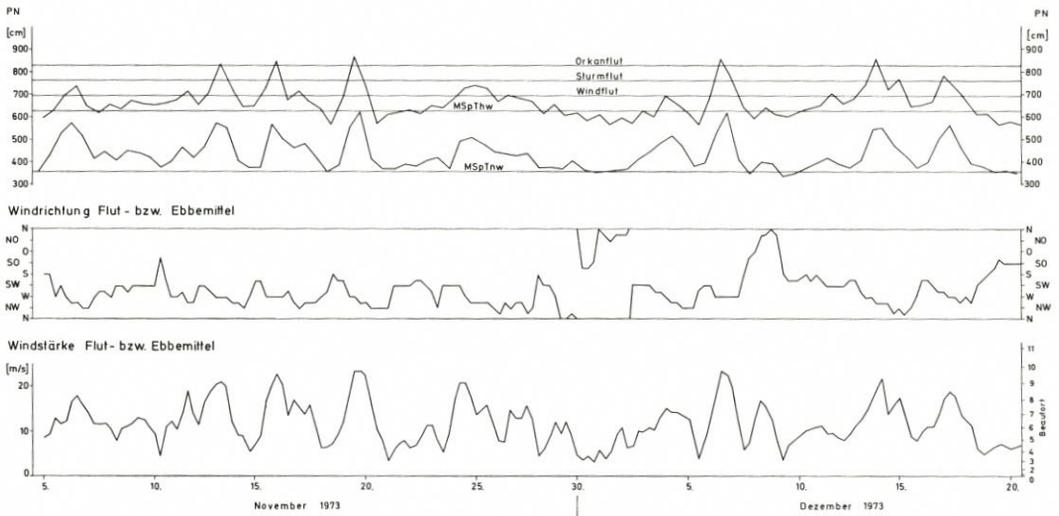


Abb. 2. Norderney: Tidewasserstände, Grenzwasserstände, Windrichtung und -stärke November/Dezember 1973

Die Höchstwasserstände der Sturmzeiten-Kette traten am 19./20. November (Ems, Ostfriesland und innere Jade), am 6./7. Dezember (Weser- und Elbegebiet) und am 13./14. Dezember (Unterweser oberhalb *Brake*) ein. Die Tabelle 2 läßt erkennen, daß die – ebenfalls dort aufgeführten – HHThw durchweg beträchtlich unterschritten blieben. Lediglich in *Papenburg* (Ems) war das Thw am 19. 11. 6 cm höher als das HHThw (1962). Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, daß die 1962 durch Deichbrüche eingetretene Entlastung der Ems 1973 ausblieb.

Die in Tabelle 2 herausgestellten Thw-Stände vom Herbst 1973 sind in den Abbil-

Tabelle 2

Sturmflutwasserstände 1973 (Werte bezogen auf NN m)

	MTnw 61/70	MThw 61/70	HHThw	Thw 1973					
				13. 11.	16. 11.	19./20. 11.	6./7. 12.		13./14. 12.
Borkum-Südstrand	- 1,23	+ 0,99	+ 3,82	+ 3,07	+ 2,98	+ 3,35	+ 3,09	+ 3,33	
Norderney-Riffgat	- 1,23	+ 1,13	+ 4,10	+ 3,43	+ 3,49	+ 3,63	+ 3,62	+ 3,55	Hptz. Ney-Hafen
Wangerooge West	- 1,41	+ 1,31	+ 4,20	+ 3,50	+ 3,73	+ 3,80	+ 3,77	+ 3,70	HHThw Flutmarke
Papenburg	- 0,37	+ 1,62	+ 3,96	+ 3,55	+ 3,56	+ 4,02	+ 3,76	+ 3,84	
Leerort	- 1,03	+ 1,50	+ 5,06	+ 4,10	+ 4,07	+ 4,71	+ 4,33	+ 4,49	
Emden, neue Seeschleuse	- 1,65	+ 1,35	+ 5,18	+ 3,84	+ 3,80	+ 4,42	+ 4,06	+ 4,26	
Leybuchtziel	-	+ 1,25	+ 4,83	+ 3,62	+ 3,67	+ 4,09	+ 3,89	+ 3,79	
Norddeich	- 1,31	+ 1,17	+ 4,68	+ 3,43	+ 3,50	+ 3,77	+ 3,60	+ 3,62	HHThw Lattenpegel
Bensersiel	-	+ 1,33	+ 4,77	+ 3,66	+ 3,74	+ 3,92	+ 3,84	+ 3,86	
Hantlesiel	-	+ 1,35	+ 4,70	+ 3,76	+ 3,76	+ 4,10	+ 4,06	+ 3,92	
Wangersiel	-	+ 1,45	+ 4,65	+ 3,85	+ 3,95	+ 4,10	+ 4,20	+ 4,15	
Wilhelmshaven, Seeschleuse	- 2,00	+ 1,70	+ 5,21	+ 4,05	+ 4,29	+ 4,55	+ 4,42	+ 4,37	
Dangaster Siel	-	+ 1,75	+ 5,22	+ 4,09	+ 4,44	+ 4,68	+ 4,59	+ 4,54	
Vareler Schleuse	-	+ 1,75	+ 5,61	+ 4,14	+ 4,48	+ 4,74	+ 4,66	+ 4,58	
Schweiburger Siel	-	+ 1,58	+ 5,52	+ 4,30	+ 4,60	+ 5,00	+ 4,82	+ 4,80	keine langfr. Werte vorhanden
Fedderwardsiel	- 1,80	+ 1,70	+ 5,25	+ 4,05	+ 4,37	+ 4,47	+ 4,53	+ 4,38	
Bremerhaven	- 1,63	+ 1,91	+ 5,35	+ 4,18	+ 4,54	+ 4,71	+ 4,78	+ 4,64	
Brake	- 1,18	+ 2,14	+ 5,29	+ 4,20	+ 4,38	+ 4,44	+ 4,49	+ 4,44	
Vegesack	- 1,06	+ 2,35	+ 7,81	+ 4,29	+ 4,40	+ 4,52	+ 4,55	+ 4,59	
Bremen, gr. Weserbrücke	- 1,06	+ 2,35	+ 7,81	+ 4,45	+ 4,59	+ 4,60	+ 4,60	+ 4,65	
Wremertief	-	+ 1,60	+ 5,45	+ 4,28	+ 4,58	+ 4,64	+ 4,76	+ 4,58	
Spieka-Neufeld	-	+ 1,48	+ 5,45	+ 4,16	+ 4,32	+ 4,30	+ 4,42	+ 4,37	() ergänzt
Cuxhaven	- 1,45	+ 1,43	+ 4,94	+ 3,97	+ 4,22	+ 4,06	+ 4,39	+ 4,22	
Ostesperwerk	- 1,19	+ 1,46	+ 5,23	+ 4,22	+ 4,50	+ 4,36	+ 4,70	+ 4,49	
Glückstadt	- 1,12	+ 1,44	+ 5,60	+ 4,18	+ 4,27	+ 4,34	+ 4,60	+ 4,33	
Stadersand	- 1,05	+ 1,53	+ 5,73	+ 4,28	+ 4,39	+ 4,59	+ 4,88	+ 4,54	
Hamburg-St. Pauli	- 0,83	+ 1,82	+ 5,70	+ 4,66	+ 4,82	+ 5,00	+ 5,33	+ 5,05	

*) 13. 3. 1906, *) 13. 3. 1881, übrige HHThw 16./17. 2. 1962

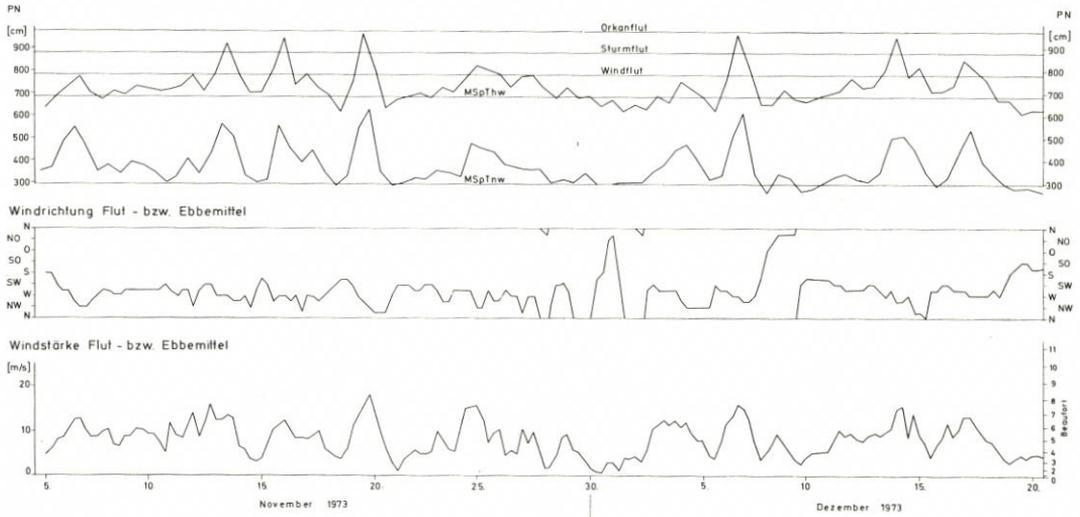


Abb. 3. Bremerhaven: Tidewasserstände, Grenzwasserstände, Windrichtung und -stärke November/Dezember 1973

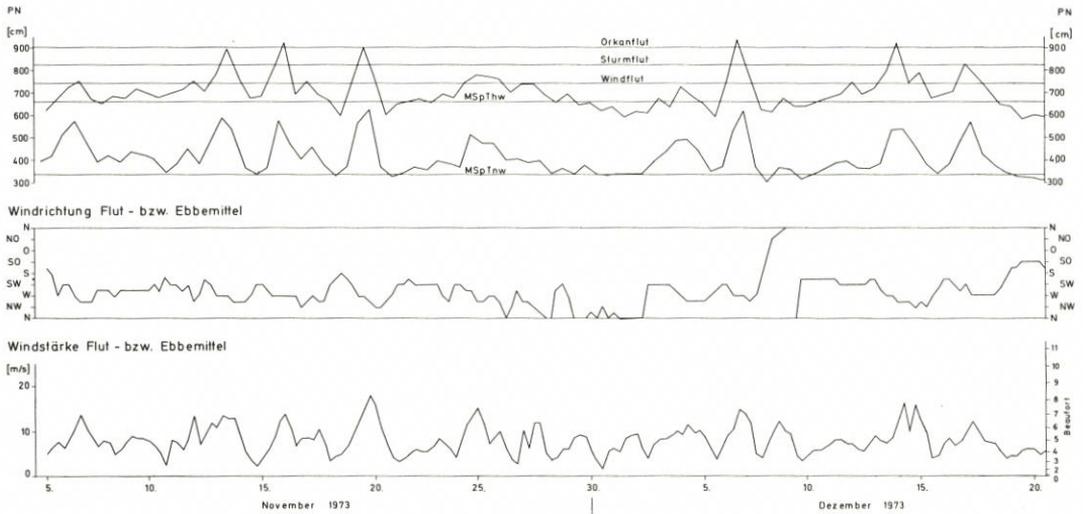


Abb. 4. Cuxhaven: Tidewasserstände, Grenzwasserstände, Windrichtung und -stärke November/Dezember 1973

dungen 12 bis 17 in einer HThw-Linie dargestellt. Hierbei wurden die jeweils eingetretenen Höchstwasserstände ohne Rücksicht auf die Eintrittside miteinander verbunden, so daß hier drei Tiden (19./20. 11., 6./7. 12. und 13./14. 12.) zusammengefaßt sind. In den Darstellungen sind die HThw-Stände in Beziehung gesetzt zu den Höhenlagen von Deichkrone (Soll und Ist), Bemessungswasserstand und MThw-Linie längs der niedersächsischen Küste von der Ems bis zur Elbe.

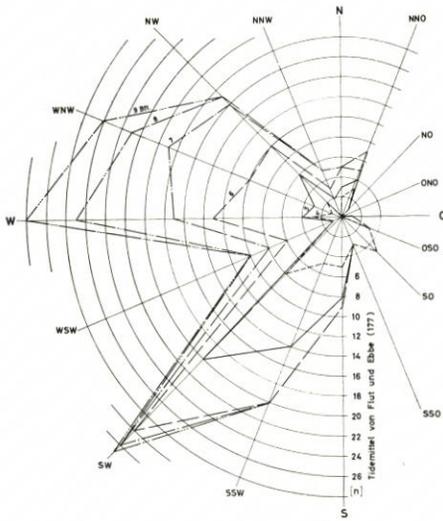


Abb. 5. Norderney: Windstärkerose
November/Dezember 1973

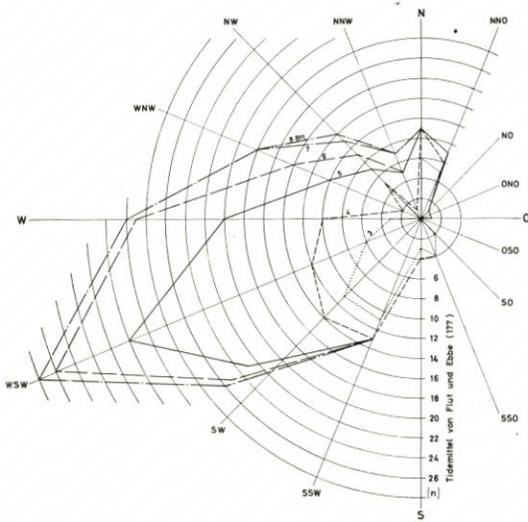


Abb. 6. Bremerhaven: Windstärkerose
November/Dezember 1973

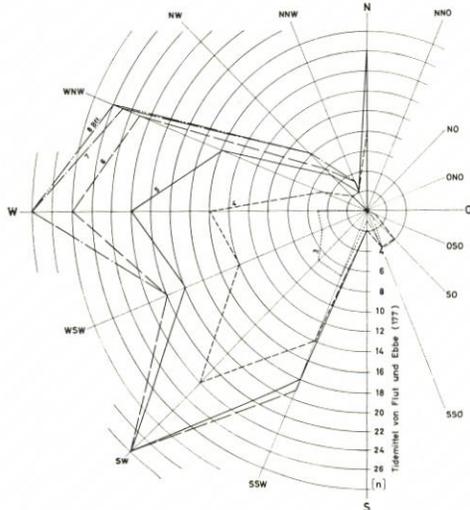


Abb. 7. Cuxhaven: Windstärkerose
November/Dezember 1973

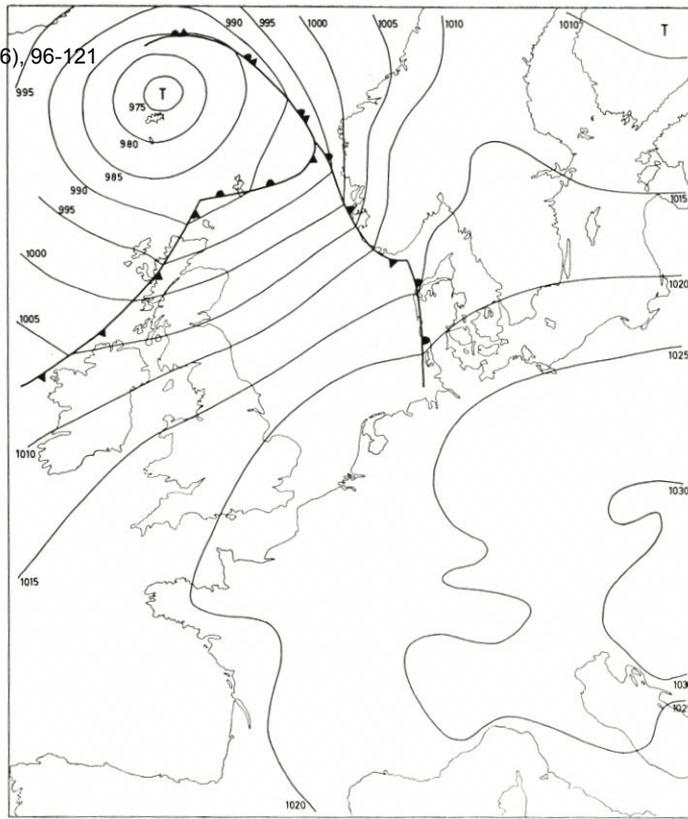


Abb. 8. Großwetterlage vom 18. 11. 1973

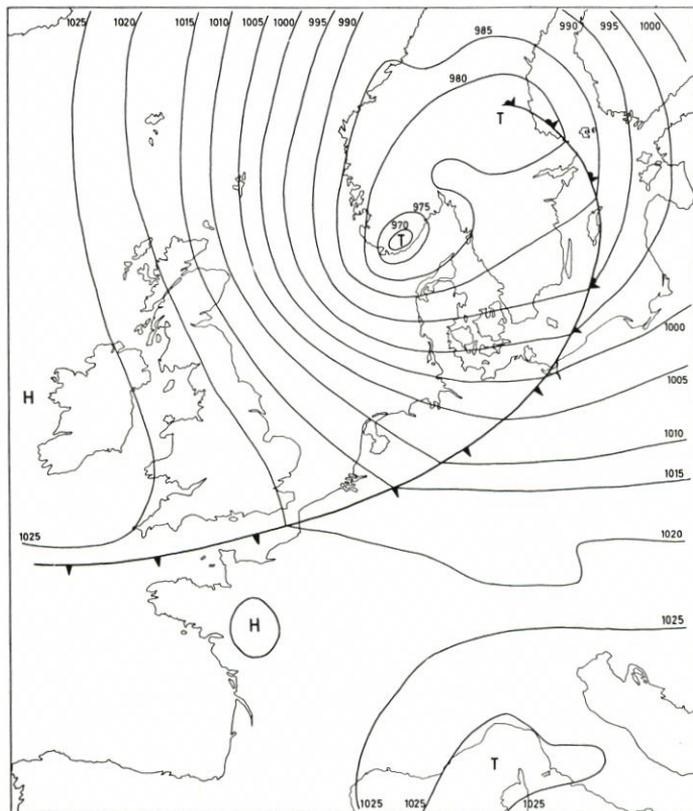


Abb. 9. Großwetterlage vom 19. 11. 1973

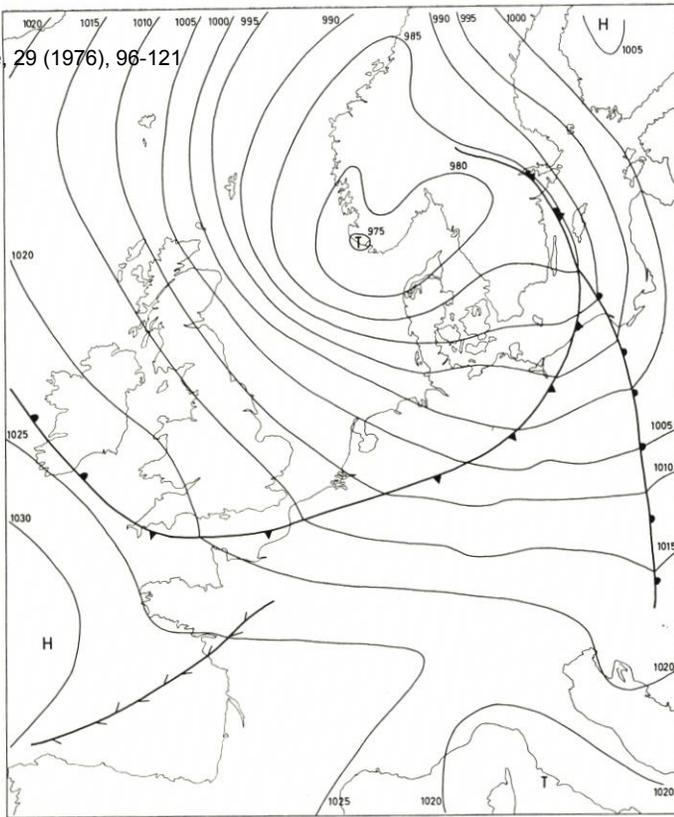


Abb. 10. Großwetterlage vom 6. 12. 1973

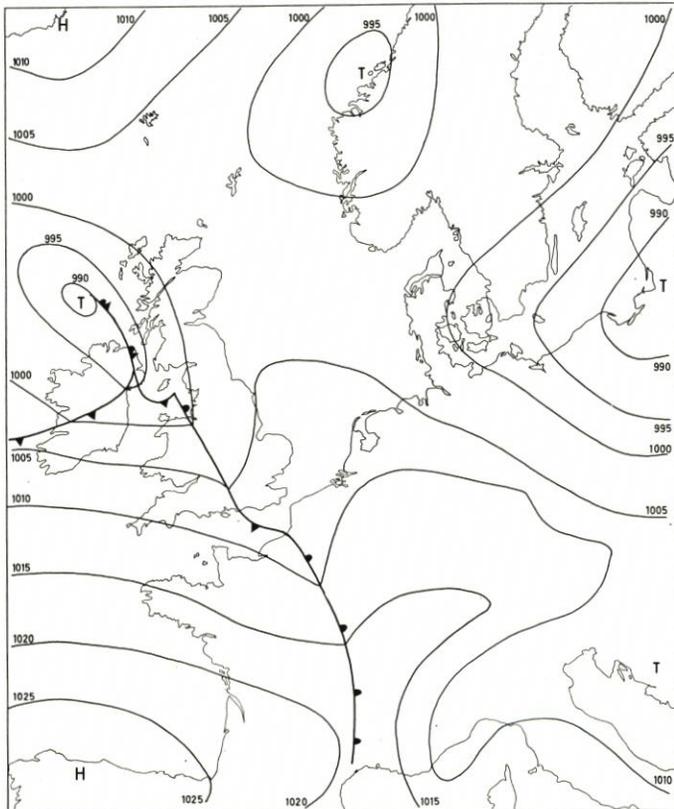


Abb. 11. Großwetterlage vom 7. 12. 1973

2.3 Seegang und Wellenauflauf

Über den während der einzelnen Sturmzeiten herrschenden Seegang bestehen nur recht allgemeine Vorstellungen, da im Bereich der niedersächsischen Küste entsprechende Messungen nicht ausgeführt worden sind. Die Perioden erreichten nach örtlichen Beobach-

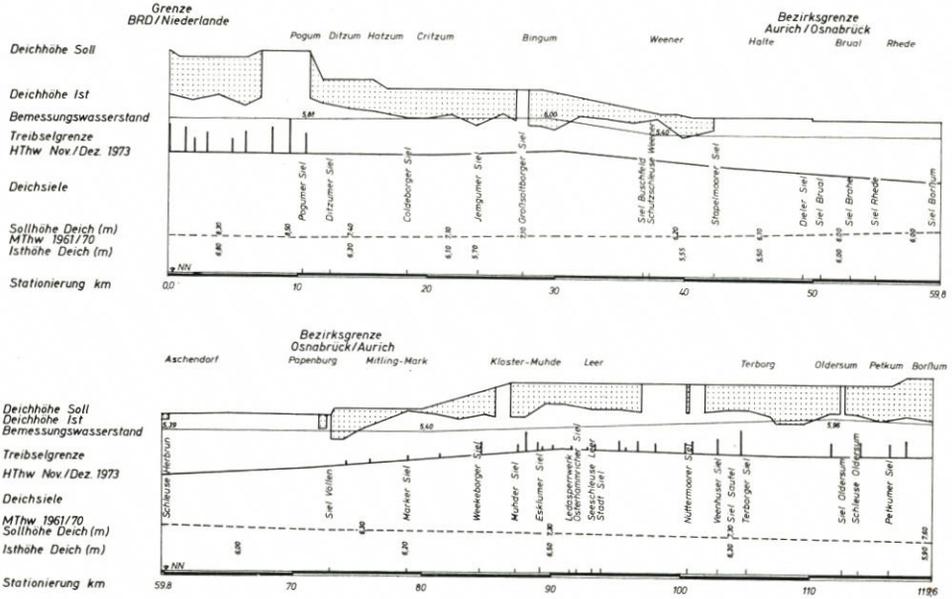


Abb. 12. Hydrologischer Längenschnitt der niedersächsischen Deichlinie – beiderseits der Ems –

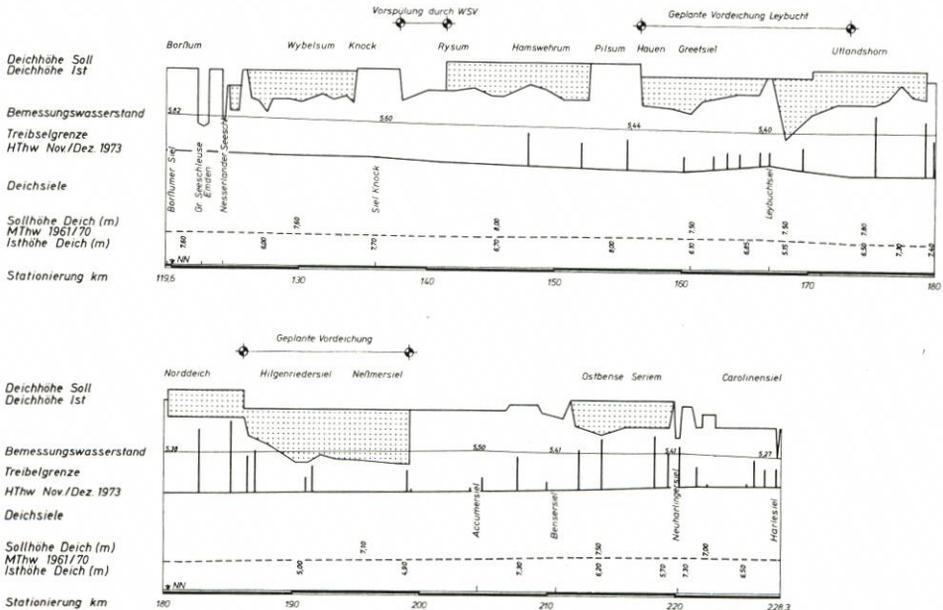


Abb. 13. Hydrologischer Längenschnitt der niedersächsischen Deichlinie – ostfriesische Küste –

tungen vor den Ostfriesischen Inseln mit 6 bis 7 Sekunden die hier bei Sturmfluten üblichen Werte.

In verschiedenen Abschnitten der niedersächsischen Küste gelang es, durch Einmessung der Treibselgrenze auf den Deichböschungen zuverlässigere Werte über den Wellenaufbau unter verschiedenen Randbedingungen zu erhalten, als sie bisher vorhanden

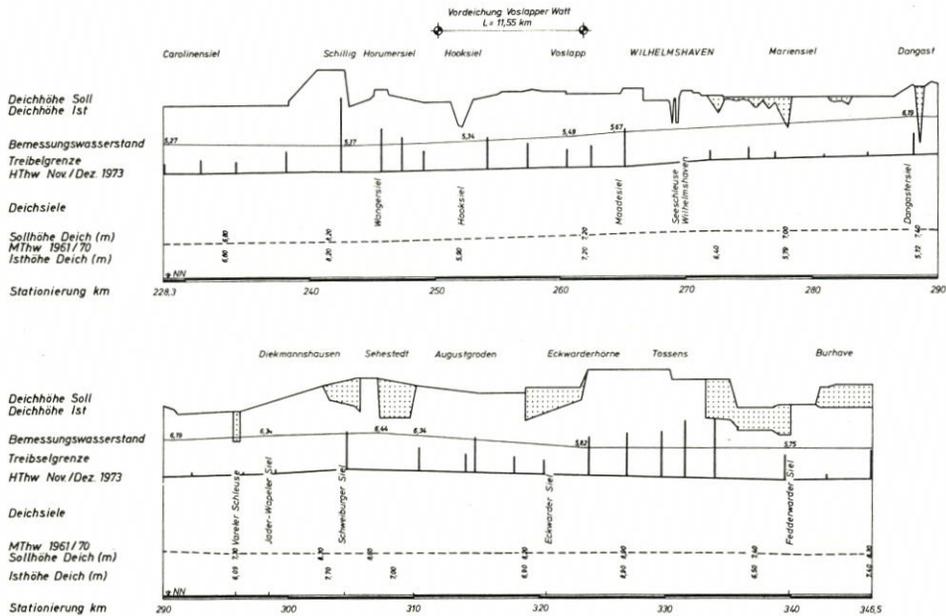


Abb. 14. Hydrologischer Längenschnitt der niedersächsischen Deichlinie – Jadegebiet –

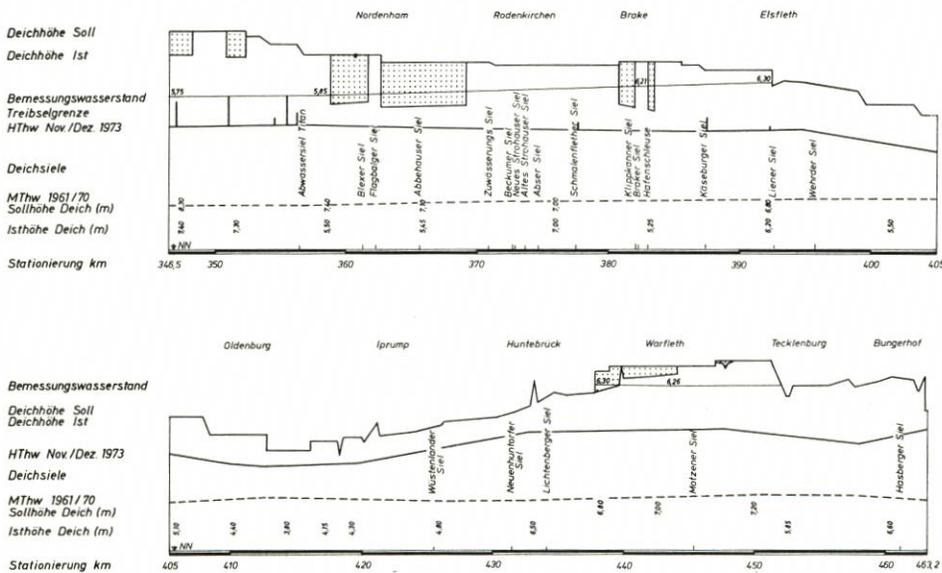


Abb. 15. Hydrologischer Längenschnitt der niedersächsischen Deichlinie – Unterweser –

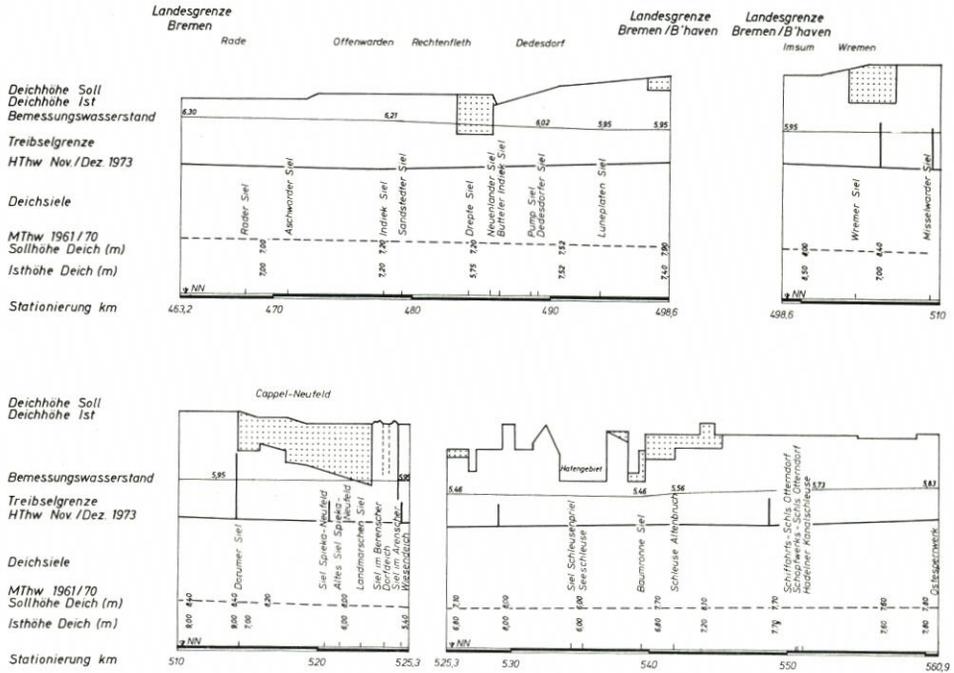


Abb. 16. Hydrologischer Längenschnitt der niedersächsischen Deichlinie – Land Wursten und Elbmündung –

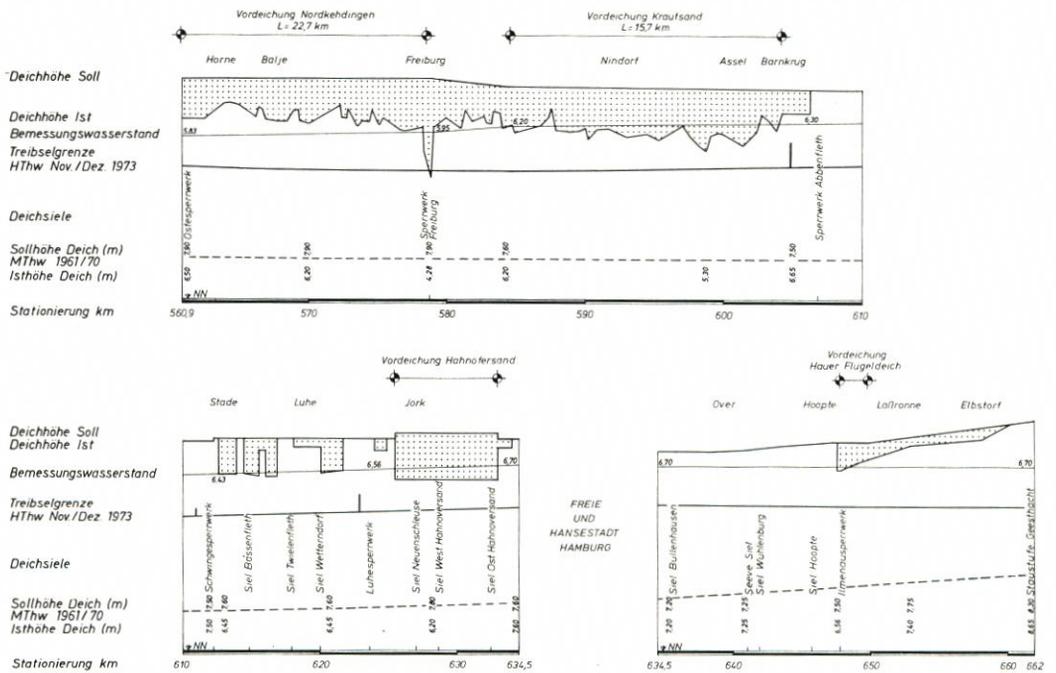


Abb. 17. Hydrologischer Längenschnitt der niedersächsischen Deichlinie – Elbegebiet –

waren (ERCHINGER, 1974). Der Wellenauflauf ist in Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen (Vorland, Schardeich, Sommerdeich usw.) stark unterschiedlich und beträgt – vertikal gemessen – bis zu 3 m.

Auf den Abbildungen 12 bis 17 ist oberhalb des HThw November/Dezember 1973 der höchste Wellenauflauf an einem Meßpunkt durch Einmessung der Treibselgrenze als

Wellenauflauf

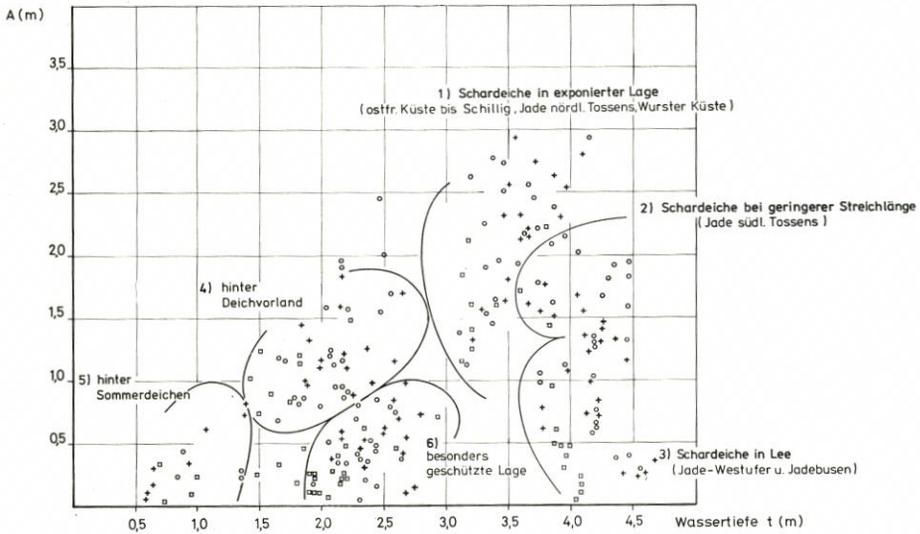


Abb. 18. Wellenauflauf – Meßwerte verschiedener niedersächsischer Deichstrecken in Abhängigkeit von der örtlichen Wassertiefe

13. 11. 1973 □ 19. 11. 1973 + 6. 12. 1973 ○

Wellenauflauf

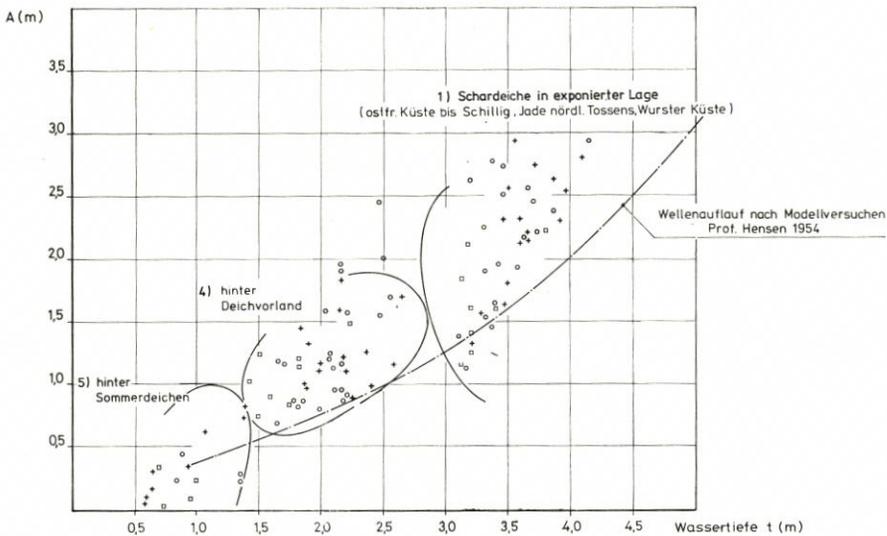


Abb. 19. Wellenauflauf – Meßwerte exponierter Deichabschnitte

13. 11. 1973 □ 19. 11. 1973 + 6. 12. 1973 ○

Säule eingezeichnet. Auf Abbildung 18 sind alle gemessenen Wellenauflaufhöhen in Abhängigkeit von der Wassertiefe vor dem Deich eingetragen und für die einzelnen Sturmzeiten verschieden gekennzeichnet.

In Abbildung 18 sind einige Gruppen von Meßwerten unterscheidbar für:

1. Schardeiche in exponierter Lage – ostfriesische Küste bis *Schillig*, Jade nördlich *Tossens*, Wurster Küste (Abb. 1)
2. Schardeiche mit geringer Streichlänge – Jade südlich *Tossens*
3. Schardeiche in Lee – Westufer der Jade, Nordufer des Jadebusens
4. Deiche mit Deichvorland
5. Deiche mit davorliegenden Sommerdeichen
6. Deiche in besonders geschützter Lage

Die breite Streuung der in Abbildung 18 dargestellten Meßwerte läßt erkennen, wie wichtig örtliche Messungen des Wellenaufbaus für die einzelnen Deichabschnitte sind.

Der besseren Übersicht wegen sind auf Abbildung 19 die Meßwerte in Abhängigkeit von der Wassertiefe eingetragen, die an Deichen in exponierter Lage und normal zur Hauptwindrichtung gemessen wurden (Meßwertgruppen 1, 4 und 5 nach obiger Gliederung). Werden diese Werte zu dem in den Modellversuchen von HENSEN (1954) ermittelten Wellenaufbau an Seedeichen mit vorgelagertem Wattgebiet ins Verhältnis gesetzt, so zeigt sich, daß die Meßwertgruppe 1, Schardeiche in exponierter Lage, erheblich über den 1954 ermittelten Werten liegt, die allerdings auf monochromatischen Wellen gründen.

2.4 Allgemeine Wirkung von Sturmzeiten-Ketten auf die Küstenschutzwerke

Die Schutzwerke des Küstengebietes sowie die ungeschützten Dünenbereiche der Inseln wurden durch die Sturmzeiten-Kette vom Herbst 1973 stark beansprucht. Das Ausmaß der Beanspruchung ergab sich hierbei jedoch weniger durch einzelne, als vielmehr durch die Wirkung der schnellen Folge hoher Tiden. LÜDERS (1974) hat hierfür den Begriff der *Gruppensdynamik* geprägt.

Dieser Begriff beinhaltet nicht nur die Häufung erhöhter Tiden in kurzer Zeit. Da die Tidewasserstände einer Kette unterschiedliche Höhen erreichen, erfaßt er auch deren Wirkung in den verschiedenen Höhenstufen vom Windflut- bis in den Orkanflutbereich. Hierdurch sind nämlich die Bauwerke des Insel- und Festlandschutzes kurzfristig in ihrer gesamten seeseitigen vertikalen Ausdehnung der Wirkung des Seeganges ausgesetzt.

Es ist gewiß, daß eine Reihe von Schäden an den Schutzwerken und insbesondere die großen Dünenverluste auf den Ostfriesischen Inseln gerade durch die gruppensdynamische Wirkung der Sturmzeiten-Kette verursacht worden sind. Ein Beweis hierfür ist, daß während der Orkanflut vom 16./17. Februar 1962 und der sie begleitenden – allerdings schwächeren – Sturmzeiten-Kette die Dünenabbrüche auf den Ostfriesischen Inseln erheblich geringer waren als 1973.

Ein solcher Vergleich kann allgemein für die Bauwerke des Insel- und Festlandschutzes nicht gezogen werden, da diese nach der Orkanflut von 1962 entsprechend dem neu festgesetzten Bestick (ARBEITSGRUPPE KÜSTENSCHUTZWERKE, 1962) auf langen Strecken inzwischen erhöht und verstärkt wurden. Immerhin konnte beobachtet werden, daß anfangs geringfügige und nicht schnell abzusichernde Schäden durch die wiederholte Einwirkung auch nur mäßig erhöhter Tiden dermaßen erweitert wurden, daß umfangreiche Wiederherstellungsarbeiten erforderlich waren.

Zum Ablauf des Sturmflutgeschehens in den Tideströmen Elbe und Weser wurde wiederholt aus Kreisen der Bevölkerung die Vermutung geäußert, bauliche Eingriffe wie Fahrwasserausbauten, Vordeichungen und die Absperrung der tidebeeinflussten Nebenflüsse durch Sturmflutsperrwerke hätten sich erhöhend auf die Sturmflutscheitel und beschleunigend auf den Anstieg der Sturmflut-Wasserstände ausgewirkt.

Dazu ist festzustellen: Die nach 1962 an den Tideströmen erstellten Küstenschutzanlagen halten sich insgesamt an die damaligen Planungen, die in hydraulischen Modellen eingehend untersucht wurden und die ergaben, daß einige der genannten Eingriffe den maximalen Wasserstand beeinflussen können. Die Wirkungen klingen aber mit der Entfernung vom Bauwerk schnell ab. Insbesondere ist festzustellen, daß die Einschnürung des Sturmflutquerschnittes durch eine Vordeichung stromabwärts zu einer Erhöhung der Sturmflutscheitel führt, stromaufwärts jedoch im allgemeinen zu einer Absenkung. Abdämmungen oder Absperrungen von Fluträumen führen zu örtlich begrenzten Sturmflutscheitel-Erhöhungen. Bei Fahrwasserausbauten sind die Querschnittsveränderungen so gering, daß sie die Sturmflutscheitel-Höhen kaum beeinflussen.

Obleich während der Sturmtiden-Kette von 1973 die Vordeichung *Nordkehdingen* und die Eindeichung *Krautsand* noch nicht abgeschlossen waren und deshalb nicht wirksam werden konnten, ist nach den bisherigen Erfahrungen und Beobachtungen für die Elbe festzustellen, daß sich die Sturmflutscheitel nach Fertigstellung aller Küstenschutzvorhaben und des 13,5-m-Fahrwasserausbaues bis *Hamburg-St. Pauli* nur um weniger als 1 dm erhöhen werden.

In der Weser wurden während der Sturmtiden-Kette die Sperrwerke noch nicht geschlossen. Während das Lesumsperrwerk bereits fertiggestellt war, befanden sich das Ochtumsperrwerk im Bau und das Huntesperrwerk im Planungsstadium. Auch der Ausbau des Weserfahrwassers hatte aus obigen Gründen nur wenig Einfluß auf die höchsten Sturmflut-Wasserstände.

Die Höhe der Sturmflut-Wasserstände in den Strömen war somit entscheidend durch die meteorologischen Bedingungen geprägt und nicht durch die in den letzten Jahren vorgenommenen Absperrungen und sonstige bauliche Eingriffe. Für die nicht gänzlich auszuschließenden Einflüsse der Sperrwerke auf die Scheitelwasserstände ist ein Ausgleich durch entsprechende Erhöhung der Hochwasserschutzanlagen vorhanden.

2.5 Bewertung der Sturmtiden-Kette 1973 im Schrifttum

Die zunächst ungewöhnlich erscheinende Häufung von Sturmtiden im Herbst 1973 hat der Sturmflutforschung erhebliche Impulse gegeben, die ihren Niederschlag in mehreren Veröffentlichungen fanden. Für die ostfriesische Küste untersuchte LÜDERS (1974) auf statistischer Grundlage und durch Vergleich der vorhandenen Wasserstandsaufzeichnungen verschiedener Pegel die Häufigkeit des Auftretens von Sturmtiden-Ketten. Er kam zu dem Ergebnis, daß die aufgetretenen Wasserstände nicht außergewöhnlich waren und Sturmtiden-Ketten nicht zu den seltenen Naturvorgängen gehören. DIETZE (1974) befaßte sich mit den Sturmfluten zwischen Ems und Jade auf der Grundlage des Häufigkeitsverfahrens. Da er den säkularen Wasserstandsanstieg nicht berücksichtigte, ergab sich in seiner Untersuchung eine Häufung überdurchschnittlicher Wasserstände in jüngerer Zeit. KURZAK (1974) beschäftigte sich mit dem Auftreten von Sturmtiden-Ketten in der Weser, faßte jedoch für eine differenzierte Beurteilung zu große Zeiträume zusammen. LAUCHT

(1974) bewertete die Sturmtiden-Kette für die Elbe und stellte in seiner Untersuchung die Möglichkeiten der statistischen Behandlung einzelner schwerer Sturmfluten wegen ihrer unterschiedlichen meteorologischen und sonstigen Randbedingungen wohl zu Recht in Frage. ROHDE (1974) verglich die Sturmtiden-Ketten von 1792 und 1973 und stellte fest, daß die von 1792 schwerer war. Ebenfalls mit dem Elbegebiet beschäftigte sich eine Untersuchung von SIEFERT (1975), die zu dem Ergebnis kommt, daß die Höhen der Sturmtiden zwar bemerkenswert, aber nicht außergewöhnlich waren und eine Sturmtiden-Kette wie die vom Herbst 1973 für die Elbe ein statistisch seltenes Ereignis darstellt. Als historisches Ereignis würdigte RODEWALD (1974) die 1973er Sturmtiden-Kette. ERCHINGER (1974) veröffentlichte die von ihm gemessenen Teekgrenzen (Wellenauflauf) und setzte sie zu den örtlichen Bedingungen (Schardeich, Vorlanddeich usw.) in Beziehung.

3. Sturmflutschäden und Schadensursachen

3.1 Verteilung und Schadensarten

Von der Sturmtiden-Kette im November/Dezember 1973 wurde die gesamte niedersächsische Küste betroffen. Schäden entstanden an Außenböschungen und Sicherungswerken der Hauptdeiche, an den Sommerdeichen sowie an den Inselfschutzwerten. Da die Hauptdeiche an keiner Stelle durch Wellen überlaufen wurden, blieben deren Deichkronen und Innenböschungen überall unbeschädigt.

An Elbe, Weser und Ems haben die bereits fertiggestellten und betriebsbereiten Sperrwerke ihre Aufgabe voll erfüllt, indem sie die Deiche der Nebenflüsse vor den Sturmflutwasserständen schützten.

Soweit es sich um Schäden an den Hauptdeichen handelt, muß unterschieden werden zwischen:

1. Deichstrecken, die noch nicht den Empfehlungen 1962 entsprechen (ARBEITSGRUPPE KÜSTENSCHUTZWERKE, 1962).
2. Deichstrecken, die als Neubaustrecken 1972/73 fertiggestellt worden waren und noch keine feste Oberfläche mit dichter Grasnarbe hatten.
3. Deichstrecken, die den Empfehlungen 1962 entsprechen.

Der Umfang der Schäden ist den so dargestellten Ausbauzuständen der Deichstrecken zuzuordnen. Über die Schäden an den niedersächsischen Deichen bot sich bei einer Bereisung im Februar 1974 allgemein folgendes Bild:

Die noch nicht ausreichend verstärkten Deiche zeigten vielfach leichte Schäden, die sich auf Zerstörungen der Grasnarbe mit geringer Bodenauswaschung bis zu 0,25 m³/m Deich beschränkten. Mittlere Schäden mit Löchern bis zu 1 m³/m Deich waren dort entstanden, wo Deichstrecken besonders stark dem Wellenangriff ausgesetzt waren.

An den Deichneubaustrecken 1972/73 mit noch nicht konsolidierten und ausreichend begrüntem Böschungen waren streckenweise schwere Schäden mit Ausschlägen von mehr als 1 m³/m Deich eingetreten.

Die nach den Empfehlungen von 1962 ausgebauten Hauptdeiche haben nur streckenweise, zumeist leichte Schäden erlitten. Die neuen Profile haben damit im ganzen ihre Bewährungsprobe bestanden. Die leichten Schäden sind zum Teil auf Fehler in der Deichpflege zurückzuführen. Die Träger der Deicherhaltung sollten deshalb noch größeren Wert auf die ordnungsgemäße Unterhaltung der Deiche legen.

Mittlere bis schwere Schäden traten an Schardeichen auf, vor allem dann, wenn die Deckwerke und Böschungsbefestigungen der Brandung nicht standhielten.

Sommerdeiche wurden besonders stark betroffen und auch mehrfach durchbrochen, wobei verschiedentlich Siele beschädigt oder herausgeschlagen wurden.

Auf den Ostfriesischen Inseln wurden die Schutzwerke stellenweise schwer beschädigt. Einzelne Dünen wurden abgetragen; die Randdünen erhielten steile Abbruchkanten.

3.2 Schäden an den Hauptdeichen

3.2.1 Grüne Außenböschung

Ansatzpunkte von Schäden waren meistens starker Unkrautwuchs, Löcher und Gänge von Wühltieren, Viehtritte und Trampelpfade an Querzäunen sowie der Übergang zwischen befestigter Böschung und nach oben angrenzender Grasnarbe. Die gleiche Wirkung zeigten unsachgemäß angelegte Treppen und nicht in die Neigung der Außenböschung eingefügte Rampen. Ausschließlich durch Mähen unterhaltene Deiche ließen die Grasnarbe locker und boten den angreifenden Wellen oft nicht ausreichend Widerstand, besonders dann, wenn selten oder zu spät gemäht worden war.

Seedeiche mit gesunder Grasnarbe und Böschungsneigungen von 1 : 6 und flacher haben den Wellenangriff schadlos überstanden. Ebenfalls sind die Außenböschungen von Strom- und Flußdeichen mit Neigungen von 1 : 4 an der Ems, Weser und Elbe ohne Schaden geblieben, weil diese Neigung bei guter Grasnarbe dem dort herrschenden geringen Wellenangriff standhält. Dagegen sind an Elbdeichen mit der steileren Außenneigung 1 : 3 an einigen Stellen Schäden aufgetreten.

Im Sommer 1973 angedeckte Rasensoden oder Rollrasen reichten als Schutz frischer Kleiböschungen ebensowenig aus wie Neuansaat. Das Einbringen der Rasenansaat mit Drillmaschinen ist nachteiliger als die Flächenansaat, da der Raum zwischen den Drillspuren erst später verwurzelt.

Schadensanfällig waren Deichstrecken mit unzureichender Treibselräumung, da die Grasnarbe abgestorben oder durch Wühltiere, die sich dort bevorzugt ansiedeln, zerstört war. Beweidete Deichstrecken, an denen Unkraut bekämpft und Treibsel regelmäßig geräumt war, zeigten sich dagegen weniger von Wühltieren befallen.

Ungünstig wirkt sich der Sandflug auf den oft künstlich vor Hauptdeichen geschaffenen Badestränden aus. Die Grasnarbe wird in dicker Schicht überdeckt und stirbt ab. Von den Wellen wird der aufgelagerte Sand sehr schnell abgespült und die Kleidecke ohne Grasnarbe der Ausspülung ausgesetzt.

3.2.2 Deichboden

Der Widerstand des eingebauten Deichbodens gegen Ausspülung hängt von seiner Qualität ab, was sich an Neubaustrecken deutlich zeigte. In sandhaltigem Klei waren streckenweise Abbruchkanten bis zu 1,5 m Höhe entstanden. Dagegen haben Strecken aus fettem Kleimaterial unter vergleichbaren Bedingungen schwerem Wellenangriff standgehalten, ohne daß sich eine nennenswerte Abbruchkante ausbilden konnte. Bemerkenswert ist hier, daß auf einer Deichstrecke nach Auswaschung der etwa 1 m starken Kleidecke der Deichkern aus kalkhaltigem Schluffsand für einige Zeit der Brandung standhielt.

Größere Verluste an kurz vorher fertiggestellten Außenböschungen bedeuten ein unvermeidbares Baurisiko, da die aus wirtschaftlichen und landschaftsgestalterischen

Gründen bevorzugten grünen Erddeiche mehrere Jahre benötigen, bis eine feste Grasnarbe gewachsen ist und sich der Boden konsolidiert hat.

3.3 Schäden an den Deichsicherungswerken

Da von den Sicherungswerken vor Schardeichen die Bühnen und der untere Teil der Deckwerke bei schweren Sturmfluten mit ihren hohen Wasserständen unterhalb der stärksten Brandungswirkung liegen, sind in diesem Bereich – wenn keine bautechnischen Mängel bestanden – nennenswerte Schäden nicht aufgetreten. Besonders betroffen wurden dagegen der obere Bereich der Deckwerke und die Böschungsbefestigung, wobei das Ausmaß der Schäden von der gewählten Bauweise abhing.

Geschlossene Decken blieben ohne Schäden, wenn sie das erforderliche Flächengewicht aufwiesen und gegen Unterspülung gesichert waren. Das trifft sowohl für massive Decken aus Zement- oder Asphaltbeton wie auch für Setz- oder Schüttsteinbauweisen mit Verguß zu.

An offenen Decken aus Betonstein-Verbundpflaster sind dagegen ausgedehnte Schäden entstanden, wofür drei Ursachen einzeln oder zusammen gegeben sein können: ein nicht ausreichendes Flächengewicht, die Verlegung auf Schlacke oder Schotter sowie ein ungenügend tiefer Sporn als obere Begrenzung. Hohlräume unterhalb der Betonsteindecke (z. B. in der Schotterlage) können zu einem Wasserpolster führen, so daß Druckschlag von oben durch die offenen Fugen eine Sprengwirkung von unten her ausüben kann. Ein Wasserpolster kann sich auch dadurch bilden, daß bei Deichsetzungen ein Gewölbe in der zwischen dem festen Fuß und dem festen oberen Betonsporn eingespannten Decke entsteht.

Als besonders empfindlich hat sich die obere Begrenzung zur Kleidecke hin erwiesen, weil meistens die Zerstörungen von oben her begannen. Die Tiefe des massiven Spornes ist für den Bestand des Deckwerkes entscheidend, wobei 0,25 m nicht ausreichend sind. Dagegen reichte ein Sporn bis zu 0,75 m Tiefe auch dann aus, wenn an Deichneubaustrecken die Außenböschung tief ausgeschlagen war.

Die bei mittleren Beanspruchungen gewählten offenen Decken, bei denen Betonverbundsteine mit genügendem Flächen- und Einzelgewicht unmittelbar auf Klei oder mit einer Zwischenlage aus Filtergewebe verlegt waren, haben sich dagegen gut gehalten.

3.4 Schäden an Deichvorland und Sommerdeichen

Das Deichvorland mit seinen wasserseitig begrenzenden Schutzwerken erlitt keinerlei bemerkenswerte Schäden.

Sommerdeiche unter starkem Wellenangriff erfuhren jedoch ausgedehnte Oberflächenschäden oder tiefe Ausschläge infolge von Löchern und Gängen von Wühltieren sowie Viehtrampelpfaden an Querzäunen. Der Druckschlag auf die wassergefüllten Gänge, hervorgerufen durch die brechenden Wellen, löste durch seine Sprengwirkung auch hier die Zerstörung der Grasnarbe von unten her aus. Unsachgemäßes Beweiden und vernachlässigte Unterhaltung waren kennzeichnend für die Schadenshäufigkeit.

Sommerdeiche, die weniger durch Wellenschlag, sondern mehr durch Überströmung beansprucht wurden, sind auf Grund ihrer steileren Profile bei der Häufigkeit der Überströmung sehr stark beschädigt oder zerstört worden. Hier haben sich Überlaufstrecken bewährt. Z. B. reichte die Kleiabdeckung von 20 cm eines Sommerdeiches mit Sandkern bei den häufigen Überflutungen der Polder nicht aus; der Deich wurde weggespült.

Die Sommerdeichsiele und Flutauslässe wurden bei den fünf bis zehn Überflutungen der Polder innerhalb der Sturmtiden-Kette außerordentlich stark beansprucht. Mehrere Holzkastensiele wurden dabei zerstört, was zu Deichbrüchen führte. Auch ein massives Siel wurde völlig weggerissen, weitere stark beschädigt. Ursachen waren ungenügende Sicherungen gegen Um- und Unterläufigkeit sowie große Auskolkungen vor den Sielen. In einem Fall riß das ausströmende Wasser einen Torflügel heraus. Flutauslässe der Sommerdeiche auf den Weserinseln, deren Sohle in Höhe des Geländes liegt, entlasten die Siele. Bei der Häufigkeit des Ausstromes entstanden im unbefestigten Vorland jedoch Auswaschungen.

3.5 Schäden an den Dünen und Schutzwerken der Inseln

Auf den Ostfriesischen Inseln von *Borkum* bis *Wangerooge* waren seeseitig schwere Schäden zu verzeichnen. Die Sicherung der Inseln *Borkum* und *Wangerooge* ist nach dem Bundeswasserstraßengesetz Aufgabe des Bundes. Die Ingenieur-Kommission hat sich daher mit diesen Inseln nicht befaßt, auch wenn für sie die gleichen Erfahrungen und Folgerungen allgemein gelten.

Die Dünen, die bis zu 30mal dem Wellenangriff ausgesetzt waren, wurden manchmal abgetragen. Auf der Nordseite der Inseln waren ausgedehnte Steilkanten an den Randdünen die Folge, die im allgemeinen jedoch durch Sandfang behoben werden können. Die Wiedergewinnung völlig abgetragener Vordünen erfordert längere Zeit und intensive Nutzung der Sandstäubung sowie Helmpflanzung. Gefahren wegen der Dünenabbrüche bestanden für die Inselbewohner jedoch an keiner Stelle.

Örtlich größere Schäden erfuhren die Dünendeckwerke und Bühnen. Die starke Brandung verursachte an den Steildeckwerken *Baltrums*, die aus Dünensandbeton mit Sandsteinverblendung hergestellt sind, tiefe Einbrüche. Auch Vorlagen aus gesetzten Basaltsäulen, die vor den Steildeckwerken angeordnet sind, wurden herausgerissen. An den Stellen, an denen sie hohl lagen, waren sie dem Druckschlag der Brandung nicht gewachsen. Durch die Brandungsströmung wurden mehrere Bühnen an der Wurzel stark beschädigt.

Bewährt haben sich geschlossene Schrägdeckwerke unter der Neigung 1 : 4. Diese Deckwerke aus mit Asphalt oder mit kolloidalem Zementmörtel vergossenen Schüttsteinen sind bei entsprechendem Flächengewicht und fachgerechter Ausbildung stärksten Brandungskräften gewachsen. Auch die Wandelbahnen oberhalb solcher Schrägdeckwerke erlitten keine Schäden, während sie oberhalb der Steildeckwerke den überschlagenden Wellen an einigen Stellen nicht standhalten konnten.

4. Ergänzungen der Empfehlungen 1962/70 für den Küstenschutz in Niedersachsen

4.1 Bemessung der Deichhöhe

Die Schadensanalyse der Sturmtiden-Kette 1973 hat gezeigt, daß sich die Schutzwerke des niedersächsischen Küstengebietes bewährt haben, soweit sie nach den Empfehlungen von 1962 neu gestaltet worden sind. Es besteht daher kein Anlaß, das Bemessungsverfahren für die Seedeiche zu ändern (ARBEITSGRUPPE KÜSTENSCHUTZ-

WERKE, 1962). Die bisher festgesetzten Bemessungswasserstände können beibehalten werden. An mehreren Deichstrecken konnte ein höherer Wellenauflauf als bisher angenommen beobachtet werden, ohne daß hieraus bauliche Folgerungen gezogen werden müßten. Das schließt nicht aus, daß in späterer Zeit an solchen auflaufexponierten Strecken die Wellen durch Vorlandgewinnung oder -erhöhung gedämpft werden müssen.

Die Höhen der Stromdeiche an den Tideströmen Ems, Weser und Elbe sind durch Modellversuche festgelegt worden. Hier bedarf es nach den Erfahrungen von 1973 ebenfalls keiner Ergänzung oder Änderung. Für die Flußdeiche an den Nebenflüssen von Ems, Weser und Elbe ist die Frage des Bemessungswasserstandes künftig ohne Bedeutung, da sie durch Sperrwerke abgeschlossen werden sollen.

4.2 Deichprofil

In den Empfehlungen 1962 wird für die Außenböschung der Seedeiche oberhalb des Bemessungswasserstandes noch eine Neigung von 1 : 4 für zulässig gehalten. Die Neigung von 1 : 6 bis zur Deichkrone muß künftig als steilste Böschung in allen Fällen angesetzt werden, sofern Klei in guter Qualität zur Verfügung steht. Bei sandigem Deichboden sind flachere Neigungen herzustellen (1 : 8 bis 1 : 10), wozu Bodenuntersuchungen bei der Entwurfsaufstellung anzustellen sind. Die Außenböschungen von Strom- und Flußdeichen sollten nicht steiler als 1 : 4 sein; anderenfalls sind massive Befestigungen erforderlich.

Die Überhöhung, die bei Deichbauten zum Ausgleich von Sackungen und Setzungen zum Sollmaß hinzuzurechnen ist, darf auch vorübergehend zu keinen steileren Außen- und Binnenböschungen führen als die Sollneigung. Erfahrungsgemäß erreichen Sackungen und Setzungen oftmals nicht die vorausgerechnete Größe, so daß die Böschungen zu steil bleiben. Die zusätzliche Abflachung der Böschungen wirkt sich günstig auf die Standfestigkeit und die Deichunterhaltung aus.

Der Baugrund ist grundsätzlich zu untersuchen, wobei sich in schwierigen Fällen bodenmechanische Gutachten empfehlen, die erheblich die Profilgestaltung beeinflussen können.

4.3 Deichsicherungswerke

Die Deckwerke vor Schardeichen sollten nicht steiler als 1 : 3 sein. Der obere Abschluß von Deckwerk und Böschungsbefestigung sollte 2,0 m bis 2,5 m über M_{Thw} liegen, um die Außenböschung besser als bisher gegen die Brandungswirkung zu schützen. Häufiger und hoher Wellenauflauf kann eine noch höhere Befestigung rechtfertigen.

Die Oberkante der Böschungsbefestigung ist durch einen Sporn, der je nach Qualität des Deichbodens 0,75 m bis 1,0 m tief sein sollte, zu sichern. Ein Wasserstau, der zu einer Vernässung der Erdböschung oberhalb des Spornes führen kann, ist durch seine durchlässige Gestaltung zu verhindern.

Offene Decken aus Betonverbundsteinen sollten im Flächengewicht der Wellenbeanspruchung angepaßt sein. Sie sollten eine Dicke von mindestens 18 cm haben und nicht steiler als 1 : 4 sein. Derartige Beläge sind unmittelbar auf Klei einzubringen oder höchstens unter Zwischenlage eines Filtergewebes, um die Bildung eines Wasserpolsters unter der Decke zu verhindern, das die Zerstörung durch Druckschlag begünstigt. Das Stück-

gewicht der Einzelsteine ist möglichst groß zu wählen. Dies gilt auch für offene Deckwerke aus Natursteinen, auf deren Verkeilung zu achten ist.

Glatte Böschungsbefestigungen begünstigen den Wellenauflauf und fördern dadurch Schäden an der oberhalb liegenden Kleiböschung. Ein dreireihiger, rd. 1,5 m breiter und rd. 20 cm hoher Höckerstreifen bringt ausreichend große Rauheitswerte. Oberhalb des Höckerstreifens sollte ein rd. 3 m breiter, befestigter Streifen bleiben. Er fängt den Aufschlag der im Höckerstreifen verwirbelten Wellen auf und läßt Wagenverkehr für Unterhaltungsarbeiten zu. Der Höckerstreifen fängt auch Treibsel auf, das damit in normalen sturmflutfreien Wintern nicht auf die grüne Deichböschung getragen wird und dort zu Schäden an der Grasnarbe führen kann.

4.4 Deichvorland

Das Vorland vor Deichen vermindert während der Sturmtiden den Wellenschlag und Wellenauflauf an den Hauptdeichen. Bestehendes Vorland ist daher vor den Hauptdeichen als Schutzwerk in seiner jetzigen Höhe und Breite zu erhalten. Vor einer Entscheidung für den Schutz eines Deiches durch Vorlandgewinnung ist ein Kosten- und Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen dessen Ausbau mit schwerem Deckwerk als Schardeich und der Schaffung eines künstlichen Vorlandes durch Bodenaufspülung o. ä. aufzustellen. Die Vorlandgewinnung kann auch dazu dienen, die Wirkung künftiger Wasserstandserhöhungen und andere Risiken für die Landessicherheit aufzufangen.

Wenn Deichvorland vor Badeorten als Sandstrand angelegt wird, müssen Sandfangzäune in ausreichendem Abstand vom Deich errichtet werden, um Sandverwehungen auf der Deichböschung zu verhindern. Nach den bisherigen Erfahrungen hat sich ein stabiles Zaunsystem mit dahinterliegendem Sandfanggraben, der jeweils nach Auffüllung durch Flugsand ausgebaggert wird, als am geeignetsten erwiesen. Empfehlenswert ist auch die Schaffung eines Grünstreifens auf dem sandigen Vorland entlang des Deichfußes.

4.5 Sommerdeiche

Sommerdeiche vermindern die Seegangsbeanspruchung der Hauptdeiche. Die Außen- und Innenböschungen von Sommerdeichen sind flach geneigt auszubilden, damit sie bei Wellenauf- und -überlauf sowie bei Überströmung ohne Schaden bleiben. Bei gutem Kleiboden sollten sie innen und außen nicht steiler als 1 : 6 sein; sandiger Deichboden erfordert beiderseits flachere Böschungen. Befestigte Überlaufstrecken mit vergleichsweise niedrigerer Kronenhöhe entlasten den übrigen Sommerdeich und mindern die Schäden an den oft steileren Innenböschungen, weil sie die Flutung des Sommerpolders bei hohen Sturmfluten wesentlich beschleunigen.

An Tideströmen liegt die Gefährdung der Sommerdeiche vornehmlich in der Beanspruchung durch Überströmung. Sie steigt mit zunehmender Höhe des Deiches über MThw, da die Überströmungszeit bis zur Füllung des Polders wächst. Die Überlaufängen sollten im Verhältnis zum Polderraum so bemessen werden, daß bei hohen Sturmfluten, die die Deichkrone 0,4 m und höher übersteigen, der Polderraum möglichst schnell gefüllt wird, z. B. in längstens 2 Stunden an der Unterweser. Entsprechend bemessene Sommerdeiche in der Neigung 1 : 4 außen und 1 : 5 innen sind bei gutem Deichboden und dichter Grasnarbe noch bei einer Kronenhöhe von 2 m über MThw standsicher. Dagegen sollten

Sommerdeiche, die häufigen und langanhaltenden Überströmungen ausgesetzt sind, bei guter Pflege der Grasnarbe Innenböschungen in der Neigung 1 : 10 erhalten.

Besonders die Innenböschungen der Sommerdeiche sollten im Herbst nicht kahlgeweidet oder abgemäht werden. Eine Graslänge von etwa 10 cm bildet bei der Überströmung eine gute Abdeckung des Deichbodens.

Die Siele in den Sommerdeichen, durch die ein Polder möglichst im Verlauf von drei Tiden entleert werden soll, damit das Polderland nicht durch Seewasser versalzt, sind tief zu gründen und seitlich einzubinden, um Um- und Unterströmung zu verhindern. Die ausströmenden Wassermengen sind abzuführen, ohne daß sie dem Vorland oder Außentief schaden. Vor Siele Neubauten ist zu prüfen, ob Flutöffnungen in Verbindung mit einem Entwässerungssiel ausreichen.

4.6 Deichboden und Deichdecke

Auf guten Deichboden für die Deichdecke sollte noch mehr als bisher Wert gelegt werden. Wenn guter Klei knapp ist und die Wellenbeanspruchungen es zulassen, kann die Kleidecke zweischichtig aufgebaut werden, in der unteren Lage sandiger, in der oberen fetter Klei. Wichtig ist auch, daß eine Relation zwischen der Qualität des Kleimaterials und der Außenböschung bleibt, d. h., daß bei sandigem Klei die Böschungen flacher gestaltet werden. Die Kleidecke auf der Außenböschung sollte mindestens 1,5 m stark sein. Eine Ausnahme hiervon bilden flachgeböschte Deiche oder solche, die im Lee des Wellenangriffes liegen, zu denen auch die Inseldeiche gehören.

Der Sand für den Sandkern eines Deiches ist nicht nur unter dem Gesichtspunkt der leichten Einbaufähigkeit zu bewerten. Ein höherer Schluffanteil erschwert zwar den Einbau, ergibt aber auch eine höhere Festigkeit des Sandkerns gegen Auswaschung, wenn die Kleidecke einmal beschädigt sein sollte.

Auf die Besodung von Deichen mit guter Kleidecke, die verhältnismäßig erosionsfest ist, kann meistens verzichtet werden, da die Soden im ersten Winterhalbjahr nach ihrer Aufbringung doch nur unzureichend angewachsen sind und durch Wellen weggespült werden. Großer Wert ist vielmehr auf schnelle Begrünung durch Ansaat zu legen. Die Ansaat ist mehrere Jahre zu düngen und zu pflegen, bis sich eine geschlossene Grasnarbe gebildet hat, die zusammen mit dem Boden als Kornfaserwerk der Erosion standhalten kann.

4.7 Anlagen im und am Deich

Wie schon in den Empfehlungen 1962 betont, sollten Böschungen und Krone seitlich von Zäunen sorgfältig befestigt werden, was immer noch zu wenig beachtet worden ist. Querzäune sind auf Hauptdeichen in allen Fällen, nach Möglichkeit aber auch auf Sommerdeichen seitlich anzupflastern, um Beschädigungen der Grasnarbe durch Viehtritt zu vermeiden. Die Zahl der Querzäune sollte auf ein Mindestmaß beschränkt werden, ggf. durch Einrichtung von Gemeinschaftsweiden. Die Zäune sind während des Winters zu entfernen, auch um zu vermeiden, daß sich Treibsel an ihnen in großen Mengen fängt.

Deichüberfahrten sollen ohne deutlichen Neigungswechsel in die Außenböschung eingefügt werden. Sie sind zu befestigen, um nach Sturmflutschäden bei jeder Witterung sofort für Materialtransporte befahrbar zu sein.

Durch Überwachung ist sicherzustellen, daß die Richtlinien für Verlegung und Betrieb von Leitungen im Bereich von Hochwasserschutzanlagen (ARBEITSGRUPPE VERSORGUNGSLEITUNGEN, 1970) in allen Fällen sorgfältig beachtet werden. Wo dies nicht geschehen ist, sind Neuverlegungen notwendig.

Im Bereich von Badeorten und Ausflugszielen können Deiche und sonstige Küstenschutzanlagen dem Fremdenverkehr nicht verschlossen bleiben, da sie sich als Wanderwege anbieten, der Zugang zu den Badestränden über sie führt oder sie anderweitig nicht freizuhalten sind. Im ausreichenden Umfang ist durch befestigte Wege auf der Deichkrone, Treppen und andere Überwegungsmöglichkeiten der Fußgängerverkehr so zu lenken, daß die Grasnarbe des Deiches unbeschädigt bleibt.

4.8 Deicherhaltung, Deichverteidigung, Vorlandpflege

Der Unterhaltungszustand der Deiche war 1973 im allgemeinen besser als 1962. Bewährt hat sich vor allem die in weiten Bereichen eingeführte Schafbeweidung. Die auf einigen Strecken noch übliche Beweidung mit Großvieh sollte endgültig aufgegeben werden. Sie ist zwar in Trockenzeiten ohne Nachteile für die Grasnarbe, aber nach langjähriger Erfahrung wird der notwendige Abtrieb des Großviehs bei Regenwetter immer wieder versäumt, so daß ausgedehnte Trittschäden entstehen. Solange die Schafbeweidung nicht durchgesetzt worden ist, muß das Großvieh spätestens zum 1. Oktober abgetrieben werden.

Wo der Deich aus besonderen Gründen (Stadtgebiete, Fremdenverkehr) nicht ständig beweidet werden kann, sollte wenigstens das Mähen durch zeitweise Schafbeweidung (im Frühjahr und Herbst) ergänzt werden, wodurch die Deichoberfläche fest wird und Löcher und Gänge von Wühltierbauten geschlossen werden. Im Herbst darf nicht zu kurz (5 bis 10 cm) geweidet werden. Die Schäfer benötigen für diese Zeit Ausweichflächen. Bei Mähdeichen muß der letzte Schnitt vor dem 1. Oktober liegen, damit sich die Grasnarbe noch bis zum Beginn der Wintersturmfluten erholen kann.

Zur Einschränkung der Treibselmengen ist eine bessere Vorlandpflege und -überwachung erforderlich. Schwimmfähiges Material (Bauholz, Paletten für Frachtverkehr, Flaschen, Plastikmaterial usw.) darf nur so lange im Vorland gelagert werden, wie es vor Abtreiben sicher ist. Wo ständig mit größeren Treibselmengen zu rechnen ist, muß die Abfuhr ohne Schädigung der Grasnarbe möglich sein. Bei Vorlanddeichen können in diesen Fällen besondere Treibselabfuhrwege an der unteren Außenböschung erforderlich sein. In bestimmten Abständen sollten Plätze für die Treibselverbrennung befestigt werden.

Für die Auffüllung von Ausschlägen wird durchweg guter Klei benötigt. Dafür sollten vorsorglich entlang der gesamten Deichstrecke zugängliche Entnahmestellen festgelegt werden. Die kleineren Sanddepots können aufgegeben werden, soweit in den Katastrophplänen der Landkreise und Städte Fuhrunternehmer mit größeren Sandgruben organisiert sind. Aufgegeben werden können meistens auch die kleinen Sandsacklager. Es genügen dann die zentralen Lager der Landkreise und Städte, von denen binnen kurzer Zeit Sandsäcke an die Gefahrenstellen gebracht werden können.

In einigen Bereichen muß die Unterhaltung der Deiche verbessert werden. Deshalb müssen Beanstandungen der Deichschaukommission härter durchgesetzt und muß dafür gesorgt werden, daß in der Frühjahrsschau festgestellte Mängel bis zur Herbstschau beseitigt worden sind.

Um der ansässigen Bevölkerung und den Fremden die Notwendigkeit der Deich-erhaltung und -pflege zu verdeutlichen, sollten an geeigneten Stellen noch mehr als bisher Schautafeln und Wasserstandsmarken aufgestellt werden.

5. Folgerungen für den Inselschutz

Der Schutz der Düneninseln wirft besondere Probleme auf. Außer der Wahl geeigneter Bauweisen ist in Abhängigkeit von den morphologischen Veränderungen im Strand- und Dünenbereich durch Seegang und Strömung die Vielfalt möglicher konstruktiver Lösungen für Inselschutzwerke zu berücksichtigen, um sie den Beanspruchungen optimal anzupassen. Beispiel dafür ist das verschiedenartige morphologische Verhalten der Inseln, von denen einige einem ständigen Sandabtrag an ihren Westenden unterliegen (z. B. *Norderney*), während andere (z. B. *Langeoog*) in einem mehr oder weniger dynamischen Gleichgewicht von Sandzufuhr und Sandabtrag stehen. Bedingt durch den Ausbau der Inselschutzwerke seit etwa 120 Jahren sind, entsprechend dem jeweiligen Stand der Technik, verschiedene Bauwerksformen entstanden und bis heute erhalten geblieben.

In den Sturmfluten vom November/Dezember 1973 haben vor allem die Rändünen und Deckwerke, weniger die Buhnen, Schäden erlitten, die, soweit es sich um solche an den massiven Konstruktionen handelte, sehr bald instand gesetzt wurden, während die Dünen sich durch Sandstäubung regenerierten.

Wegen der Vielfalt der technischen Lösungsmöglichkeiten sollen nur einige Hinweise gegeben werden, die beim künftigen Inselschutz beachtet werden sollten:

1. Die langjährigen morphologischen Vermessungen und Beobachtungen über die Veränderungen von Vorstrand, Strand und Dünen der Inseln sind fortzusetzen, was auch für die hydromechanischen Untersuchungen von Wellen und Strömungen gilt. Planungen für den Inselschutz sollten anhand der gewonnenen Erkenntnisse sorgfältig auf ihre Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit geprüft werden.
2. Die Erfahrungen mit der hydraulischen Gestaltung der Schutzwerke haben in den letzten Jahrzehnten zu flachgeböschten Bauweisen geführt, die sich bewährt haben und beibehalten werden sollten. Wenn künftig abgängige ältere Deckwerke und Buhnen erneuert werden müssen, sind sie entsprechend flach zu gestalten.
3. Ausreichend schwere und damit unterhaltungsarme Bauweisen sind erforderlich, auch wenn die Baukosten dadurch steigen, denn die lohnintensiven Unterhaltungsarbeiten zu leichter Bauweisen beeinflussen die Wirtschaftlichkeit des Inselschutzes ungünstig.
4. An die Stelle des Baues massiver Schutzwerke zur Stranderhaltung ist in den letzten Jahren mancherorts der Ersatz von Sandverlusten am Strand durch künstliche Strandauffüllung getreten. Der damit erreichte – auch wirtschaftlich günstige – Inselschutz sollte fortgesetzt werden. Vor allem läßt sich damit die gewünschte Wirkung – wenn auch für begrenzte Zeit – mit Sicherheit erreichen, was bei den massiven Inselschutzwerken, die im Laufe der Zeit entstanden sind, keineswegs immer der Fall gewesen ist. Hinzu kommt, daß Strandauffüllungen auch Vorteile für den Badebetrieb erbringen, der für die Inseln die Existenzgrundlage ist.

6. Nachschrift

Noch vor Veröffentlichung des vorliegenden Berichtes über die Sturmflutserie 1973 suchten am 3./4. Januar 1976 und am 20./21. Januar 1976 zwei sehr schwere Sturmfluten

die Nordseeküste heim. Beide Sturmfluten lagen mit den Scheitelwasserständen über den Beobachtungen von 1973. Im Elbegebiet und in Schleswig-Holstein überschritt die Sturmflut vom 3./4. Januar sogar die bisher beobachteten Höchstmarken von 1962 und richtete schwere Schäden an. Dieses Ereignis gibt Veranlassung, in einem gesonderten Bericht die meteorologischen und hydrologischen Verhältnisse sowie die Schadensursachen und Wirkungen abermals eingehend zu untersuchen und zu prüfen, ob Konsequenzen für die Deichbemessung und Deichbautechnik zu ziehen sind.

Schriftenverzeichnis

- DIETZE, W.: Über den Begriff „Sturmflut“. Zwischen Ems und Jade. Mitt.-Blatt der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Aurich, H. 1, 1974.
- ERCHINGER, H. F.: Wellenauflauf an Seedeichen – Naturmessungen an der ostfriesischen Küste. Mitt. Leichtweiß-Inst. d. Techn. Univ. Braunschweig, H. 41, 1974.
- HENSEN, W.: Modellversuche über den Wellenauflauf an Seedeichen im Wattengebiet. Mitt. Franzius-Inst. Techn. Hochschule Hannover, H. 5, 1954.
- INGENIEUR-KOMMISSION DES NIEDERSÄCHSISCHEN MINISTERS FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Kramer, Liese, Lüders): Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 im niedersächsischen Küstengebiet. Die Küste, Jg. 10, H. 1, 1962.
- KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE, ARBEITSGRUPPE KÜSTENSCHUTZWERKE (Freistadt, Kramer, Lorenzen, Lüders, Rodloff, Traeger): Empfehlungen für den Deichschutz nach der Februar-Sturmflut 1962. Die Küste, Jg. 10, H. 1, 1962.
- KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE, ARBEITSGRUPPE KÜSTENSCHUTZWERKE (Kramer, Lorenzen, Lüders, Rodloff, Traeger): Nachtrag zu den „Empfehlungen für den Deichschutz nach der Februar-Sturmflut 1962“. Die Küste, H. 20, 1970.
- KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE, ARBEITSGRUPPE VERSORGUNGSLEITUNGEN IM BEREICH VON HOCHWASSERSCHUTZANLAGEN (Kramer, Kübler, Lüders, Metzler, Petersohn, Rodloff, Traeger): Empfehlungen für Richtlinien für Verlegung und Betrieb von Leitungen im Bereich von Hochwasserschutzanlagen. Die Küste, H. 20, 1970.
- KURZAK, G.: Lehren aus Sturmfluten. Die Weser, 48, H. 2, 1974.
- LAUCHT, H.: Die Sturmfluten 1973 und ihre Wirkungen im Hamburger Hafen. Hansa 111, Jg. 11, 1974.
- LÜDERS, K.: Wiederherstellung der Deichsicherheit an der deutschen Nordseeküste von der holländischen Grenze bis zur Elbe. Wasser und Boden, Jg. 9, H. 2, 1957.
- LÜDERS, K.: Sturmtidenketten. Forschungsstelle Norderney, Jahresbericht 1973, Bd. XXV, 1974.
- NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN; REFERATSGRUPPE WASSERWIRTSCHAFT: Generalplan Küstenschutz Niedersachsen. Hannover, 1973.
- RODEWALD, M.: Die historische Nordsee-Sturmserie vom November-Dezember 1973. Der Seewart, H. 4, 1974.
- ROHDE, H.: Ein Vergleich der Sturmfluten des Winters 1973/74 mit denen des Winters 1792/93. Die Küste, H. 26, 1974.
- SIEFERT, W.: Tidewasserstände im Elbegebiet während der Herbststurmfluten 1973 und ihre statistische Deutung. Dtsch. Gewässerkd. Mitt., 19. Jg., H. 2, 1975.