

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Zitscher, Fritz-Ferdinand; Scherenberg, Rudolf; Carow, Uwe Die Sturmflut vom 3. und 21. Januar 1976 an den Küsten Schleswig-Holsteins

Die Küste

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101137>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Zitscher, Fritz-Ferdinand; Scherenberg, Rudolf; Carow, Uwe (1979): Die Sturmflut vom 3. und 21. Januar 1976 an den Küsten Schleswig-Holsteins. In: Die Küste 33. Heide, Holstein: Boyens. S. 71-100.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Die Sturmflut vom 3. und 21. Januar 1976 an den Küsten Schleswig-Holsteins

Von Fritz-Ferdinand Zitscher, Rudolf Scherenberg
und Uwe Carow

Zusammenfassung

Zwei schwere Sturmfluten am 3. und 21. Januar 1976 waren eine weitere Prüfung der Küstenschutzbauwerke an der Westküste Schleswig-Holsteins seit der Katastrophenflut im Februar 1962.

In diesem Bericht werden zunächst der Wasserspiegelanstieg im Wattengebiet – der in vielen Fällen höher war als 1962 – und der Wellenauflauf an den Deichen untersucht. Die hydrologischen Besonderheiten dieser Sturmflut und die Auswirkungen auf die Wasserstandsschwankungen der Ostsee werden aufgezeigt und mit denen vergangener Sturmfluten verglichen.

Weiter werden die Ursachen und der Umfang der Schäden an den einzelnen Küstenabschnitten erläutert. Die schweren Schäden erstreckten sich auf 20 % der 381 km langen Deichstrecke. In vielen Fällen verursachten überlaufende Wellen eine Erosion der Innenböschungen. An zwei Stellen brachen die noch nicht verstärkten Deiche vollständig, aber Menschenleben waren nicht zu beklagen. Die gewonnenen Erfahrungen gaben Anlaß zu Schlußfolgerungen für weitere Verbesserungen in der technischen Konstruktion und in der Instandhaltung von Küstenschutzbauwerken.

Summary

Two severe storm tides on the 3rd and 21st January 1976 provided a further test of the coastal protection works on the west coast of Schleswig-Holstein after the catastrophic flood of February 1962.

This report deals first with the rise in water level in the coastal flats area, which in many cases was higher than in 1962, and investigates the overrunning of the dykes by wave action. The special hydrological features of this storm tide and its effects on the fluctuations in water levels in the Baltic were demonstrated and compared with those during earlier storm tides.

In addition, the causes of the damage and its extent along individual stretches of the coast are described. Severe damage extended to 20 % of the 381 km long stretch of dykes. In many cases the waves breaking over the top caused erosion on the landward side of the embankment. In two places dykes which had not yet been strengthened were fully breached, but there was no loss of human lives.

Conclusions were drawn from the experience gained for further improvements in construction technology and for the maintenance of coastal defence works.

1 Einleitung

Auf weiten Strecken der 585 km langen Westküste Schleswig-Holsteins (einschl. Inseln, Halligen und Elbdeiche) sind Küstenschutzbauwerke durch zwei sehr schwere Sturmfluten beansprucht worden.

Auf der Grundlage des Generalplans (SUHR, 1964) sind seit 1962 umfangreiche Deichverstärkungen und Deichverkürzungen (ZITSCHER, 1966) ausgeführt worden. Aber noch nicht alle notwendigen Arbeiten konnten bisher bewältigt werden, so daß an solchen Deichen erwartungsgemäß zum Teil schwere Schäden und zwei Deichbrüche (JANSEN, 1976) auftraten, deren Instandsetzung rd. 48 Mio. DM kostete (s. Abschn. 3.1).

Der Beitrag konzentriert sich im Kapitel 2 im wesentlichen darauf, die Wasserstandsentwicklung beschreibend darzustellen und Vergleiche zu vergangenen Sturmfluten zu ziehen. Grundlage dafür sind Beobachtungen und Messungen, die während und zum Teil auch nach den Fluten vorgenommen wurden.

Die meteorologischen Voraussetzungen für das Entstehen dieser Fluten wurden vom Deutschen Hydrographischen Institut in einem besonderen Bericht beschrieben (HEERTEN u. PARTENSKY, 1977). Im folgenden wird darauf aufgebaut.

2 Die Wasserstandsentwicklungen

2.1 Die Sturmflut vom 3. Januar 1976 an der schleswig-holsteinischen Westküste

Noch 10 Stunden vor Eintritt des Ereignisses gab es an der Westküste keine Anzeichen für eine bevorstehende Sturmflut. Das Morgenhochwasser am 3. 1. 1976 trat zwischen 2.30 Uhr und 4.00 Uhr mit Wasserständen ein, die im Bereich der astronomisch vorausberechneten Werte lagen: Büsum -13 cm, Meldorf +8 cm, Husum -25 cm. Bereits kurze Zeit nach Hochwasser machten sich jedoch an vielen Pegeln erste Anzeichen einer Anomalie bemerkbar: Die Fallgeschwindigkeit des Ebbeastes lag deutlich unter den Normalwerten. Diese Tendenz verstärkte sich immer mehr und griff nach und nach auf alle Pegel über. Bereits rund zwei Stunden nach Hochwasser sank die Fallgeschwindigkeit auf Null: Die Ebbe war beendet, das Wasser begann zunächst zögernd, später sehr zügig zu steigen (zwischen 70 und 120 cm/h). Gegen 9.00 Uhr ließen die Steiggeschwindigkeiten vor der Dithmarscher Küste infolge einer Windabschwächung vorübergehend nach, wuchsen dann aber nach rund einer Stunde wieder auf die vorherigen Werte an.

Gegen 12.00 Uhr trat eine allmähliche Abschwächung ein, und zwischen 13.25 Uhr (Wyk) und 14.20 Uhr (Cuxhaven) erreichten die Wasserstände rund eine Stunde vor der vorausberechneten Eintrittszeit ihr Maximum. Dabei wurde das HThw von 1962 an fast allen Pegeln überschritten. Dagegen blieben die Wasserstände unter dem maßgebenden Sturmflutwasserstand (s. Tabelle 1).

Kurz nach dem Hochwasserscheitel sank der Wasserspiegel bei langsam abflauendem Wind mit 80 cm/h sehr gleichmäßig auf Tnw-Werte um MThw +2,00 m ab. Trotz Winddrehung auf NNW und allmählicher Abschwächung auf Stärke 5 Bft erreichte das nachfolgende Hochwasser infolge einzelner Starkwindfelder über der Nordsee eine Höhe von i.M. MThw +1,80 m.

Um auch im Wattenmeer einen Vergleich zur Sturmflut vom 16./17. 2. 1962 ziehen zu können, wurde der „Füllungsgrad“ der Nordsee vor der schleswig-holsteinischen Westküste (SCHULZ, 1962) ermittelt. Nach dieser Methode wird an jeder Pegelstation ein Sturmflutbereich festgelegt, der nach unten durch das MThw und nach oben durch das HThw begrenzt ist (100 %). Inwieweit die Sturmflut vom 3. 1. 1976 diesen Bereich prozentual gefüllt hat, ist in Abb. 2 dargestellt. Es ergibt sich eine nach Norden zunehmende Füllung vor der gesamten Westküste mit deutlichen Schwerpunkten in den nach Norden und Nordwesten offenen Buchten und im Elbeästuar. Auffällig sind die hohen Werte im Watt nördlich des Hindenburgdammes und um Trischen sowie der Verlauf der Isolinie in der Norder- und Süderaue, die sich wegen der Überflutung der sie sonst trennenden Einheit der Halligen Oland und Langeness mit ihren Dämmen wie ein zusammenhängendes Wattstromsystem verhalten haben. Der bei allen küstennahen Pegeln

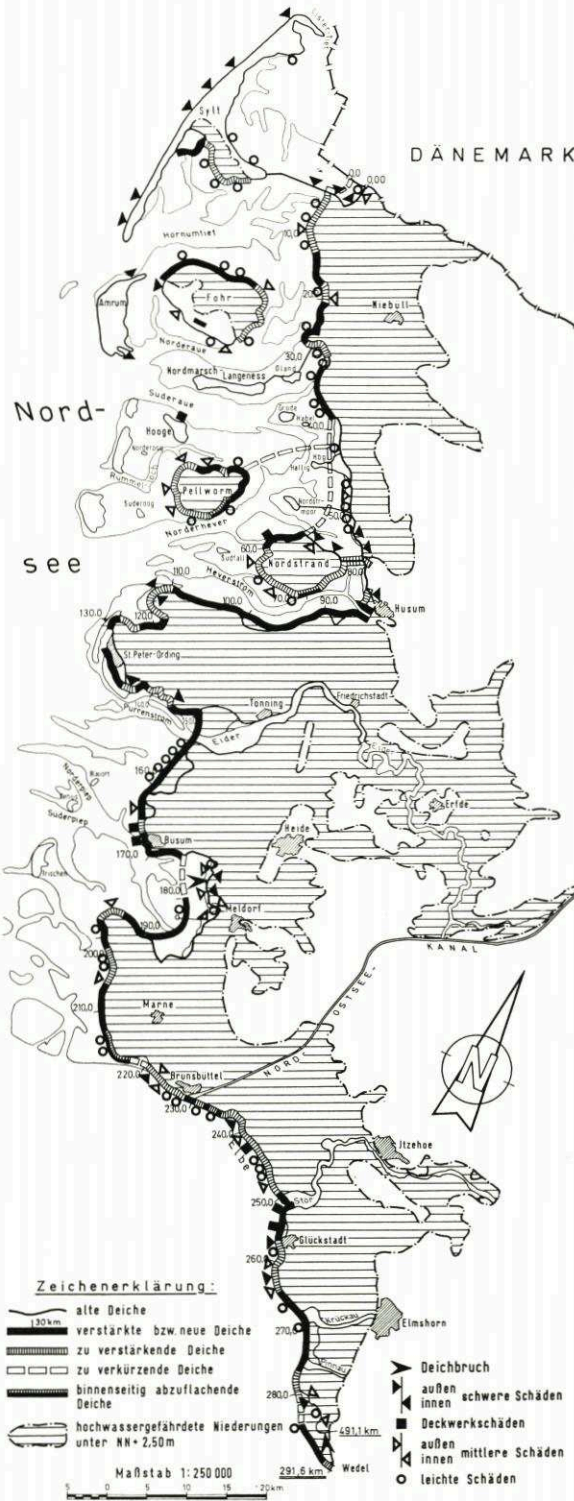


Abb. 1. Schäden an der schleswig-holsteinischen Westküste

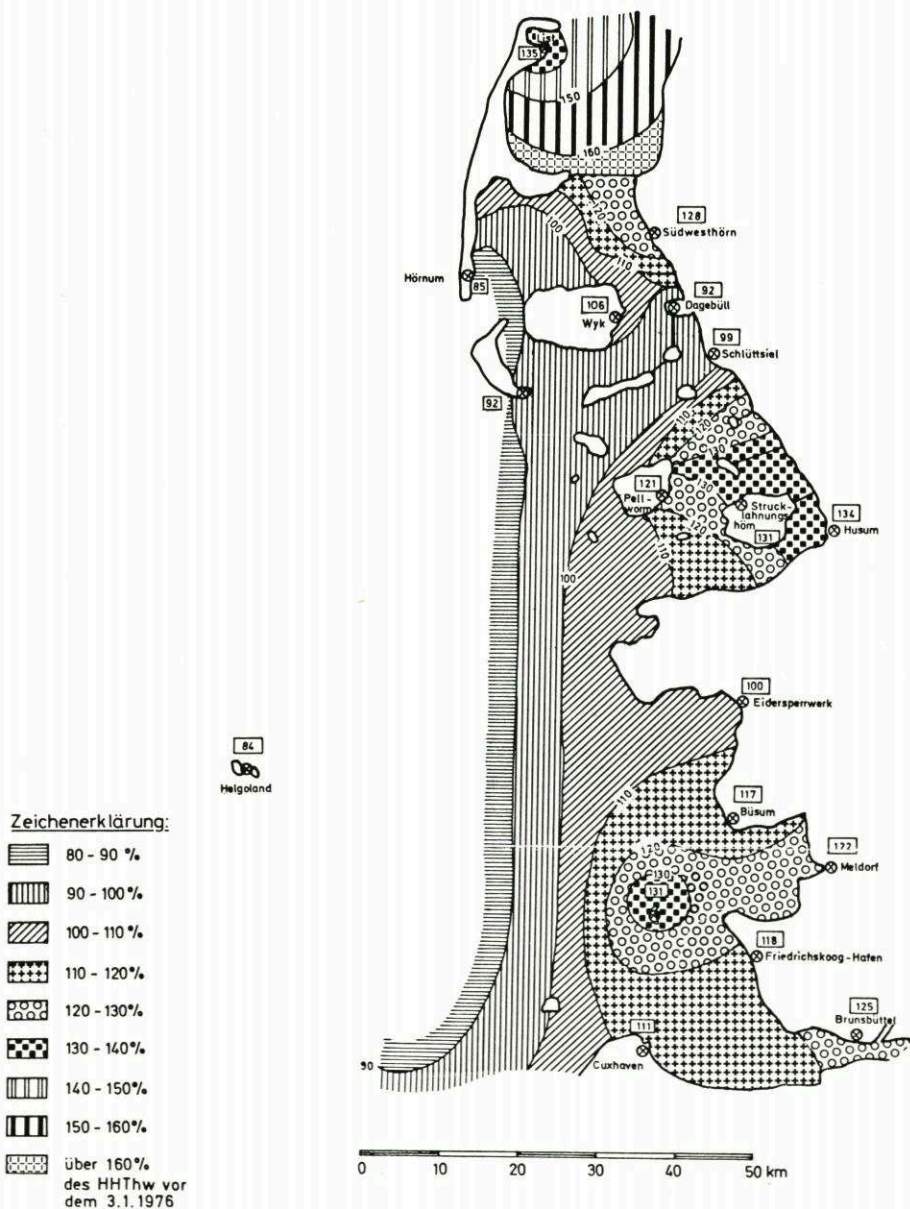


Abb. 2. Füllungsgrad der Deutschen Bucht vor der schleswig-holsteinischen Westküste am 3. 1. 1976

zwischen Cuxhaven und List zu beobachtende gleichmäßige und nahezu parallele Verlauf des Flutastes ist insofern auffällig, als bei den weiter seewärts liegenden und daher von der Wattmorphologie weniger beeinflussten Pegeln der Flutast in der Regel flacher geneigt war. In Büsum, Cuxhaven und Meldorf führte das bereits genannte Abflauen des Windes zur auffälligen Abflachung in der Zeit von 9–11 Uhr.

Ganglinien der Sturmflut vom 31. u. 21.176
an den Pegeln Büsum(Nordsee) im Vergleich mit der Sturmflut vom 16./17.2.1962
und Kalkgrund(Ostsee) vom 2.1.-8.1.76

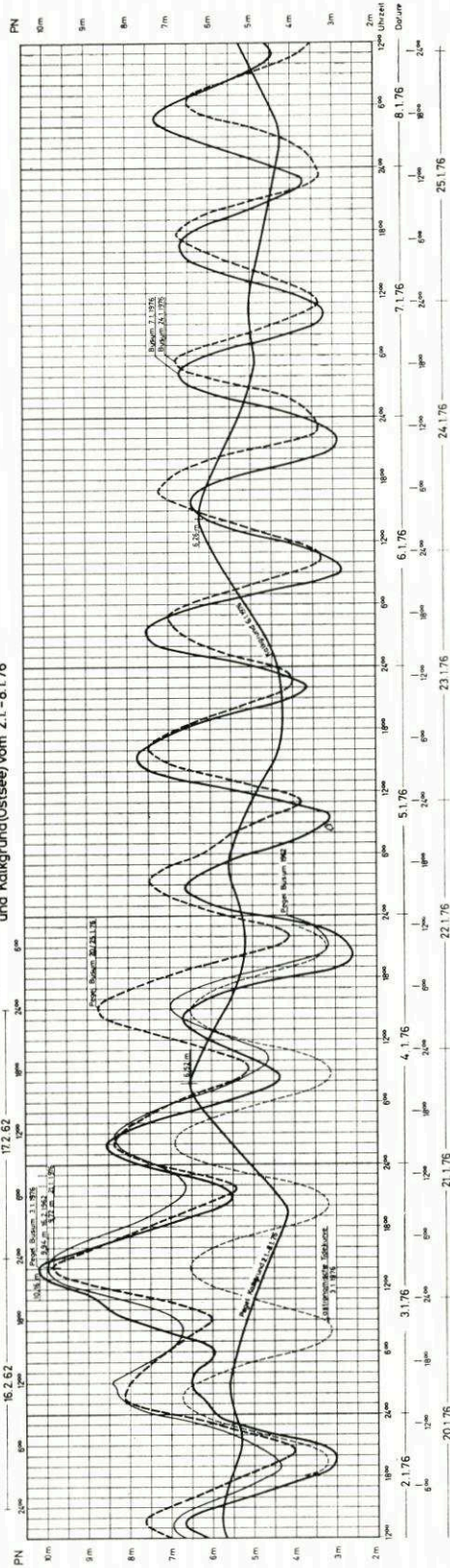


Abb. 3. Ganglinien der Sturmflut vom 3. 1. und 21. 1. 1976 an den Pegeln Büsum (Nordsee) im Vergleich mit der Sturmflut vom 16./17. 2. 1962 und Kalkgrund (Ostsee) vom 2. 1. bis 8. 1. 1976

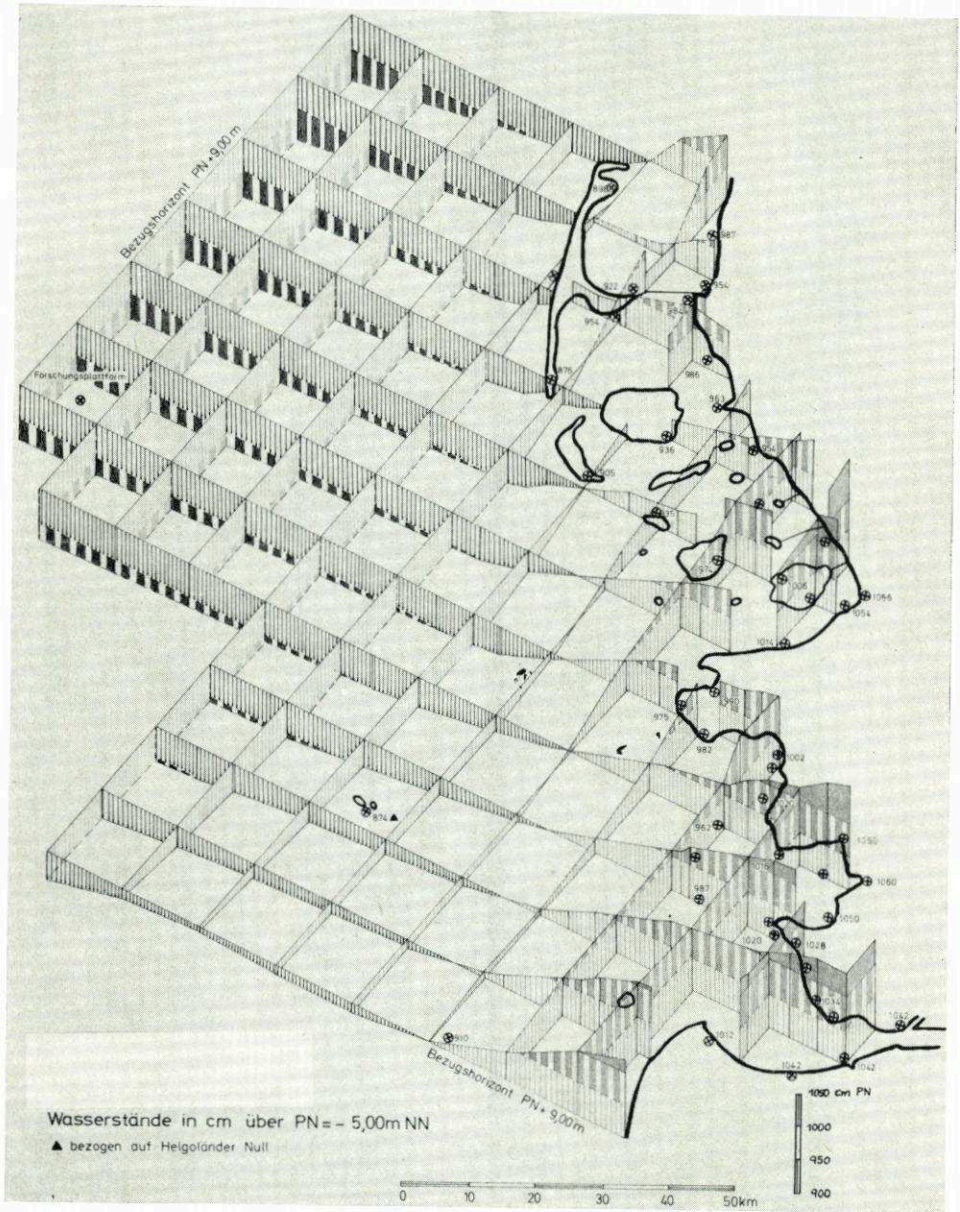


Abb. 4. Isometrische Darstellung der HThw-Stände am 3. 1. 1976 vor der schleswig-holsteinischen Westküste

Um einen räumlichen Eindruck der Wasserstandsverteilung zu vermitteln, sind die Scheitelwasserstände isometrisch dargestellt (Abb. 4). Das Grundraster bezieht sich auf eine Höhe von PN +9,00 m und ist über Helgoland hinaus bis zur Forschungsplattform „Nordsee“ verlängert worden, um die Aufsteilung der Wasserstände an der Küste darstellen zu können. Die Dichte der Pegelstationen reicht nicht aus, um ein exaktes räumliches Bild der Wasserstandsverteilung zeichnen zu können. Daher wurden als Hilfskon-

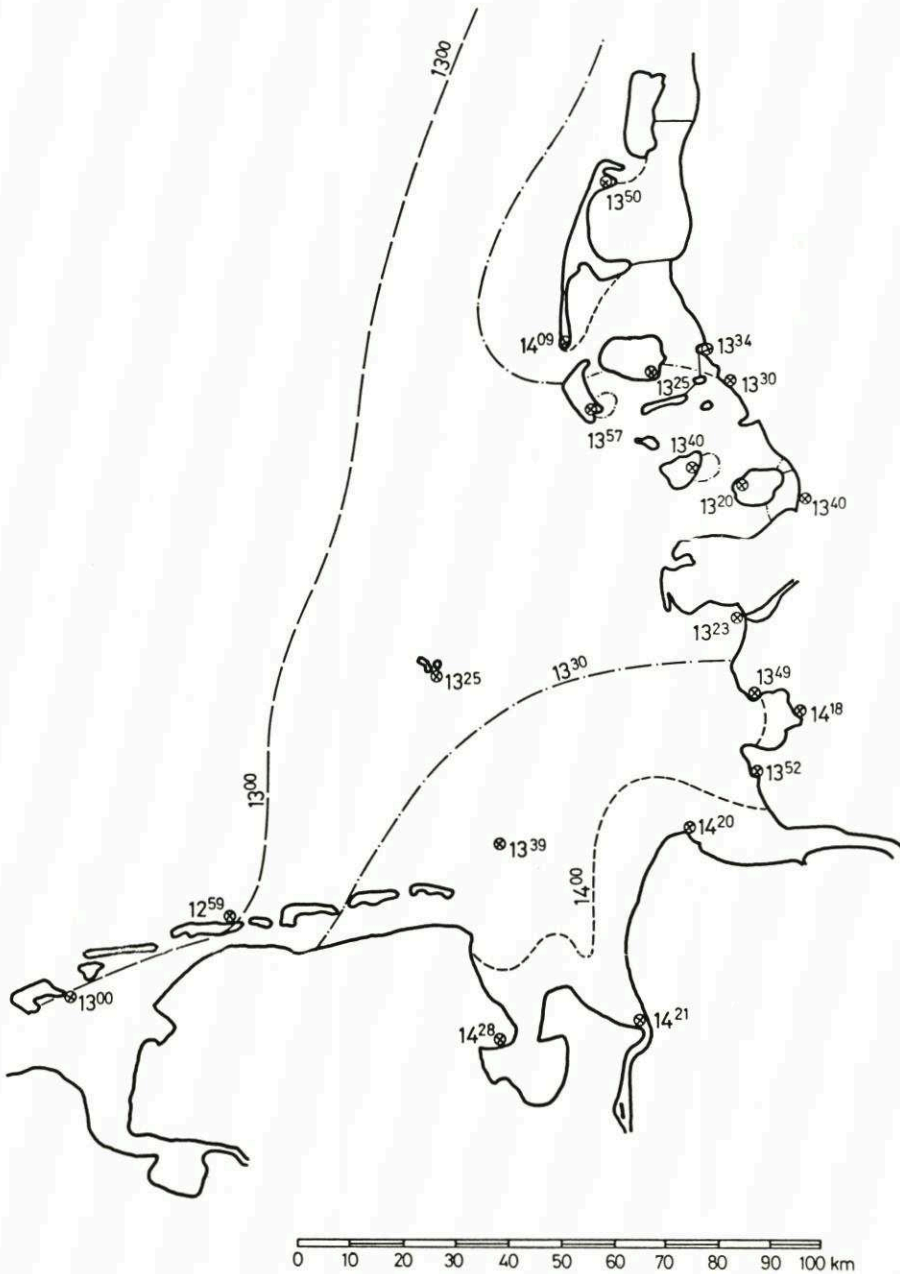


Abb. 5. Linien gleicher Eintrittszeit der HThw-Stände am 3. 1. 1976

struktur zunächst Isolinen gezogen, deren Höhen in den Schnittpunkten mit dem Raster senkrecht aufgetragen und geradlinig zu Profilen verbunden wurden. Dabei wurde der Einfluß der Feinstruktur der Wattmorphologie auf die Wasserstände vernachlässigt.

Es zeigt sich, daß etwa im Bereich der SKN-10-m-Linie die Aufsteilung der Wasserstände beginnt, die sich mit einer mittleren Neigung von etwa 1:25 000 bis zu den Außenständen hin fortsetzt. Daran schließt sich eine Zone flacherer Neigung an (etwa 1:40 000),

die unmittelbar an der Küste und insbesondere in Buchten in eine steilere übergeht (bis etwa 1:20 000). Außerdem läßt sich ein gleichmäßiger, sehr flacher Anstieg von Nord nach Süd erkennen. Ob diese Verhältnisse auch bei anderen Fluten herrschen, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

Im Raum Sylt ist die isometrische Darstellung infolge der besonderen Verhältnisse und der dafür zu geringen Anzahl von Pegeln unsicher, ebenso im Küstenvorfeld, da dort Pegelstationen fehlen und die Pegel „Helgoland“ und „Nordseeplattform“ nicht auf NN eingemessen sind. Die Oberfläche ist deshalb nur gestrichelt dargestellt.

Da das Hochwasser an allen Pegeln nahezu gleichzeitig eintrat (Abb. 5), kann die isometrische Darstellung als synoptisch bezeichnet werden. Sie gleicht damit einer „Momentaufnahme“ der Verformung der Wasseroberfläche.

Der nahezu gleichzeitige Eintritt des Hochwassers ist eine Besonderheit der Sturmflut vom 3. Januar 1976; denn bei den meisten früheren Sturmfluten hat die Zeitdifferenz des Hochwassereintritts zwischen Borkum und List etwa 3 bis 4 Stunden und zwischen Cuxhaven und List etwa 1 bis 1,5 Stunden betragen. Hieraus folgt, daß die Hochwasserwelle (resultierend aus der astronomischen Tide und dem Windstau) nicht nordostwärts, entlang der ostfriesischen Küste, sondern von WNW auf breiter Front in die Deutsche Bucht vorgedrungen sein muß.

Dabei trat das HThw nach Norden zunehmend früher als das astronomische THw ein:

	Zeitdifferenz zu Cuxhaven am 3. 1. 1976 bei MThw	
Cuxhaven	0 Minuten	(—)
Büsum	-22 Minuten	(-15 Minuten)
Husum	-99 Minuten	(+44 Minuten)

Eine weitere Besonderheit ist der Verlauf der Sturmflut vom 3. 1. 1976; denn in der Regel sorgen allmählich stärker werdende Windfelder für einen allmählichen Anstieg der Vortide: Verbindet man die Scheitelwasserstände gradlinig (Abb. 6), so ergibt sich für die Sturmflut vom 16./17. 2. 1962 ein symmetrisches und für die Flut vom 3. 1. 1976 ein stark asymmetrisches Bild infolge des Ausfalls der Vortidenerhöhung. So ist auch die gegenüber anderen Fluten sehr gestreckte Form der Dauerlinie (Abb. 7) zu erklären, die im unteren Bereich in großem Abstand von der Linie von 1962 verläuft, sich dieser mit steigendem Wasserstand fortlaufend nähert und sie bei PN +958 cm schneidet.

Insbesondere die Abbildungen 6 und 7 bestätigen deutlich, wie rasch Sturmfluten entstehen können, die die bisherigen an Höhe übertreffen. Aussagen hierüber sind nicht nur über Wasserstandsstatistiken zu gewinnen, sondern Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen über das Zusammentreffen verschiedener meteorologischer Situationen (FÜHRBÖTER, 1976) mit den astronomischen Gegebenheiten und hydrodynamischen Effekten (Fernwellen, Eigenschwingungen u. a.) sollten neben hydrodynamisch-numerischen Modellen zur Prognose verwendet werden. Danach sind mit großer Wahrscheinlichkeit noch höhere Fluten zu erwarten, ohne daß wir lang- oder mittelfristig etwas über den Zeitpunkt ihres Eintreffens sagen können. Die Sturmflut vom 3. 1. 1976 hat deutlich werden lassen, daß deshalb jede Maßnahme des Sturmflutschutzes mit einem Restrisiko behaftet ist (VAN DER KLEIJ, 1977).

Der Wellenaufbau an den Deichen der Westküste und der Elbe wurde nach dem 3. 1. 1976 durch Einmessen der Treibselkanten in unregelmäßigen Abständen festgehal-

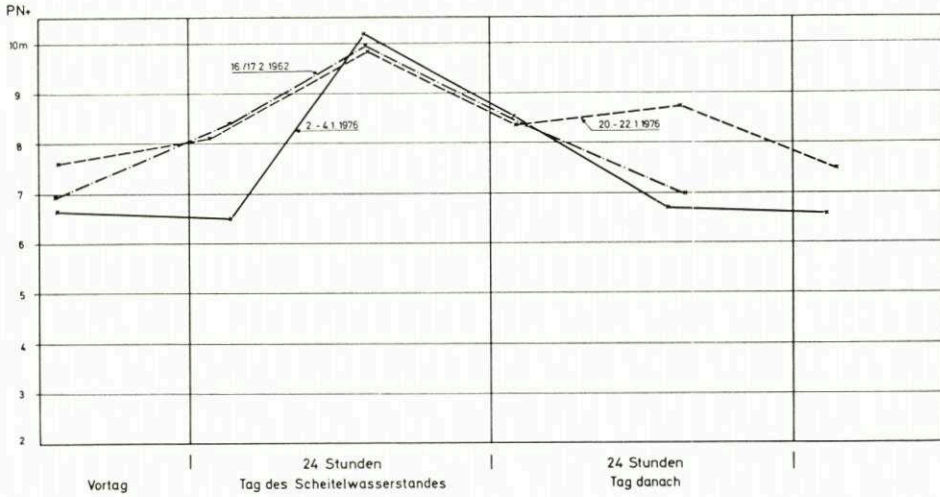


Abb. 6. Verbindungslinien der Scheitelwasserstände während der Sturmflutperioden vom 2. bis 4. 1., 20. bis 22. 1. 1976 und 16./17. 2. 1962

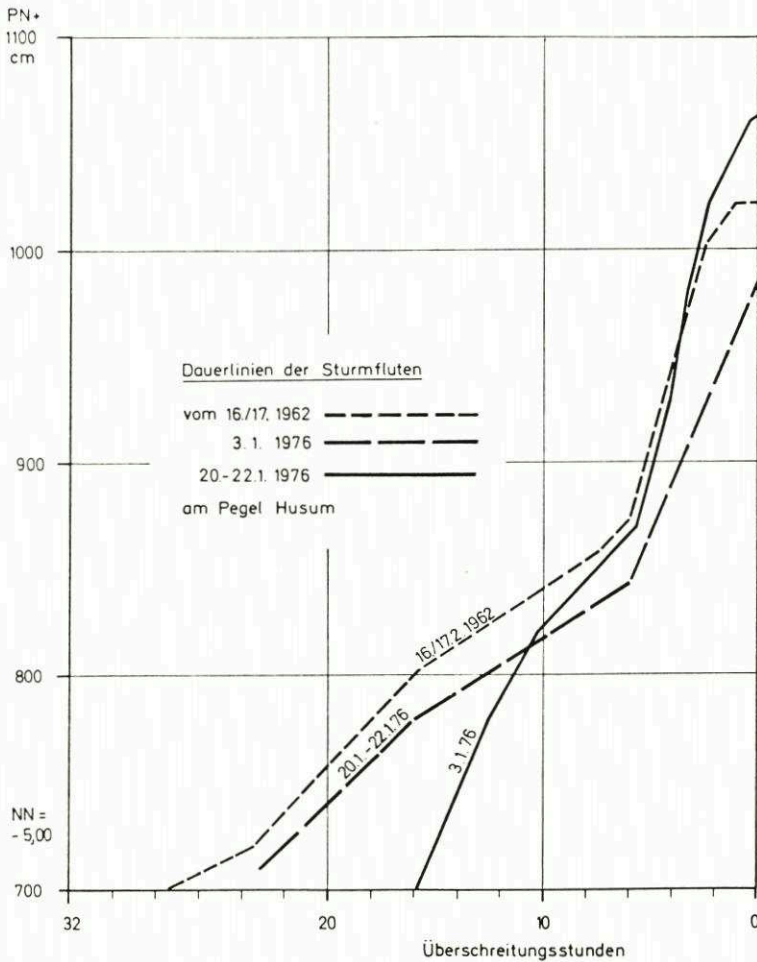


Abb. 7. Dauerlinien der Sturmfluten 1962 und 1976 am Pegel Husum

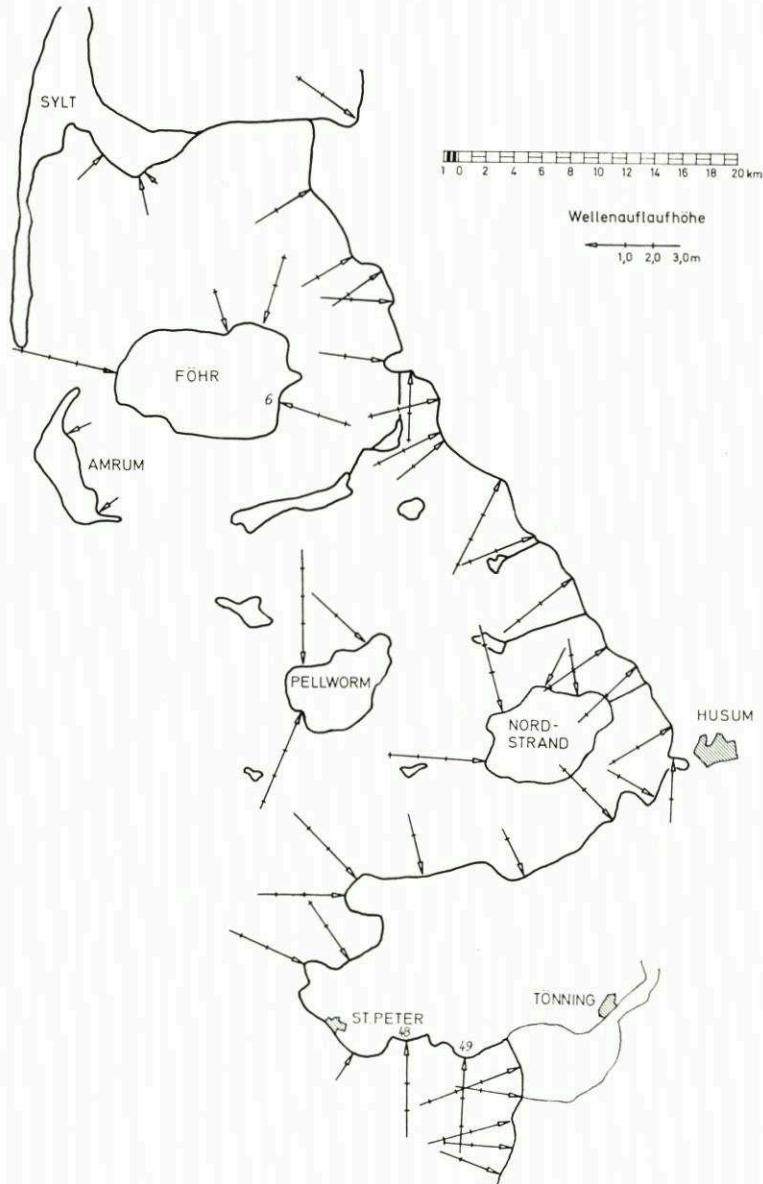


Abb. 8a. Wellenaufbau an den Seedeichen der schleswig-holsteinischen Westküste am 3. 1. 1976

ten. In Tab. 1 wird eine Auswahl von Meßdaten mitgeteilt und in Abb. 8 die Höhendifferenz zwischen Treibselkante und Ruhewasserstand je Meßpunkt dargestellt (ZITTSCHER, 1962; ERCHINGER, 1977). Es zeigt sich, daß große Wellenaufbauhöhen in Nordfriesland häufiger vorkommen als in anderen Gebieten, und zwar zum Teil *unabhängig* von der Richtung des Deiches zum Wind, wie der Punkt 6 auf Föhr und die Punkte 48 und 49 in Eiderstedt zeigen. Diese Erscheinung deutet auf die Beugung der Wellen im ufernahen Bereich hin. Vielerorts lag die Treibselkante an den noch nicht verstärkten

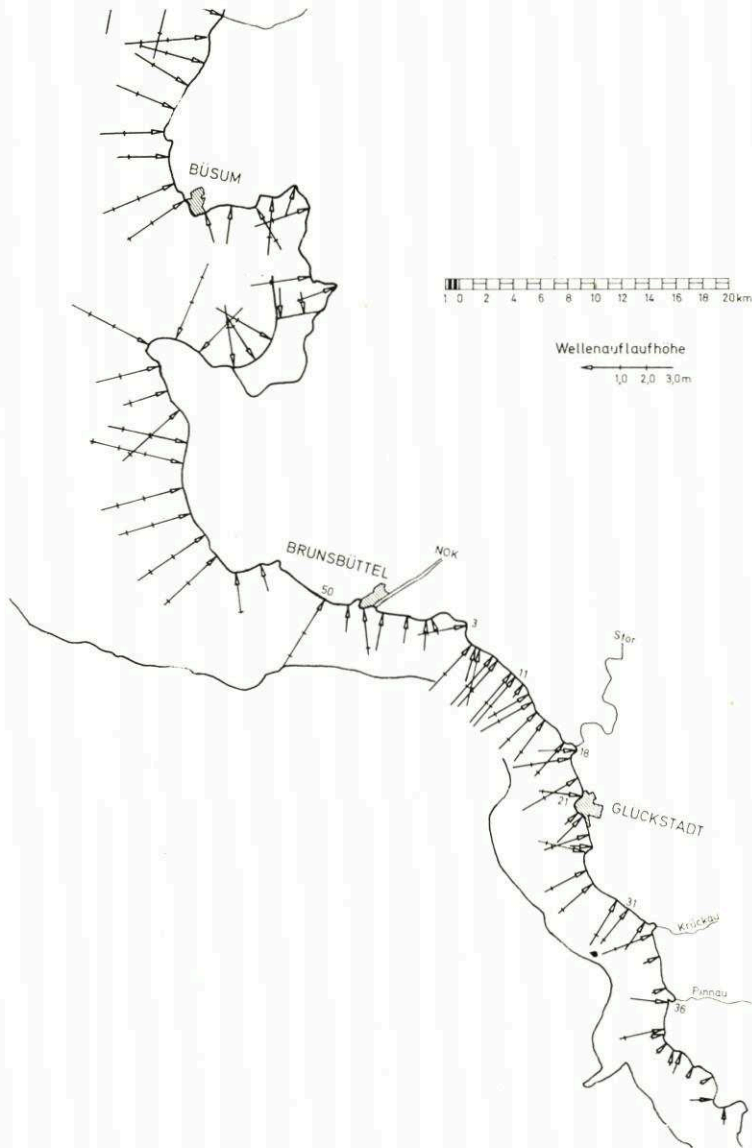


Abb. 8b. Wellenaufbau an den Seedeichen der schleswig-holsteinischen Westküste am 3. 1. 1976

Deichstrecken auf oder hinter der Deichkrone. Hierfür wurde als Wellenaufbauhöhe die Differenz zwischen der Deichhöhe +20 cm und dem Ruhewasserstand angenommen. Treibsel wird zwar leicht durch Wind verweht; vielerorts wurde aber ein Überlaufen der Wellen beobachtet, so daß diese Annahme als gerechtfertigt erscheint.

In der Elbe finden wir erwartungsgemäß die geringsten Wellenaufbauhöhen vor (CARSTENS, 1976; BRÖSSKAMP et al., 1976). Wie Bilder des Deichbruchs in der Haseldorfer Marsch zeigen, fehlte der Wellenaufbau stellenweise ganz. Eine umfassendere Aus-

Tabelle 1
Vergleich zwischen Wellenaufbauhöhe und Bestrickhöhe

Ort:	mitl. Vorlandbreite (m)	HHThw 3.1.76 (cm PN)	HHW maßg. (cm PN)	Diff. Sp. 4-5 (cm)	Bemesungswellen- auflauf (m)	geme- sene Treib- selhöhe (ALW) (cm PN)	Wellen- auflauf Sp. 8-4 (m)	HHThw + Sp. 9 + 0,5 m Sicherh. Zuschl. Wellen- auflauf- höhe (m NN)	Bestrick- höhe (m NN)	Bemerkungen:
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dieksanderkoog	1500	1028	1030	+ 2	2,70	1265	2,37	8,15	8,50	noch zu verstärken
Brunsbüttel	40	1042	1060	+ 18	1,90	1163	1,21	7,13	8,00	noch zu verstärken
St. Margarethen	600	1050	1080	+ 30	1,70	1185	1,35	7,35	8,00	noch zu verstärken
Brockdorf	10	1067	1100	+ 33	1,90	1270	2,03	8,20	8,40	noch zu verstärken
Siörsperwerk	-	1087	1100	+ 13	1,50	1180	0,93	7,30	8,00	—
Glückstadt	-	(1083)	1115	+ 32	1,35	1200	1,17	7,50	8,00	noch zu verstärken
Kollmar	30	1090	1115	+ 25	1,15	1210	1,20	7,60	8,00	—
Pinnau-Sperwerk	300	1110	1135	+ 25	1,15	1195	0,85	7,45	8,00	—
Schulau	20	1125	1140	+ 15	1,10	1168	0,43	7,18	8,00	—

Tabelle 2
Ostseewasserstände vom 3. 1. bis 8. 1. 1976

Pegel	MW 66/75 cm	3. 1.		4. 1.		5. 1.		6. 1.		8. 1.*		
		Uhr	NW cm	Uhr	HW cm	Uhr	NW cm	Uhr	NW cm	Uhr	HW cm	unter MW cm
Flensburg	497	20.05	388	8.00	648	17.25	392	13.30	629	3.30	409	88
Langballgau	499	19.25	399	7.40	648	16.40	405	12.55	626	2.50	414	85
Kalkgrund	500	19.30	415	7.30	652	19.05	422	13.30	626	2.30	424	76
Schleimünde	497	18.40	413	7.30	645	18.20	410	13.40	621	2.20	414	83
Eckernförde	497	18.55	415	8.00	649	18.35	409	13.35	623	2.30	413	84
LT Kiel	(496)	19.20	427	7.40	648	19.20	418	13.40	623	1.40	419	(77)
Srände	497	19.20	428	7.10	649	19.10	415	13.45	623	2.50	415	82
LT Friedrichsort	(497)	19.00	429	7.20	653	19.15	416	13.35	627	2.20	417	(80)
Kiel	498	19.20	426	7.20	652	19.10	416	13.00	628	2.55	418	80
Heiligenhafen	498	20.55	467	8.00	653	20.00	433	13.30	623	2.30	425	73
Marientleuchte	(498)	-	-	8.30	640	20.30	431	13.35	617	0.40	429	69
Neustadt	499	16.00	440	8.30	638	19.10	422	14.05	615	1.05	422	77
Travemünde	502	16.10	455	8.50	644	19.35	430	13.55	620			
Lübeck	502	17.00	427	9.50	642	21.00	427	13.30	622			

Bemerkungen:

() unsicherer Wert

* am 7. 1. trat kein bemerkenswertes Hoch- oder Niedrigwasser ein

wertung der Ergebnisse sollte die Randbedingungen (Vorlandhöhe, Deichprofil u. a.) einbeziehen.

2.2 Das Hochwasser in der Ostsee am 4. und 6. Januar 1976

Als Folge der orkanartigen Westwinde sank der Wasserstand in der westlichen Ostsee am 3. 1. ab 5.00 Uhr von PN +557 cm um 1,42 m auf PN +415 cm (Pegel LT Kalkgrund). Infolge der allmählichen Abschwächung der Westwinde und Drehung über NW auf N stieg der Wasserspiegel ab 19.00 Uhr wieder an und erreichte durch Zurückschwappen der in der südlichen Ostsee aufgestauten Wassermengen am 4. 1. gegen 8.00 Uhr einen Stand von MW +1,49 m (Mittel an 12 Pegeln). Das ist eine Wasserstandsschwankung von rd. 2,30 m in nur 10 Stunden! Tags darauf stellte sich bei SW-Wind Stärke 6 bis 7 erneut ein Niedrigwasserstand von MW -0,77 m ein (Pegel LT Kalkgrund). Nach erneuter Windberuhigung wiederholten sich am 6. 1. die Vorgänge vom 4. 1. Als Mittel von 12 Pegelaufzeichnungen errechnet sich ein Wasserstand von MW +1,25 m. Am 8. 1. frühmorgens folgte infolge der Eigenschwingung der Ostsee noch ein Niedrigwasser von NW -0,76 m am Pegel LT Kalkgrund; ab 8. 1. abends stellte sich wieder ein normaler Wasserstand ein. Diese Entwicklung wird in Abb. 3 durch die Wasserstandsganglinie deutlich. Zum Vergleich sind die Ganglinien des Pegels Büsum vom 3. 1., 21. 1. 1976 und 16. 2. 1962 ebenfalls aufgetragen.

Die Wasserstände von 14 Pegeln sind in Tab. 2 zusammengestellt. Auffällig sind die geringen Unterschiede in Zeit und Höhe.

Die Entwicklung der Wasserstände vom 3. bis 8. 1. 1976 zeigt, wie leicht Eigenschwingungseffekte, verstärkt durch entsprechende Windentwicklung, das Wasser in der Beltsee auf überraschend hohe Werte treiben können. Allerdings wären Wasserstände wie 1872 wohl auch bei einer weiteren Ostdrehung des Windes am 3./4. 1. nicht denkbar gewesen. Die damalige Wetterkonstellation zeichnete sich durch andere großräumige Einflüsse aus (KIEKSEE, 1972).

2.3 Die Sturmflutserie vom 20. bis 22. 1. 1976 an der Westküste

Nur knapp drei Wochen nach der Flut vom 3. 1. ereigneten sich in der Zeit vom 20. bis 22. 1. 1976 weitere drei schwere und eine sehr schwere Sturmflut. Letztere trat am 21. 1. mit Wasserständen ein, die nur knapp unter denen von 1962 lagen (s. Abb. 3).

Ähnlich wie 1962 haben sich die Wassermassen infolge langanhaltender Sturmwinde aus West bis Nordwest allmählich aufgestaut. Gegen Ende der Periode verharrte das Tief, ohne sich dabei abzuschwächen, ungewöhnlich lange über Mittelskandinavien, so daß - anders als 1962 - am 22. 1. 1976 noch eine relativ hohe Flut nachfolgen konnte. Dies verdeutlicht insbesondere Abb. 6, in der die Spitzenwasserstände gradlinig verbunden sind: Auf dem abfallenden Ast wird noch ein „Höcker“ sichtbar.

Aus Abb. 9 kann entnommen werden, daß der Füllungsgrad gegenüber 1962 spürbar geringer war. Der Schwerpunkt der Wassermassen lag diesmal in den Buchten östlich von Sylt. Das nordfriesische Wattenmeer war relativ stärker gefüllt als die Deutsche Bucht. Schwächer gefüllt waren dagegen die Meldorfer und Husumer Bucht. Hier machten sich die gegenüber 1962 merklich niedrigere Winddauer und -stärke bemerkbar.

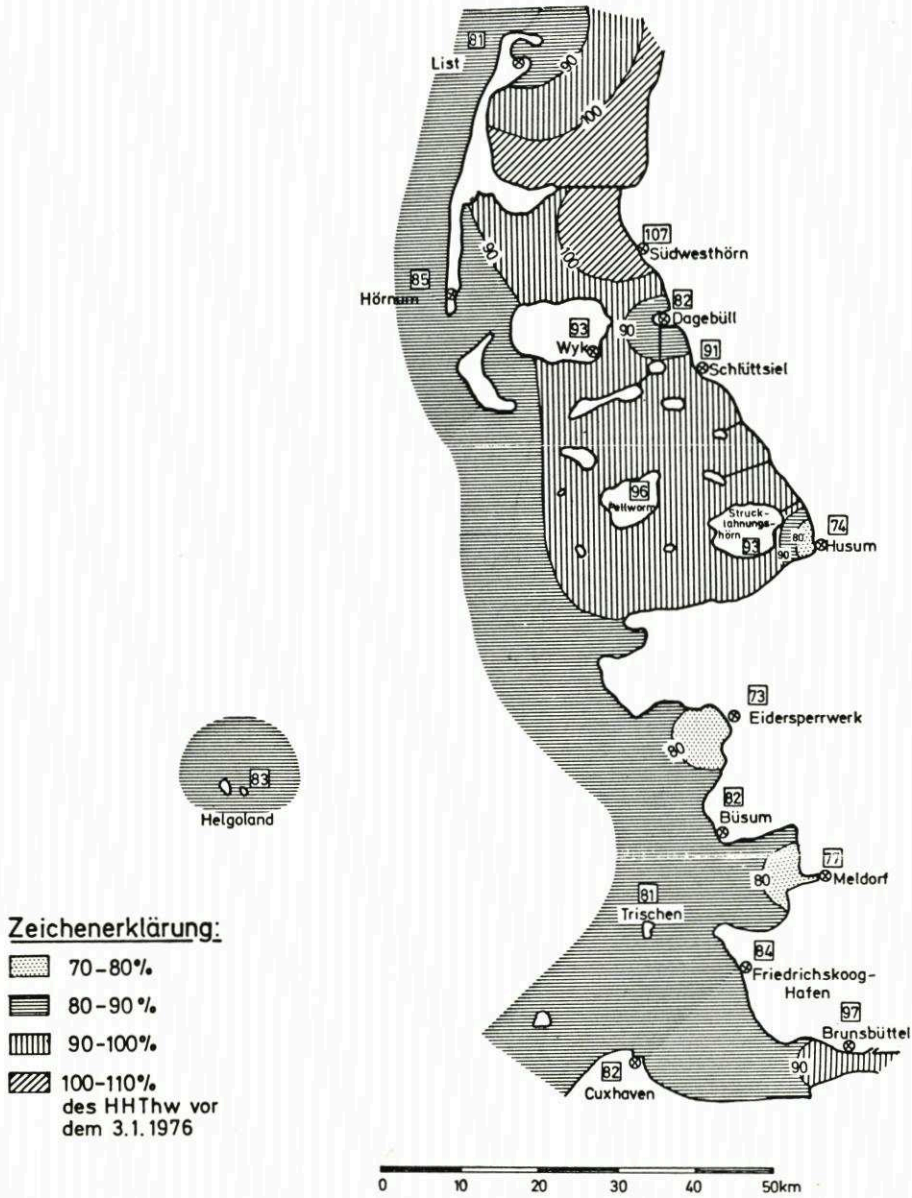


Abb. 9. Füllungsgrad der Deutschen Bucht vor der schleswig-holsteinischen Westküste am 21. 1. 1976

Abb. 7 verdeutlicht, daß die Ereignisse vom 20. bis 22. 1. nur unwesentlich schwächer waren als die Sturmflut vom 16. 2. 1962; denn die Dauerlinie folgt der vom 16. 2. 1962 in einem durchschnittlichen Abstand von nur zwei Stunden! Interessant ist es, daß dieser Flutperiode bei weitem nicht der Stellenwert beigemessen wird, der ihr eigentlich zukäme. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, daß das Ausmaß der Zerstörungen – gemessen an der Flut vom 3. 1. 1976 – merklich geringer war!

2.4 Folgerungen

Aus den Erfahrungen, die in gewässerkundlicher Hinsicht im Zusammenhang mit den Sturmfluten vom Januar 1976 gesammelt wurden, können nachstehende Folgerungen gezogen werden:

P e g e l: Um die Auswirkungen von Sturmfluten hinsichtlich der Wasserstandsverteilung besser beurteilen zu können, muß mehr Wert als bisher darauf gelegt werden, die Wasserstandsentwicklung so zu erfassen, daß eine räumliche Darstellung hinreichend genau vorgenommen werden kann. Damit können für die von Pegeln weiter entfernt liegenden Gebiete genauere Wasserstände angegeben werden, die zur Beurteilung der Transportvorgänge der Wassermasse, des Wellenklimas, der Brandungsströmung u. a. als wichtige Vorgänge für den „flächenhaften Küstenschutz“ führen. Über die Sturmfluten nach 1962 sind für die Deichbemessung ausreichend Daten vorhanden, so daß an dem bestehenden Bestick weitere Messungen kaum etwas ändern würden.

Im nordfriesischen Wattenmeer und im Eidermündungsgebiet sollte angestrebt werden, das Netz der Dauerpegel durch je einen Schreibpegel am Hindenburgdamm-Nord, am Hindenburgdamm-Süd, im Zusammenfluß von Süder- und Norderhever und in der Außeneider zu verdichten. Es soll zukünftig versucht werden, die dänischen Pegel Havneby und Højer in die Sturmflutanalyse regelmäßig mit einzubeziehen. Bei der Standortwahl sollte nicht nur die Küste berücksichtigt, sondern auch angestrebt werden, an geeigneten Stellen im offenen Watt Dauerpegel zu errichten. Darüber hinaus werden Tassenpegel weiterhin das Schreibpegelnetz ergänzen.

W e l l e n - u n d W e l l e n a u f l a u f m e s s u n g e n müssen durchgeführt werden, um die Beziehung untereinander und die Beanspruchungsgrößen für die Bemessung von Küstenschutzbauwerken ermitteln zu können. Die dazu bisher vorwiegend durchgeführten Treibselmessungen haben ergeben, daß sie kaum einen Beitrag zur Klärung dieses Komplexes liefern können, da die Treibselkante ein nicht analysierbares Zusammenwirken aus höchstem Wellenauflauf und Winddrift darstellt und über das für die Beanspruchung des Bauwerks wichtige Wellenklima nichts aussagen kann. Es wird daher empfohlen, Wellenauflaufmeßgeräte zu installieren und so zu betreiben, daß auch Beanspruchungsgrößen bei niedrigen Wasserständen ermittelt werden können (ERCHINGER, 1977).

Um darüber hinaus den Einfluß des Brandungsstaues (HANSEN, 1976/77) und des örtlichen Windstaues erfassen zu können, sollten weit hinausreichende Meßprofile angelegt werden, die mit Pegeln, Wellen- und Wellenauflaufmeßgeräten und Windmeßgeräten ausgestattet sind. So wird man für zukünftige Planungen von Küstenschutzmaßnahmen zu besseren Aussagen über die Einflüsse der örtlichen Parameter gelangen und Vergleiche herstellen können. Angebunden an die vom KFKI geplanten Meßstationen im Bereich der SKN-10-m-Linie wären dann die Vorgänge unmittelbar an der Küste, über dem Flachwasserbereich (Watten) und im Übergang zum Tiefwasserbereich erfaßbar.

3 Sturmflutschäden und ihre Ursachen

3.1 Allgemeines

Unter Berücksichtigung der bis dahin fertiggestellten Deichverkürzungen waren Ende 1975 an der Westküste Schleswig-Holsteins 381 km Landesschutzdeiche vorhanden.

Davon sind 7 km so schwer beschädigt worden, daß sie sofort verstärkt werden

mußten. Darin sind die beiden Deichbruchstrecken vor dem Christianskoog und der Haseldorfer Marsch (JANSEN, 1976) mit zusammen 1 km Länge enthalten. Weitere 9 km der Landesschutzdeiche haben schwere Schäden davongetragen und müssen in den nächsten Jahren vordringlich verstärkt werden. 23 km Deiche weisen mittlere und kleinere Schäden auf. Hier hinein gehören auch die zahlreichen Schäden an Deichfußdeckwerken (CARSTENS, 1976). Insgesamt sind also 39 km Landesschutzdeiche beschädigt worden; das sind rd. 20 % der noch nicht verstärkten Deiche an der Westküste und im Elbegebiet.

Bemerkenswert ist, daß die Bodenausschläge an den Außenböschungen der beschädigten Deiche je Schadensstelle i.M. geringer waren als 1962. Das ist dadurch begründet, daß diese bisher nicht verstärkten Deiche eine relativ höhere Wehrkraft besitzen als jene wesentlich weniger wehrfähigen Deiche, die 1962 schwer angeschlagen waren und deshalb bevorzugt verstärkt worden sind. Weitere Gründe sind – zumindest für die Deiche mit tonreichen Böden – die Trockenheit im Sommer und Herbst 1975 und das Ausbleiben einer die Deiche aufweichenden hohen Vortide (s. 2.1).

Hervorzuheben sind außerdem die Dünenabbrüche von 3 bis 10 m und vereinzelt auch bis zu 20 m an der Westküste von Sylt und die Schäden auf den Halligen, die außer an den Warfen vor allem an den Gebäuden entstanden sind.

Im ganzen ist festzustellen, daß die Schäden an den Küstenschutzanlagen im Januar 1976 geringer waren als 1962, als rd. 270 km Deiche beschädigt wurden. Die Gründe sind:

- der fortgeschrittene Stand der Deichverstärkungen und -verkürzungen,
- die trotz der extremen Scheitelwasserstände relativ kurze Sturmflutdauer,
- die Trockenheit im Sommer und Herbst 1975, zumindest für den größten Teil der Deiche.

3.2 Art und Ursachen der Schäden

Die nachfolgende Darstellung orientiert sich nach örtlichen Gegebenheiten, um einen der Faktoren, nämlich die Sturm- und Wellenangriffsrichtung, begleitend als Maßstab anzulegen. Es wird für den technisch interessierten Leser aber wichtig sein, auch einen Überblick darüber zu gewinnen, wie sich die einzelnen Anlagen bewährt haben. Dabei mag es auch wissenswert sein, wie die Kliff- und Dünenküsten reagiert haben. Es sind deshalb dort am Rand des Textes folgende Hinweise angeführt:

A	Außenböschungsschäden
I	Innenböschungsschäden
W	Deckwerksschäden
B	Deichbrüche
E	Schäden durch Einbauten
T	Schäden durch Treibgut
K	Kliffabbrüche
D	Dünenabbrüche
S	Stranderosion

3.2.1 Nordfriesisches Festland

Der Schwerpunkt der eingetretenen Schäden lag in den nach NW offenen Buchten, weil der Wind im nördlichen Bereich der Küste vor Erreichen des höchsten Wasserstandes auf nordwestliche Richtung drehte, hier also besonders lang andauernde und starke Beanspruchungen auftraten. Das gilt um so mehr, je nördlicher die Bucht liegt, in Schleswig-Holstein also besonders für die Bucht nördlich des Friedrich-Wilhelm-Lübke-Kooges (Abb. 1), wo 1962 keine Schäden zu verzeichnen waren. Am Hindenburgdamm und an den Landesschutzdeichen sind zahlreiche bis zu 3 m tiefe Ausschläge durch Wellenbeanspruchung im oberen, zu steilen Böschungsbereich entstanden.

Auf dem Hindenburgdamm, der im Bereich des Friedrich-Wilhelm-Lübke-Kooges die Funktion eines Landesschutzdeiches hat, mußte der Bundesbahnverkehr wegen teilweiser Unterspülung des Gleiskörpers vorübergehend eingestellt werden.

Die Deiche in der Nordstrander Bucht (Abb. 1), vor der Hattstedter Marsch und im Nordosten der Insel Nordstrand sind infolge überschwappender Wellen an ihren Innenböschungen sehr schwer beschädigt worden und waren stellenweise dem Bruch nahe. Diese Deiche bleiben wegen der geplanten Vordeichung in der Nordstrander Bucht unverstärkt. Nördlich des Nordstrander Dammes ist der Boden auf mehreren 100 m der Innenböschungen erodiert worden. Stellenweise war die Hälfte der Deichkrone abgetragen. Bemerkenswert ist, daß im gleichen Bereich kaum Schäden an den Außenböschungen zu verzeichnen waren.

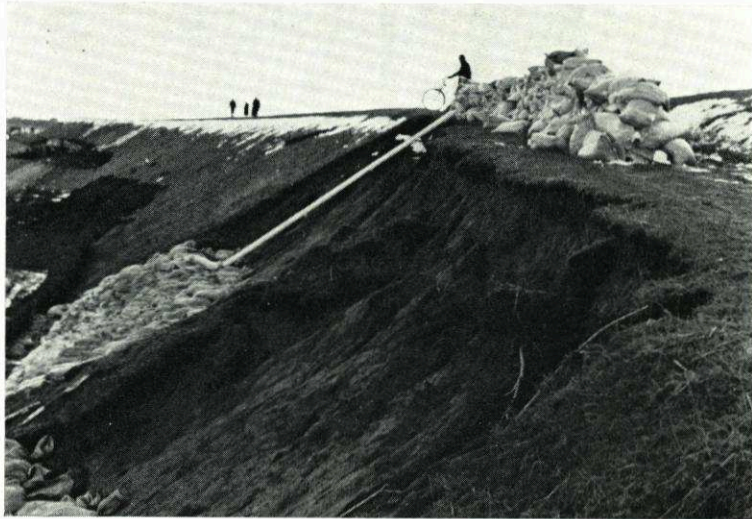


Abb. 10. Innendeichrutschung am Porrenkoogdeich

Beim Porrenkoog (Abb. 10) vor Husum ist 1962 lediglich eine erste Baustufe der Deichverstärkung ausgeführt worden. Die Erhöhung der Deichkrone und die Abflachung der Binnenböschung sind damals wegen dringenderer Maßnahmen zurückgestellt worden. Auch hier sind durch überschwappende Wellen erhebliche Binnendeichrutschungen entstanden, die z. T. mit Ausschlägen an der oberen Außenböschung verbunden waren.

Nördlich von St. Peter-Ording, vor der Westküste von Westerhever (Abb. 1), ist

der Deich wegen seiner niedrigen Kronenhöhe z. Z. des höchsten Wasserstandes von fast allen Wellen überschwappt und dadurch an seiner Innenböschung schwer beschädigt worden. Mit Rücksicht auf die gute Qualität des Deichbodens war die Verstärkung bisher zurückgestellt worden. 1975 ist der 1. Verstärkungsabschnitt, 2,4 km westlich des Norderheverkooges, in Angriff genommen worden. Im nordwestlichen Deichabschnitt war außerdem ein bis zu 3 m tiefer Bodenausschlag von 160 m Länge zu verzeichnen.

Der Deich vor Süderhöft, südlich von St. Peter-Ording, wies ebenfalls schwere Schäden an der Innenböschung auf, die teils auf überschwappende Wellen, wegen des sandig-lehmigen Deichbodens aber auch auf Durchsickerung zurückzuführen sind.

Vor dem Grothusenkoog, an der Südküste Eiderstedts, ist der Deich wegen seiner zu geringen Höhe von kleineren Wellen überschwappt worden. Dabei sind etwa 5000 m² einer rd. 50 cm dicken Bodenschicht, die bei einer früheren Deichverstärkung auf die Innenböschung aufgebracht worden ist, abgerutscht. Insbesondere die unterschiedlichen Bodenarten des alten und des aufgetragenen Bodens und ihre mangelhafte Verzahnung haben die Entstehung der Gleitfugen gefördert.

3.2.2 Nordstrand, Pellworm und Halligen

Auf den Halligen und Inseln sind die bisherigen Höchstwasserstände am 3. 1. 1976 zwar überschritten worden, i.M. jedoch weniger als an der Festlandsküste, so daß sich



Abb. 11. Beschädigung des Betonsteindeckwerkes im Norden der Insel Nordstrand

die Schäden in Grenzen gehalten haben. Ausgenommen ist die Nordküste von Nordstrand, wo besonders der zu niedrige Deich vor dem Elisabeth-Sophien-Koog durch überschwappende Wellen erhebliche Schäden davontrug.

Schwere Schäden entstanden außerdem am Deckwerk westlich und östlich von Norderhafen (Abb. 11). Der konvexe Deich liegt schar am niedrigen, im Abtrag befindlichen Watt, so daß die Druckschlagbeanspruchung der Wellen besonders groß war und

den zu leichten bis NN +6,00 m reichenden Teil des Deckwerks, der aus Betonformsteinen bestand, fast völlig zerstörte. Unterhalb des Deckwerks sind dabei bis zu 2 m tiefe, bis nahe an den Sandkern heranreichende Ausspülungen entstanden.

Auf Pellworm sind verhältnismäßig wenig Deichschäden entstanden, obwohl die Wellen die Deiche stellenweise überschwappt haben. An der Nordküste sind die Deiche größtenteils verstärkt worden, während an der Nordwest- und Westküste der gute Deichboden Schlimmes verhindert hat.

A Die Küstenschutzanlagen der Halligen sind mit relativ geringen Schäden davongekommen. Die seit 1962 durchgeführten Warfabflachungen und Verbesserungen an den Steindeckwerken haben sich gut bewährt. An den noch nicht abgeflachten Warfen hat es großflächige Sodenabträge, bis zu 1 m tiefe Bodenausschläge und vor allem Ausspülungen im Bereich abgestellter Geräte und kleiner, oft unsachgemäß ausgeführter baulicher Anlagen gegeben. Das Privateigentum an den Warfen und die daher nicht geregelte Aufsicht über die ordnungsgemäße Warfunterhaltung machen sich hier nachteilig bemerkbar.

Während die seit 1962 gebauten Schutzräume sich als sehr wertvoll erwiesen haben, sind im Innern vieler Gebäude, besonders auf Oland, Gröde und Nordstrandischmoor, erhebliche Wasserschäden entstanden.

3.2.3 Sylt, Amrum, Föhr

D Fast an der gesamten Westküste von Sylt sind erhebliche Abbrüche von den Vor- und Randdünen zu verzeichnen. Die Schwerpunkte liegen vor der Lister Strandhalle mit 15 m, am Süden des Tetrapodenlängswerks Westerland mit 8 bis 10 m, am Parkplatz Hörnum, wo ein Dünenbruch eintrat, sowie nördlich und südlich des Tetrapodenlängswerks Hörnum infolge der Lee-Erosion sogar mit je 20 m Abbruchtiefe. Vom Roten Kliff vor Wenningstedt und Kampen sind i.M. 3 bis 7 m abgebrochen.

Der 1972 anlässlich eines Großversuchs vor Westerland aufgespülte Sand ist innerhalb von 3^{1/2} Jahren nach Norden und Süden verdriftet worden (FÜHRBÖTER et al., 1976). Nicht nur vor der Ufermauer von Westerland, sondern auch in den Bereichen, in die der Spülsand verdriftet ist, haben die im Strand und Vorstrand verbliebenen Sandmassen wegen ihrer wellenenergiezehrenden Funktion nachweislich größere Materialverluste an den Abbruchbereichen verhindert. Im ganzen ist festzustellen, daß sich die Sandaufspülung – gemessen an den schweren Beanspruchungen infolge der Sturmflutkette im Herbst 1973 und im Januar 1976 – sehr vorteilhaft ausgewirkt hat. Die Schäden an der Strandmauer Westerland und an den dortigen Kuranlagen waren wesentlich geringer als z. B. bei der Sturmflut am 23. 2. 1967.

D Auf Amrum sind neben zu erwartenden Dünenabbrüchen, vor allem im Norden, der überraschend große Strandabtrag vor der Ufermauer Wittdün zu nennen; sie hatte während der Sturmflutspitze eine Lee-Position. Die große Masse des erodierten Sandes läßt darauf schließen, daß in diesem Bereich große Strömungsgeschwindigkeiten aufgetreten sind: Die Fußspundwand der Ufermauer ist bis zu 1 m freigelegt, und am Westende der Mauer sind die Dünen bis zu 30 m landeinwärts abgetragen worden.

S Die Landesschutzdeiche auf Föhr haben kaum Schäden erlitten, obwohl sie die gesamte Nordflanke – also gegen Luv gewandt – abdecken. Die Ursache mag in folgendem zu sehen sein: Zum einen sind diese Landesschutzdeiche nach 1962 bereits erhöht und teilweise verstärkt worden, zum anderen befindet sich vor den nach Norden exponiert

liegenden Strecken Vorland. Schließlich ist zu berücksichtigen, daß bei nördlichen Winden die Windwirkstrecke begrenzt ist. Dies mag, zusammen mit der durch das hohe Watt (Liin-Sand) bedingten geringen Wassertiefe zwischen Sylt und Föhr, dazu beigetragen haben, daß die Wellen nicht ausreifen konnten.

Im Bereich der sandigen Küste waren mittelschwere Schäden zu verzeichnen: Die Ufermauer Wyk ist stellenweise freigespült, und vom Goting-Kliff sind i.M. 4 m abgetragen worden. Die 1975 auf NN +2,5 m aufgespülte Sandbarre hat deutlich verhindert, daß es zu stärkeren Abbrüchen kam. Am Übergang des Steilufers in das Uferdeckwerk vor Utersum ist es zu starkem Abbruch durch Lee-Erosion gekommen. Am Süden des Landesschutzdeiches im Westen der Insel, vor Utersum, ist ein zu schwaches Uferdeckwerk beschädigt worden (ZITSCHER, 1964).

S

3.2.4 Dithmarschen

In Dithmarschen ist der schwerste Schaden mit dem Bruch des Deiches vor dem Christianskoog (Abb. 12) eingetreten. Der genau in Nord-Süd-Richtung verlaufende Deich war durch die im Bau befindliche Vordeichung in der Meldorfer Bucht noch nicht

B

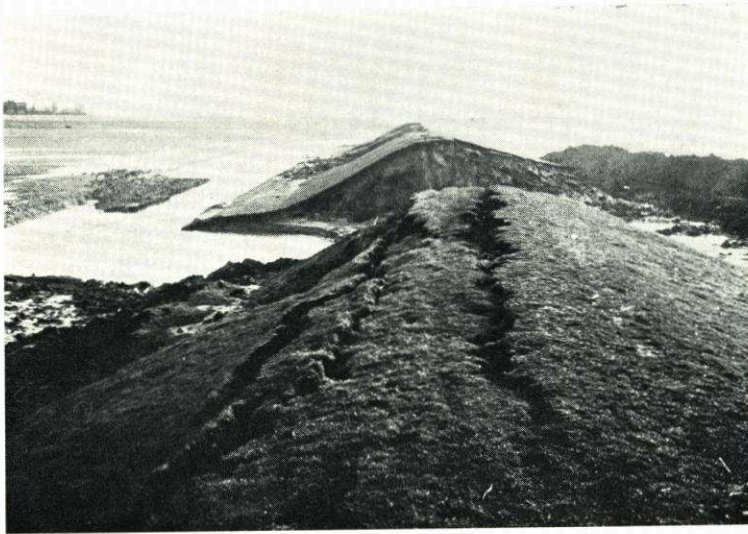


Abb. 12. Deichbruch Christianskoog

geschützt. Er hat eine zu geringe Kronenhöhe, so daß z. Z. des Höchstwasserstandes fast alle Wellen bis zu mehreren dm hoch über den Deich schwappten (Abb. 13). Die steile Innenböschung und der magere Deichboden führten zur Erosion der Binnenböschung und danach zum Bruch des Deiches. Der Zeitpunkt hierfür ist nach Eintritt des Scheitelwasserstandes zu vermuten, denn die ins Hinterland eingedrungene Wassermasse erreichte nur eine geringe Überflutungshöhe.

Von der 720 ha großen Fläche des Kooges wurden 20 ha, die eine höhere Lage haben, nicht überflutet. Der Deich weist erwartungsgemäß auch im übrigen ausgeprägte Kronenbrüche auf, jedoch nicht so schwer wie 1962! Letzteres hat seine Ursache darin,

A

daß die Benetzungsdauer wegen Fehlens einer erhöhten Vortide und wegen der geringen Dauer der Haupttide wesentlich geringer war (vgl. 2.1).

A
I
W

Zwischen Neufeld und Brunsbüttel sind z. T. erhebliche Bodenausschläge an den Außenböschungen und z. T. Böschungs-Erosionen am Innendeich aufgetreten. Ursache waren die steilen Böschungen und die durch die Sommertrockenheit geschädigte Grasnarbe. Außerdem sind umfangreiche Schäden an den Deichfußdeckwerken in Büsum aufgetreten. Die verwendeten Steine erwiesen sich als zu leicht und wegen ihrer halbrunden Form für ein unvergossenes Setzsteindeckwerk als ungeeignet. Mit Asphalt vergossene Teile des sonst gleichen Deckwerks hielten sich gut (ZITSCHER, 1957).

Eng versetzte, 30 cm hohe Basaltsäulen sind an der Wurzel der Hafencmole Büsum

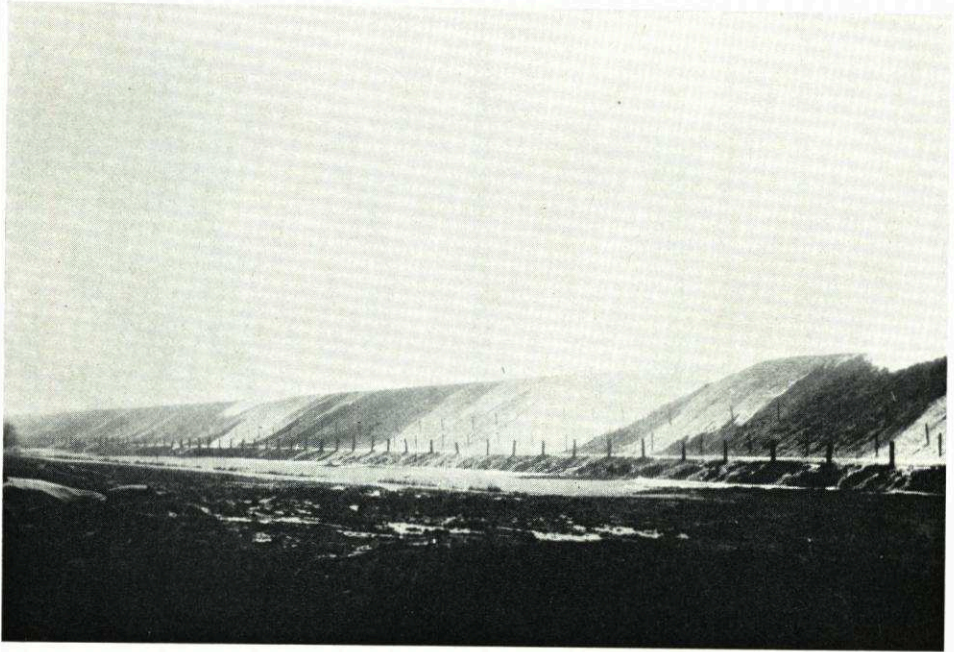


Abb. 13. Überschwappende Wellen im Christianskoog

durch den aus dem Druckschlag resultierenden Wasserdruck unter den Deckwerkssteinen aus ihrem Verband gepreßt worden!

W
A

Ursache für die Zerstörung der Steindecke unter der Fährbrücke Hermannshof bei Brunsbüttel waren das zu geringe Gewicht der 10 cm dicken Betonverbundsteine und die fehlende Verbindung mit der darunter angeordneten Bitumenkiesschicht. Bei dem nach NW buchtörmig geöffneten Deichabschnitt vor Friedrichskoog Nord lag Treibsel dicht unter der auf NN +8,80 m liegenden Deichkrone. Es sind an der oberen Außenböschung kleinere Bodenausschläge entstanden, die sowohl auf die nach Maßgabe der bereits vorliegenden Planung abzuflachenden Böschungsneigung von 1:4 als auch auf den sandigen Deichboden zurückzuführen sind.

A

Der noch verstärkte und daher noch mit dem alten, steilen Außenprofil versehene Deich des Dieksanderkooges hat wegen des besonders mageren Deichbodens und wegen der durch Trockenheit beeinträchtigten Grasnarbe z. T. Bodenausschläge von 10 m³ und mehr in der Außenböschung erlitten.

3.2.5 Elbmarsch

Außer in den nach NW geöffneten Buchten der Westküste sind in der Elbe die größten Wasserstandsüberschreitungen gegenüber 1962 gemessen worden (s. Abschn. 2.1). Die Schäden an den noch nicht verstärkten Elbdeichen waren daher auch entsprechend groß.

Im Bereich der Wilstermarsch entstand der größte Schaden in der St. Margarether Bucht. Der mit alten Häusern besetzte Deich, die z. T. in den Außenböschungsbereich hineinragen, ist im übrigen viel zu steil, so daß trotz des über 1 km breiten Vorlandes große Bodenausschläge bis hin zur Krone entstanden und die Häuser z. T. schwer

E
A

Abb. 14. Anhäufung von grobem Treibgut während der Sturmflut am 3. 1. 1976

beschädigt worden sind. Großformatiges Treibgut ist hier in die Schadensursachen mit einzubeziehen! Eine Erfahrung ist besonders zu erwähnen: An der durch die Bebauung bedingten befestigten Innendeichböschung haben es die z. T. über den Deich schlagenden Wellen nicht vermocht, dort Schäden anzurichten.

T
E

Umfangreiche Schäden an den z. T. im Privateigentum befindlichen Elbdeichen sind außerdem im Bereich der vielen Außentreppen entstanden. Außerdem waren bei Deckwerken aus Ostseefindlingen, die nicht genügend gegeneinander verkeilt waren und bei nicht ausreichender Höhe keine obere Abschlußplatte hatten, Schäden zu verzeichnen (ZITSCHER, 1964).

An verschiedenen Stellen sind die Elbdeiche in dem für sie charakteristischen Böschungsknick zwischen Außenberme und Außenböschung, der bei alten Deichen auf etwa NN + 3,50 bis + 4,00 m liegt, beschädigt worden (CARSTENS, 1976).

Zwischen dem Störsperrwerk und Glückstadt sind rd. 650 m² Deichfußdeckwerk zerstört worden. Das Deckwerk besteht aus 15 cm dicken Betonformsteinen mit Vertikal-

W

und Horizontalverbund. Seine Neigung beträgt 1:3 und geht oberhalb NN +3,50 in 1:10 über. Die Zerstörungen sind durch den Druckschlag der Wellen verursacht worden. In den Steinfugen entsteht dabei eine extreme Strömungsgeschwindigkeit, deren Richtung auf dem wassergesättigten Schotterunterbau umgekehrt wird, so daß die Steine von unten ruckartig angehoben werden (FÜHRBÖTER, 1966). Die Zerstörung begann im Bereich der Diskontinuität der Böschungsneigung, wo der Verbund aus Konstruktionsgründen am geringsten ist. Der vorgefundene Befund nach der Beanspruchung läßt vermuten, daß die Steindecke unter der Welleneinwirkung vibrierte, so daß der Schotterunterbau dadurch z. T. abgerutscht ist. Dies führte zu Hohlräumen unter der Decke, die das Herauspressen einzelner Steine begünstigt haben (Abb. 15).

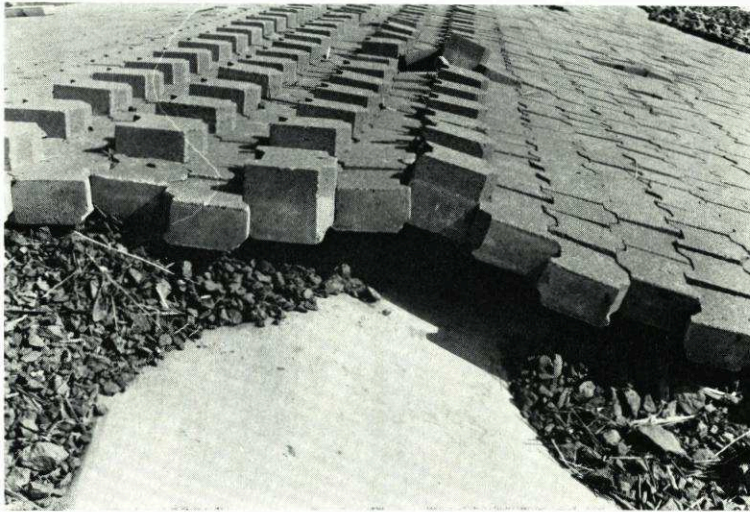


Abb. 15. Schäden am Betonsteindeckwerk nördlich von Glückstadt

T Im Außenhafen von Glückstadt ist der Deich über den Rhinschleusen insbesondere durch grobes Treibgut sehr stark angeschlagen worden. Dieser Deich ist wegen seiner schmalen Basis steil und muß daher auf seiner gesamten Außenböschung eine schwere Befestigung erhalten.

A Vor der Kremper Marsch sind teilweise auf langen Strecken umfangreiche Bodenausschläge an der Außenböschung entstanden. Eine zu schwache Grasnarbe infolge ständigen Mähens der stark parzellierten privateigenen Deiche zeigte, daß im Bereich steiler Außenböschungen besondere Obacht angezeigt ist.

B Der schwerste Schaden im Elbebereich war der Bruch des Deiches vor der Haseldorfer Marsch (Abb. 16). Die Deichkrone lag im betroffenen Bereich auf NN +6,10 bis 6,20 m und damit 2 bis 12 cm unter dem Scheitelwasserstand. Der völlig in Lee liegende, von NO nach SW verlaufende, rd. 1 km lange Deichabschnitt zwischen Holm und Hetlingen ist auf 6 Einzelstrecken mit zusammen 480 m Länge durch überströmendes Wasser von innen her zerstört worden. Der Augenblick des Bruches vollzog sich daher, als der Scheitelwasserstand erreicht war. Die binnendeichs entstandenen Kolke sind 1,5 bis 2,5 m tief und in Fließrichtung bis zu 20 m breit. Die Gesamtlänge der Breschen sowie der relativ frühe Bruch des Deiches bewirkten, daß sich eine gewaltige Wassermasse ins Binnenland ergoß. 3500 ha der Haseldorfer Marsch mit Ortsteilen von Hetlingen,

Haseldorf und Haselau sind überflutet worden. Zwischen Hetlingen und Haseldorf ist der Deich ebenfalls überströmt worden, jedoch wegen des durch den Deichbruch bei Holm inzwischen abgesunkenen Wasserspiegels nur so kurzfristig, daß es zwar zu umfangreichen Rutschungen der Innendeichböschungen kam, nicht aber zum Bruch.

Am Haseldorfer Park ist der Deich an der Außenböschung durch grobes Treibgut und wegen seiner schlechten Grasnarbe infolge Beschattung durch Bäume bis in die Deichkrone hinein stark beschädigt worden.

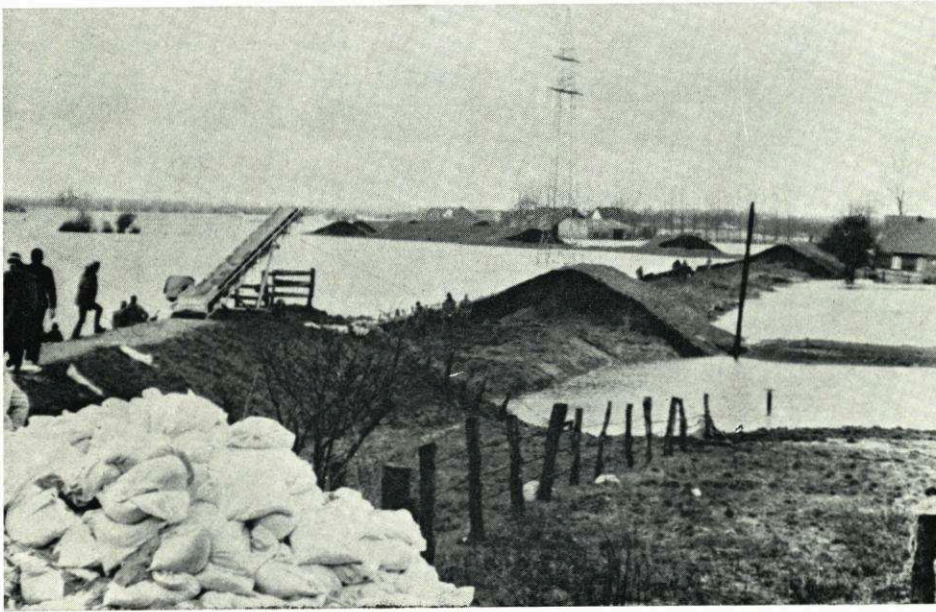


Abb. 16. Deichbruch Haseldorfer Marsch während der Sicherungsarbeiten

3.2.6 Sturmflutschäden am 21. 1. 1976 und ihre Ursachen

Die Scheitelwasserstände am 21. 1. 1976 blieben in Nordfriesland mit Ausnahme von Hörnum (+7 cm) nur wenig, in Dithmarschen und an der Elbe aber wesentlich unter denen vom 3. 1. 1976.

Die Schäden sind größtenteils durch Zerstörung der Notsicherungen vom 3. 1. 1976 und durch die stärkere Durchfeuchtung des Deichbodens entstanden. Nur selten können Erfahrungen darüber gesammelt werden, in welchem Maße sich vorübergehende Sicherungen von Deichschäden bei erneuter Beanspruchung des Deiches bewähren. Die gewonnenen Erfahrungen bestätigen, daß die erprobten Methoden richtig sind.

Man muß sich aber darüber im klaren sein, daß solche Maßnahmen ein Weitergreifen der Schäden nur zeitlich verzögern können. Nur in wenigen Fällen erhält der Deich durch Notmaßnahmen seine ursprüngliche Wehrhaftigkeit!

Auf Sylt sind am nördlichen Kliffende, nördlich von Kampen und vor dem Zeltplatz Hörnum die Randdünen durchbrochen bzw. weitgehend abgetragen worden.

Die Sandaufspülung vor Nieblum/Föhr hat sich bei den Fluten sehr gut bewährt. Ein Vergleich mit der Wirkung während der Sturmflut vom 3. 1. 1976 (s. Abschn.

3.2.3) läßt erkennen, daß die zerstörende Kraft der an der Küste brechenden Wellen – wie erwartet – um so mehr gemildert wird, je mehr die künstliche Barre im Vorfeld in Abhängigkeit von Wellenhöhe und Wassertiefe ein frühzeitiges Branden herbeiführt.

S Am Südwestende des Landesschutzdeiches vor Utersum/Föhr sowie am Westende der Ufermauer Wittdün/Amrum haben sich die Uferabbrüche infolge Lee-Erosion verstärkt.

Beim beschädigten Deckwerk Norderhafen/Nordstrand, in Westerhever und an verschiedenen Stellen der Elbdeiche sind die nach dem 3. 1. 1976 an den Schadensstellen eingebauten Notsicherungen teilweise zerstört worden. Die Bodenerosionen sind dadurch geringfügig größer geworden. Die Gefahr von Deichbrüchen bestand jedoch nirgends.

A Am neuen Deich vor Nordgroven sind größere Auswaschungen an der Kleidecke entstanden, die noch nicht besodet bzw. begrünt war.

3.3 Bew ä h r u n g d e r b i s h e r i g e n M a ß n a h m e n

An allen seit 1962 fertig verstärkten Deichen sind keine nennenswerten Schäden eingetreten. Die seitdem gebauten Deichprofile mit Außenböschungen von 1:6, flachen Innenböschungen von 1:3 und mit bestickgerechten Kronenhöhen haben sich ausnahmslos gut bewährt.

Einige Deiche, die im Sommer 1962 mit Neigungen der oberen Außenböschungen von 1:4 verstärkt worden sind, haben – soweit sie frontal zur Hauptsturmrichtung liegen – nur geringe Schäden erlitten (s. Abschn. 3.2.3).

Die Abdämmungen der vier Flußmündungen Eider, Stör, Krückau und Pinnau mit den darin befindlichen Sperrwerken, von denen das Störsperrwerk gerade noch rechtzeitig 1975 fertiggestellt werden konnte, haben sich segensreich ausgewirkt. An den durch sie geschützten insgesamt 168 km Flußdeichen und in den dahinter liegenden z. T. dicht besiedelten Gebieten wären anderenfalls unübersehbare Schäden eingetreten!

Hervorzuheben ist die durch das Land Schleswig-Holstein durchgeführte Pflege der Grasnarbe und die konsequente Durchsetzung der ausschließlichen Schafgräsung. Daher erscheint es angeraten, überall dort, wo die Landesschutzdeiche noch kleinparzelliertes Privateigentum sind und deswegen noch nicht gegräst, sondern gemäht werden, den Ankauf durch das Land anzustreben, um wirtschaftliche Pachtflächen für die Schafgräsung zu gewinnen.

3.4 D e i c h v o r l a n d , z w e i t e D e i c h l i n i e u n d D e i c h v e r t e i d i g u n g s w e s e n

Die örtliche Verteilung der Sturmflutschäden hat wiederum die seegangsdämpfende Wirkung des Deichvorlandes deutlich gezeigt. Deiche, vor denen sich Vorland befindet, sind auffallend weniger beansprucht worden als Schardeiche in gleicher Lage zur Hauptangriffsrichtung (Nordstrand, Westerhever, Brunsbüttel). Dennoch ist der Gesamtschadensumfang an Schardeichen verhältnismäßig gering geblieben, weil sie zum größeren Teil fertig verstärkt sind.

Die Unberechenbarkeit und die Schnelligkeit, mit der sehr schwere Sturmfluten unter kaum vorhersehbaren Wetterbedingungen eintreten können, ist am 3. 1. 1976 unterstrichen worden (FÜHRBÖTER, 1976).

Obwohl der maßgebende Sturmflutwasserstand nirgends erreicht worden ist, überraschte die Höhe der Scheitelwasserstände, die ohne Vorankündigung durch eine entsprechende Vortide während der kurzen Flutdauer erreicht worden ist. Immerhin sind an den Pegeln der schleswig-holsteinischen Westküste (außer Hörnum, Dagebüll, Schlüttsiel und Hooge) niemals so hohe Scheitelwasserstände gemessen worden, seitdem es regelmäßige und zuverlässige Wasserstandsmessungen gibt!

Darüber hinaus gehen besondere Gefahren von weniger hohen, dafür aber anhaltenden Sturmflutserien aus, die häufiger als bisher angenommen auftreten. Im Januar 1978 sind wiederum die Gefahren deutlich geworden, die sich aus kurz aufeinander folgenden Sturmfluten ergeben. Sie erhöhen die Schadensanfälligkeit der Deiche insbesondere wegen der Durchweichung der Deichoberfläche. Dies macht besonders deutlich, daß Küstenschutzanlagen nur als relativ sicher zu bezeichnen sind, solange zweite Deichlinien (Mitteldeiche) fehlen. Sie sind seit der „Hollandkatastrophe“ am 1. 2. 1953 eine unbestrittene Notwendigkeit, die anlässlich der Deichbrüche im Christianskoog und in der Haseldorfer Marsch erneut bestätigt worden ist. Es hat sich außerdem gezeigt, daß, abgesehen von Sonderfällen, geringe Höhen der zweiten Deichlinie (etwa ab 1,50 m über MThw) ausreichen, weil Deichbrüche meist so spät eintreten, daß die einbrechenden Wassermengen begrenzt bleiben.

Auch die hervorragende Bedeutung der Deichverteidigungswege, deren Bau nach 1962 als wesentlicher Teil des Küstenschutzes durchgesetzt werden konnte, ist erneut bestätigt worden. Der heute mit Lastkraftwagen praktizierte Transport von Deichsicherungsmaterial erfordert an allen Landesschutzdeichen Wege, die auch bei Sturmfluten und stärkeren Niederschlägen uneingeschränkt befahrbar sind. Im Hinblick auf die Möglichkeit kurz aufeinanderfolgender Sturmfluten kommt es darauf an, die Sicherung von Schadensstellen am Deich möglichst bis zur nächsten Flut fertigzustellen (vgl. Abschn. 3.2.5).

3.5 Katastrophenschutz und Schadensbeseitigung

Trotz der umfangreichen Schäden an den Küstenschutzanlagen konnten die Landes-schutzdeiche bis zum Jahresende 1976 wieder in einen Wehrzustand versetzt werden, der mindestens dem von Ende 1975 entsprach.

Das Landes-Katastrophenschutzgesetz vom 9. 12. 1974 und die dazu ergangenen Verwaltungsvorschriften, Erlasse und Richtlinien haben sich bewährt.

Die vorläufige Sicherung (Notsicherung) der Schadensstellen konnte zügig durchgeführt werden, so daß bei der zweiten Flut am 21. 1. 1976 keine wesentlichen zusätzlichen Schäden entstanden sind. Besonders zu vermerken ist, daß sich Sicherungen aus Faschinendeckwerken wegen ihres elastischeren Verhaltens besser bewährt haben als Sandsacksicherungen.

Die endgültige Schadensbeseitigung erfolgt im Rahmen der Maßnahmen, die im „Generalplan Deichverstärkung, Deichverkürzung und Küstenschutz in Schleswig-Holstein“ festgelegt sind, der 1977 auf den neuesten Stand gebracht und fortgeschrieben worden ist (Scherenberg, 1978).

3.6 Folgerungen aus Sturmfluten

Die Schadensursachen sind zum großen Teil die gleichen wie 1962. Die aus ihnen zu ziehenden Folgerungen sind nachstehend zusammengefaßt:

- Um die Wirkung der Druckschläge bei Seegang zu vermindern, dürfen Außenböschungen im Bereich des Sturmflutwasserstandes nicht steiler als 1 : 8 und darüber hinaus nicht steiler als 1 : 6 geneigt sein. Bei den Elbdeichen sind entsprechende Neigungen von 1 : 7 bzw. 1 : 5 möglich.
- Das auf der Außenböschung zurückfließende Wasser eines Wellenschwalls erreicht bei steilen Böschungen große Geschwindigkeiten, so daß die Bodenerosion besonders in Böschungsknicke erheblich verstärkt wird. Böschungsknicke müssen daher sanft ausgerundet werden. Diese Einwirkung entfällt in dem Maße, wie das Wasser über die Deiche schwappt. Hierin liegt wahrscheinlich die Erklärung dafür, daß bei starken Innendeichschäden keine oder nur geringe Außendeichschäden zu verzeichnen sind.
- Der trockene Sommer und Herbst 1975 hat sich auf die Deiche aus bindigem Klei günstig ausgewirkt. Der harte Boden hat den Beanspruchungen trotz der Trockenrisse bei der relativ kurzen Einwirkungsdauer des Seeganges besser widerstanden, als wenn er durch vorhergehende Niederschläge oder hohe Vortiden aufgeweicht worden wäre. Auf mageren Deichböden, die zwar weniger Trockenrisse aufweisen, hat aber die Grasnarbe wegen der Trockenheit an Dichte und Festigkeit eingebüßt. Damit die in solchen Fällen unvermeidliche Erosion der Deichoberfläche nicht zum Deichbruch führt, muß die Kleiabdeckung über 1 m bis zu 1,50 m dick sein (ZITSCHER, 1962).
- Nachträglich eingebaute Mutterbodenabdeckungen zur Verbesserung der Grasnarbe müssen gründlich mit dem Unterboden verzahnt werden. Anderenfalls rutschen sie bei Durchfeuchtung, besonders auf Innenböschungen, sehr leicht ab und entblößen sie von jedem Erosionsschutz.
- Um den steigenden Anteil groben Treibselns nach Möglichkeit zu vermeiden, müssen bauliche Anlagen und die Lagerung von Gegenständen am Deich und im Deichvorfeld, die bei Sturmfluten losgerissen werden oder aufschwimmen und gegen die Deiche getrieben werden können, unterbleiben.
- Die Bekämpfung von wühlenden Schädlingen muß verbessert werden. Dazu gehört auch – wenn notwendig – die Erteilung von Ausnahmegenehmigungen von jagdlichen Beschränkungen oder Verboten.
- Alle künstlichen Einbauten innerhalb des Deichprofils sind Fremdkörper und werden damit zu potentiellen Schadensursachen. Sie sind auf ein Mindestmaß zu beschränken sowie konstruktiv so auszubilden und in das Deichprofil einzubauen, daß sie dem Wasser möglichst wenig Widerstand bieten und keine Kolkbildungen veranlassen. Dazu gehören Pfähle, Masten aller Art, Geländer, Bänke und besonders Treppen. Rampen dürfen nicht aufgestellte Böschungen herbeiführen. Sie müssen ebenso wie Treibselwege bündig mit der Deichoberfläche abschließen, und ihre Oberflächenbefestigung muß beidseitig eine ausreichend tiefe Randeinfassung erhalten.
- Gewicht und Neigung der Deichfußdeckwerke müssen so aufeinander abgestimmt sein, daß sie den Druckschlägen des Seegangs widerstehen. Dem Einzelgewicht der Deckwerksteine, ihrem Verbund, der Fugenausbildung, deren etwaiger Verguß sowie dem Unterbau und der Dichtung kommt dabei besondere Bedeutung zu (ZITSCHER 1967).
- Betonverbundsteine dürfen nicht im Bereich eines Neigungswechsels verlegt werden, wenn dadurch ihr Verbund beeinträchtigt wird.
- An den Übergängen zwischen Deckwerk und Grasnarbe muß ein senkrechter, dichter

Abschluß (Plattenreihe o. ä.) von mindestens 60 cm Tiefe eingebaut werden, um Hinterspülungen zu vermeiden.

- Die Warfhöhe auf den Halligen bzw. die Höhe der sie umgebenden Ringdeiche muß 0,5 m über dem maßgebenden Sturmflutwasserstand liegen. Die Ringdeichsiele müssen so groß sein, daß sie etwa eingedrungenes Wasser kurzfristig abführen können.
- Die Warfböschungen sollten 1 : 6, an der Hauptangriffsseite 1 : 8 geneigt sein. Auf der Warfoberfläche darf ein mindestens 4 m, besser 7 m breiter Randstreifen nicht bebaut und nicht für die Lagerung von Gegenständen bzw. für das Abstellen von Geräten genutzt werden.
- An sandigen Küsten sind alle Einbauten und Maßnahmen zu vermeiden, die Lee-Erosionen hervorrufen können.

4 Schlußbemerkung

In den kommenden Jahren werden erhebliche Anstrengungen zur Verbesserung des Küstenschutzes in Schleswig-Holstein notwendig sein. Der Rahmen dazu ist im „Generalplan Deichverstärkung, Deichverkürzung und Küstenschutz in Schleswig-Holstein“ – Fortschreibung 1977 – abgesteckt. Niemand kann vorhersagen, wann die nächste, möglicherweise noch schwerere Sturmflut unsere Küstenschutzanlagen auf die Probe stellen wird. Aber alle Menschen im betroffenen Küstenbereich wissen, daß sie kommen wird. Es gilt daher, so schnell wie möglich das gesteckte Ziel zu erreichen. Dabei muß der zeitgemäße Sturmflutschutz der Menschen an den Küsten Vorrang haben vor dem Naturschutz und der Landschaftspflege, ohne letztere wegen ihrer wachsenden Bedeutung bei allen Planungen zu vernachlässigen.

5 Schriftenverzeichnis

- BRÖSSKAMP, K. H. et al: Seedeich, Theorie und Praxis. Vereinigung der Naßbaggerunternehmen e. V., Hamburg 1976.
- CARSTENS, H.: Auswirkungen der Sturmflut vom 3. 1. 1976 auf die Landesschutzdeiche im Bereich der schleswig-holsteinischen Elbmarschen. Wasser und Boden, Jg. 28, 1976.
- ERCHINGER, H. F.: Naturmessungen des Wellenaufbaus mit neuentwickelten Geräten. Die Küste, Heft 31, 1977.
- FÜHRBÖTER, A.: Über zeitliche Änderungen der Wahrscheinlichkeit von Extremsturmfluten an der deutschen Nordseeküste. Mitt. des Leichtweiss-Inst. d. TU Braunschweig, Heft 51, 1976.
- FÜHRBÖTER, A. et al: Beurteilung der Sandvorspülung 1972 und Empfehlungen für die künftige Stranderhaltung am Weststrand der Insel Sylt. Die Küste, Heft 29, 1976.
- FÜHRBÖTER, A.: Der Druckschlag durch Brecher auf Deichböschungen. Mitt. d. Franzius-Inst. der TU Hannover, Heft 28, 1966.
- HANSEN, U. A.: Brandungstau und Bemessungswasserstand. Mitt. d. Leichtweiss-Inst. d. TU Braunschweig, Heft 52, 1976/77.
- HEERTEN, G. und PARTENSKY, H. W.: Ein Vergleich der Sturmflut vom 3. 1. 1976 auf der Elbe mit anderen Sturmfluten nach 1962. Mitt. d. Franzius-Inst. d. TU Hannover, Heft 45, 1977.
- JANSEN, B.: Ablauf der Sturmflut und Überflutung der Haseldorfer Marsch. Wasser und Boden, Jg. 28, 1976.
- KIEKSEE, O. W.: Die Ostseesturmflut 1872. Verlag Westholsteinische Verlagsanstalt, Heide, 1972.
- SCHERENBERG, R.: Die Fortschreibung des Generalplans „Deichverstärkung, Deichverkürzung und Küstenschutz in Schleswig-Holstein“ vom 20. 12. 1963. Wasser und Boden, Nr. 10, 1978.

- SCHULZ, H.: Verlauf der Sturmfluten vom Februar 1962 im deutschen Küsten- und Tidegebiet der Nordsee. Die Küste, Jg. 10, Heft 1, 1962.
- SUHR, H.: Generalplan Deichverstärkung, Deichverkürzung und Küstenschutz in Schleswig-Holstein vom 20. 12. 1963. Wasser und Boden, Nr. 16, 1964.
- VAN DER KLEIJ, W.: The boy with his thumb in the dike. Land + Water International, Nr. 35, 1977.
- ZITSCHER, F. F.: Neue Landesschutzdeiche in Schleswig-Holstein. Bitumen, Nr. 28, 1966.
- ZITSCHER, F. F.: Analyse zur Bemessung von Außenböschungen scharliegender Seedeiche gegen Wellenbeanspruchung. Wasser und Boden, Jg. 14, 1962.
- ZITSCHER, F. F.: Konstruktion moderner Fußsicherungen für Seedeiche. Die Bauwirtschaft, Nr. 18, 1964, Heft 38.
- ZITSCHER, F. F.: Möglichkeiten und Grenzen in der konstruktiven Anwendung von Asphaltbauweisen bei Küstenschutzwerken. Mitt. d. Hannoverschen Versuchsanstalt für Grund- und Wasserbau, Franzius-Inst. d. TU Hannover, Heft 12, 1957.
- ZITSCHER, F. F.: Betonbauwerke für Seedeich und Küstenschutzanlagen. Beton 17, Heft 7 und 8, 1967.