

Nachtrag zu den „Empfehlungen für den Deichschutz nach der Februar-Sturmflut 1962“

Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke“¹⁾

Summary

In the years after the storm surge of February 1962 substantial progress has been reached in the analysis of natural processes connected with storm surges. The new knowledge gained in the field of coastal engineering, oceanography and meteorology is being evaluated in the "supplement" to the recommendations on dike protection. Papers dealing with storm surges on the coasts of countries bordering the North Sea published after 1962 are compiled to an extensive table of references.

Zusammenfassung

In den Jahren nach der Februar-Sturmflut 1962 sind in der Beurteilung der Naturvorgänge bei Sturmfluten wesentliche Fortschritte erzielt worden. Die gewonnenen neuen Erkenntnisse auf seebautechnischem, ozeanographischem und meteorologischem Gebiet werden in dem „Nachtrag“ zu den Empfehlungen für den Deichschutz ausgewertet. Das nach 1962 veröffentlichte Schrifttum ist, soweit es sich mit den Sturmfluterscheinungen im Nordseeküstengebiet befaßt, als Ergänzung zu „Die Küste“, X, 1/1962 und XIV, 1/1966, in einem ausführlichen Verzeichnis zusammengestellt.

Inhalt

1. Veranlassung	46
2. Bestimmung der Deichhöhen im Tidegebiet	46
2.1. Bemessungswasserstand	46
2.1.1. Seedeiche	46
2.1.2. Stromdeiche	49
2.1.3. Flußdeiche	49
2.2. Wellenauflauf	49
3. Brandungswirkung auf der Deichböschung	51
4. Deichboden	52
4.1. Beschaffenheit des Deichbodens	52
4.2. Trockenrisse und Löcher im Deichkörper	53
4.3. Sickerwasserbewegung und Wasserüberdruck in Sanddeichen mit dichter Böschungs- decke	53
4.4. Sackung und Setzung des Deichkörpers	54
5. Versorgungsleitungen im Deich	55
6. Deichvorland aus Verhüttungsrückständen	56
7. Deichpflege	57
7.1. Bekämpfung schädlicher Tiere in Erddeichen	57
7.2. Beanspruchung der Küstenschutzwerke durch den Fremdenverkehr	57
8. Erläuterung der in den „Empfehlungen 1962“ verwendeten Sturmflutbegriffe	57
9. Schlußbetrachtung	58
Schriftenverzeichnis	59

¹⁾ Leiter der Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke“: Regierungsdirektor a. D. Dr.-Ing. K. LÜDERS.

1. Veranlassung

Die deutsche Küstenforschung hat mit wirksamer finanzieller Unterstützung durch die „STIFTUNG VOLKSWAGENWERK“ und die „DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT“ in den Jahren nach der Februar-Sturmflut 1962 wesentliche Fortschritte in der Beurteilung der Naturvorgänge bei Sturmfluten auf seebautechnischem, ozeanographischem, meteorologischem und physikalischem Gebiet gemacht. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse geben Veranlassung, die von der Arbeitsgruppe „KÜSTENSCHUTZWERKE“ des Küstenausschusses Nord- und Ostsee bearbeiteten und Ende 1962 veröffentlichten „Empfehlungen für den Deichschutz nach der Februar-Sturmflut 1962“²⁾ (28) zu ergänzen und daraufhin zu prüfen, ob die damals gegebenen Vorschläge auch weiterhin zutreffend sind. Zugleich sollen bei dieser Gelegenheit Anregungen und kritische Bemerkungen, die sich bei der praktischen Anwendung der „Empfehlungen 1962“ ergeben haben, behandelt werden.

Der vorliegende „Nachtrag“ wurde von folgenden Mitgliedern der früheren Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke“ bearbeitet: Baudirektor KRAMER (Aurich), Präsident a. D. Dr.-Ing. E. h. LORENZEN (Kiel), Regierungsbaudirektor Dr.-Ing. RODLOFF (Kiel) und Baudirektor TRAEGER (Bremen). Die Federführung hatte der Leiter der Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke“.

2. Bestimmung der Deichhöhen im Tidegebiet (zum Abschnitt B II 1 der „Empfehlungen 1962“)

2.1. Bemessungswasserstand

2.1.1. Seedeiche

Die Seedeichhöhen an der deutschen Nordseeküste wurden nach der Holland-Sturmflut 1953 bis zur Februar-Sturmflut 1962 entsprechend dem Vorschlag der Arbeitsgruppe „Sturmflut vom 1. Februar 1953“ (27) nach dem „maßgebenden Sturmflutwasserstand“ und „örtlichen größten Wellenauflauf“ bestimmt. Obgleich sich die mit diesem Bemessungsverfahren festgelegten Seedeichhöhen in der Februar-Sturmflut 1962 bewährt hatten, erschien es aus Sicherheitsgründen notwendig, nochmals zu prüfen, ob die verwendeten Bemessungswerte nach den in der außergewöhnlich schweren Februar-Sturmflut 1962 gewonnenen Erkenntnissen noch als ausreichend angesehen werden können. Die Prüfung hatte die Arbeitsgruppe „Sturmfluten“ des Küstenausschusses übernommen. Bis zum Abschluß der Prüfung wurde in den „Empfehlungen 1962“ mit Rücksicht auf die nicht aufschiebbaren Wiederherstellungsarbeiten an den Deichen zusätzlich ein Vergleichsverfahren empfohlen, das für die Bestimmung der Deichhöhe die in der Februar-Sturmflut 1962 unmittelbar beobachteten Wasserstands- und Wellenauflaufwerte und einen Sicherheitszuschlag benutzt. Die Deichhöhe ist dann nach demjenigen Verfahren zu bemessen, das die größeren Werte ergibt.

Neben der Prüfung der bisherigen Bemessungsverfahren wurden in der Arbeitsgruppe „Sturmfluten“ verschiedene neue Vorschläge für die Festlegung der Seedeichhöhen eingehend untersucht, und zwar ein hydrodynamisch-numerisches Verfahren, ein Verfahren mit physikalisch denkbaren Sturmflutwasserständen, ein Häufigkeitsverfahren und ein hydrologisch-statistisches Verfahren zur Bestimmung einer Grenzhöhe für die Nordsee-Sturmfluten (19, 31). Diese führten, je nach den gewählten Ausgangswerten, zu derartig unterschiedlichen Ergeb-

²⁾ Nachfolgend kurz „Empfehlungen 1962“ genannt.

nissen, daß es nicht möglich war, sie zu einem Verfahren zu verbinden. Um dieses Ziel zu erreichen, wäre es notwendig, die verschiedenen Ansätze und Untersuchungswege weiter zu verfolgen und zu untermauern.

Das Ergebnis der bisherigen Beratungen der Arbeitsgruppe „Sturmfluten“ bezüglich der Bestimmung eines Bemessungswasserstandes hat HENSEN (19) wie folgt zusammengefaßt:

„Die Februar-Sturmflut 1962 gab keine Veranlassung, die bisher für die Seedeiche festgesetzten Bemessungswasserstände zu ändern.

Die Arbeitsgruppe „Sturmfluten“ hält es für vertretbar, zunächst die bisher angewendeten Verfahren zur Bestimmung des Bemessungswasserstandes nicht zu ändern.

Es ist aber darauf hinzuweisen, daß selbst bei dem Verfahren zur Festsetzung eines Bemessungswasserstandes stets noch ein Wagnis verbleibt, das praktisch unvermeidbar ist. Dieses Wagnis muß durch andere Vorkehrungen aufgefangen werden.“

Über Erfahrungen in der praktischen Anwendung der empfohlenen Bemessungsverfahren (Einzelwert- und Vergleichsverfahren) zur Bestimmung der Deichhöhen hat LÜDERS (41) auf der 4. Gesamtausschußtagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee in Hamburg am 26. November 1965 berichtet. Die mit Rundschriften angesprochenen Ämter und Dienststellen, die für den Deichschutz an der deutschen Nordseeküste zuständig sind, berichteten über gelegentlich aufgetretene textliche Auslegungsschwierigkeiten, die z. B. bei der Berücksichtigung örtlicher Sonderfälle auftraten. Im übrigen wurden aber von keiner der befragten Stellen Änderungsvorschläge zu den Bemessungsverfahren selbst angeregt oder gemacht. Nur eine hamburgischerseits zu den „Empfehlungen 1962“ geübte Kritik bezeichnete die Bemessungsverfahren als bedenklich, weil die textlichen Formulierungen eine Sicherheit vortäuschten, die tatsächlich nicht vorhanden sei. In Hamburg sei man daher – wie in der Kritik ausgeführt wird – bewußt von den Empfehlungen abgewichen und habe die Krone der Hochwasserschutzwerke höher gelegt, als sie sich nach den empfohlenen Verfahren errechnet; selbst dann seien aber noch höhere Wasserstände, als der hamburgischen Bemessung zugrunde gelegt, nicht ausgeschlossen. Hierzu und zu anderen kritischen Bemerkungen hatte die Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke“ in einem Bericht an den Küstenausschuß vom 4. 7. 1967 Stellung genommen (30). Die Arbeitsgruppe hat danach keinen Anlaß gesehen, ihre Empfehlungen zu ändern. Die Aussage, man sei in Hamburg bewußt von den „Empfehlungen 1962“ abgewichen, hat der Verfasser der Kritik inzwischen berichtigt (35).

Um in Zukunft ähnlichen Mißverständnissen bei der Anwendung der empfohlenen Verfahren zur Bestimmung der Deichhöhen im Tidegebiet vorzubeugen, sei am Beispiel Hamburg folgendes ausgeführt:

In den „Empfehlungen 1962“ ist unter B II 1 b (Stromdeiche) und B II 1 c (Flußdeiche) darauf hingewiesen, daß für die Bestimmung der Deichkronenhöhen auch das Bemessungsverfahren α in Ziffer B II 1 a („Deichhöhe = H_{Thw} [1962] + maximaler beobachteter Wellenauflauf + Sicherheitszuschlag“) angewendet werden kann. Für Hamburg ergibt dieses Bemessungsverfahren folgende Deichhöhe:

HThw (1962)	+ 5,70 m NN
Wellenauflauf	0,50 m
Sicherheitszuschlag	1,00 m ³⁾
Deichhöhe	+ 7,20 m NN

Würde man entgegen den „Empfehlungen 1962“ für die Bestimmung der Höhe der Hamburger Hochwasserschutzanlagen das nur für Seedeiche gültige Einzelwertverfahren anwenden, dann ergibt sich folgende Berechnung:

³⁾ Vgl.: Niederschrift über die 2. Sitzung des Ausschusses wissenschaftlicher Gutachter der Freien und Hansestadt Hamburg am 14. Mai 1962.

Wert a: MThw über NN	1,70 m
Wert b: höchstes SpThw über MThw	0,15 m
Wert c: größter Windstau über MThw	4,00 m
Wert d: säkularer Meeresanstieg in 100 Jahren	0,20 m
maßgebender Sturmflutwasserstand	+ 6,05 m NN
Wert e: größter Wellenauflauf	0,50 m
Deichhöhe:	+ 6,55 m NN

Der sich bei dieser Berechnung ergebende „maßgebende Sturmflutwasserstand“ von + 6,05 m NN liegt 65 cm unter dem für die Bemessung der Höhe der Hochwasserschutzanlagen in Hamburg festgelegten Wert von + 6,70 m NN. Dementsprechend ergibt sich auch eine um diesen Betrag niedrigere Schutzwerkhöhe. Das für Seedeiche geltende Einzelwertverfahren erfaßt bei Strom- und Flußdeichen nicht die dort zu beachtenden Einflüsse durch hohes Oberwasser, Eisversetzung und Tideveränderungen infolge baulicher Eingriffe. Um zu einem zutreffenden Bemessungswasserstand zu kommen, müßten diese Auswirkungen bei dem sich aus dem Einzelwertverfahren ergebenden „maßgebenden Sturmflutwasserstand“ noch zusätzlich berücksichtigt werden.

Abschließend sei hier zum Vergleich noch die Ermittlung der Höhe der Hamburger Hochwasserschutzanlagen nach dem von TOMCZAK vorgeschlagenen „Verfahren mit physikalisch denkbaren Sturmflutwasserständen“ wiedergegeben (19). Der „physikalisch denkbare Sturmflutwasserstand“ ergibt sich aus dem astronomisch vorausberechneten Wasserstand (höchstes SpThw) und einer bei Sturmfluten auftretenden Wasserstandserhöhung, die aus drei einzeln abgeschätzten Anteilen zusammengesetzt wird, wie folgt:

höchstes SpThw	+ 1,80 m NN
größter Windstau (1962): 4,00 m (einschließlich der Erhöhung durch Fernwelle), zuzüglich 0,38 m für Berücksichtigung 1962 eingetretener Deichbrüche	≈ 4,40 m
15 % Zuschlag vom Windstau 1962 von 4,00 m	0,60 m
maßgebender Sturmflutwasserstand	+ 6,80 m NN
größter Wellenauflauf	0,50 m
Deichhöhe:	+ 7,30 m NN

Als Ergebnis der vorstehenden Betrachtung ist festzustellen: Die nach der Februar-Sturmflut 1962 im Hamburger Gebiet vom Gutachterausschuß empfohlenen Werte für den „maßgebenden Sturmflutwasserstand“ mit + 6,70 m NN und für die Kronenhöhe der Hochwasserschutzanlagen mit + 7,20 m NN ergeben sich in derselben Größe, wenn das für Strom- und Flußdeiche in den „Empfehlungen 1962“ vorgeschlagene Bemessungsverfahren α in Ziffer B II 1 a angewendet wird. Zum fast gleichen Ergebnis führt auch das von TOMCZAK empfohlene Verfahren (maßgebender Sturmflutwasserstand + 6,80 m NN, Deichhöhe + 7,30 m NN). Das nur für die Bemessung der Seedeichhöhen bestimmte Einzelwertverfahren (β in Ziffer B II 1 a) liefert dagegen niedrigere Werte (maßgebender Sturmflutwasserstand + 6,05 m NN, Deichhöhe + 6,55 m NN). Bei diesem Verfahren werden die schon erwähnten Erscheinungen nicht berücksichtigt, die in Strom- und Flußgebieten zu beachten sind, an der Küste für die Seedeichhöhe aber keine Rolle spielen.

2.1.2. Stromdeiche

Die in den „Empfehlungen 1962“ (S. 116) erwähnten Modellversuche für die Elbe liegen jetzt vor (18), so daß die Bemessungswerte für die Elbstromdeiche danach bestimmt werden können. Es sei noch erwähnt, daß in den letzten Jahren aufschlußreiche Untersuchungen über die Sturmflutverhältnisse und Oberwassereinflüsse auf die Tidewasserstände der Unterelbe veröffentlicht worden sind, deren Ergebnisse ebenfalls für die Bemessung der Elbstromdeiche herangezogen werden können (13, 36, 57, 58, 61).

Für die Eider, die gegenwärtig an ihrer Mündung abgeschleust wird, entfällt nach Inbetriebnahme des Sperrwerkes (voraussichtlich 1973) die Festsetzung eines maßgebenden Sturmflutwasserstandes; diese Deiche liegen dann hinter dem Sperrwerk und gehören nicht mehr zu den Hauptdeichen.

2.1.3. Flußdeiche

Den Stand der Abschleusungen des Tidestromes Eider sowie der Tideflüsse an der deutschen Nordseeküste zeigt die nachstehende Tabelle.

Sperrwerksbauten an der deutschen Nordseeküste
(Stand 1970)

Tidestrom	Tidefluß	Sperrwerk		
		in Planung	in Bau seit	in Betrieb seit
Ems	Leda	—	—	1954
Weser	Hunte	X	—	—
Weser	Ochtum	X	—	—
Weser	Lesum	X	—	—
Weser	Geeste	—	—	1960
Elbe	Oste	—	—	1968
Elbe	Schwinge	—	1969	—
Elbe	Lühe	—	—	1967
Elbe	Este	—	—	1964
Elbe	Seeve	—	—	1965
Elbe	Ilmenau	1969	—	—
Elbe	Pinnau	—	—	1969
Elbe	Krückau	—	—	1969
Elbe	Stör	X	—	—
Eider		—	1967	—

Bis 1970 sind acht der 14 Tideflüsse abgeschleust worden; für die verbleibenden sechs sind die Abschleusungsplanungen eingeleitet bzw. abgeschlossen. Es ist damit zu rechnen, daß in wenigen Jahren sämtliche Tideflüsse durch Sperrwerke abgeschlossen sein werden, so daß die Bearbeitung besonderer Bemessungsverfahren für die Deiche an Tideflüssen, wie sie früher vorgesehen war, jetzt nicht mehr erforderlich ist. Das im Abschnitt B II 1 c der „Empfehlungen 1962“ vorgeschlagene Verfahren zur Bemessung der Tideflußdeiche bleibt bis dahin bestehen.

2.2. Wellenauflauf

Die bei der Februar-Sturmflut 1962 eingetretenen Wellenauflaufhöhen hatten an vielen Deichstrecken der deutschen Nordseeküste Werte erreicht, mit denen nach den vorliegenden ört-

lichen Erfahrungswerten nicht gerechnet werden konnte. Daher wurde in den „Empfehlungen 1962“ (S. 116) angeregt, für das Bemessungsverfahren α den während der Februar-Sturmflut 1962 örtlich beobachteten größten Wellenauflauf zu verwenden oder ihn noch nachträglich aus den eingemessenen Treibselkanten, die etwa den höchsten wirksamen Wellenauflauf anzeigen, abzuleiten. Diese Werte konnten allerdings nur vereinzelt einigermaßen sicher festgestellt werden, was sich durch den katastrophalen Ablauf dieses Naturgeschehens erklärt, der keine Zeit für solche Beobachtungen ließ. Somit wird auch weiterhin für die Neufestsetzung der Deichhöhen der „maximale theoretische Wellenauflauf“ verwendet werden müssen (Bemessungsverfahren β), der entweder aus Modellversuchen (16, 17) oder auf rechnerischem Wege (21) zu bestimmen ist.

Um bei der Ermittlung der Größe des Wellenaufbaus zu besseren Erkenntnissen zu kommen, ist in den „Empfehlungen 1962“ (S. 128) angeregt worden, die Größe des Wellenaufbaus in Abhängigkeit von Wind und Sturmböen sowie von der Neigung und Rauigkeit der Deichböschung durch Beobachtungen in der Natur und im Modell zu untersuchen. Ferner hat die Arbeitsgruppe „Sturmfluten“ in ihrem „Ergebnisbericht 1“ (29) die Auffassung vertreten,

„daß im Bereich der Deutschen Bucht, insbesondere im Gebiet des Überganges zu den Wattgebieten und auf den Watten selbst, eine intensive Seegangsforschung betrieben werden muß. Diese soll umfassende Meßwerte mit selbstschreibenden Wellenmeßgeräten schaffen und, daran anknüpfend, die Ausarbeitung geeigneter Verfahren zur Ermittlung des maßgebenden Seeganges und Wellenaufbaues unter verschiedenen meteorologischen, hydrographischen und morphologischen Verhältnissen ermöglichen. Außerdem sollen damit eingehende hydrodynamische Untersuchungen angestellt werden“.

Diesen Problemen hat sich die Forschung in den Jahren seit 1962 verstärkt zugewandt⁴⁾. So sind unmittelbare Wellenmessungen an verschiedenen Küstenstrecken eingeleitet worden, und zwar sowohl an der Westküste wie auch an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins, die vom Deutschen Hydrographischen Institut Hamburg ausgeführt werden. Ergebnisse dieser Messungen stehen noch aus. An der ostfriesischen Küste hatte man gleichfalls mit solchen Messungen begonnen; sie sind jedoch wegen gerätetechnischer Schwierigkeiten unterbrochen worden.

Vor dem Norderneyer Strand hat die Forschungsstelle Norderney Seegangsmessungen mit dem Wellenschreiber WES-63 (5) ausgeführt. Sie dienen der Untersuchung des Seegangs unmittelbar vor der Küste, dessen Kenntnis eine Voraussetzung für die Bestimmung der Wellenaufbaugröße am Deich ist.

Die rechnerische Behandlung des Wellenaufbauproblems erscheint wegen der vielfältigen, zum großen Teil noch unbekannten hydrodynamischen, meteorologischen und baulichen Einflüsse in absehbarer Zeit kaum erreichbar. Daher empfiehlt die Arbeitsgruppe „Sturmfluten“ (31), zunächst einmal durch Naturbeobachtungen die bei der Ermittlung des Wellenaufbaus auf Deichböschungen noch immer bestehende Unsicherheit möglichst bald zu beseitigen. Hierzu wird ausgeführt:

„Es sollte versucht werden, eine Korrelation zwischen den Wasserständen vor dem Deich, Vorland, Watt oder Berme und dem senkrechten Abstand HThw-Spülsaum aufzustellen, damit durch Extrapolation mindestens eine Schätzung des Wellenaufbaus bei außergewöhnlichen Sturmflutwasserständen möglich ist.“

⁴⁾ S. Literaturverzeichnis Nr. 5, 10, 11, 21, 22, 45, 52, 53, 54, 63, 64.

3. Brandungswirkung auf der Deichböschung (zum Abschnitt B II 4 der „Empfehlungen 1962“)

Während der Februar-Sturmflut 1962 konnte an vielen Deichstrecken festgestellt werden, daß die durch Brandungsschlag auf der Deichaußenböschung erzeugten starken Ausschläge nicht über die ganze Böschung verstreut, sondern etwa auf gleicher Höhe lagen (Abb. 1), und zwar



Abb. 1
Ausschläge auf der
Deichböschung des Nor-
derhever-Koogdeiches
(Eiderstedt) 1962 etwa
in Höhe des Sturmflut-
wasserstandes. – Aus:
RODLOFF (54, Abb. 2)

sowohl an Deichen mit wechselnder wie auch mit einheitlicher Böschungsneigung. Offensichtlich bestand eine Beziehung zur Höhe des Sturmflutwasserstandes. Nach den Untersuchungen von LIESE (38), RODLOFF (53, 54) und FÜHRBÖTER (11) erreicht die Angriffsgröße der am Deich brandenden Wellen in dieser Zone ihre Höchstwirkung, bedingt durch den dort über mehrere Stunden fast gleichbleibenden Wasserstand (Abb. 2). Da im oberen Böschungsbereich die Neigungen vielfach steil sind (1:4 und steiler), ist das zurückströmende Wasser einer Brandungs-

welle bereits soweit abgelaufen, daß die Grasnarbe der Böschung ohne Wasserpolster liegt, wenn die nächste brandende Welle aufschlägt. Das Wasserpolster bewirkt, daß die Wellenwirkung schlagartig abnimmt, wenn ein Brecher die Böschung trifft. Weiterhin ist zu beachten, daß, je flacher die Deichböschung ist, um so tiefer der Aufschlagpunkt einer brandenden Welle liegt (11).

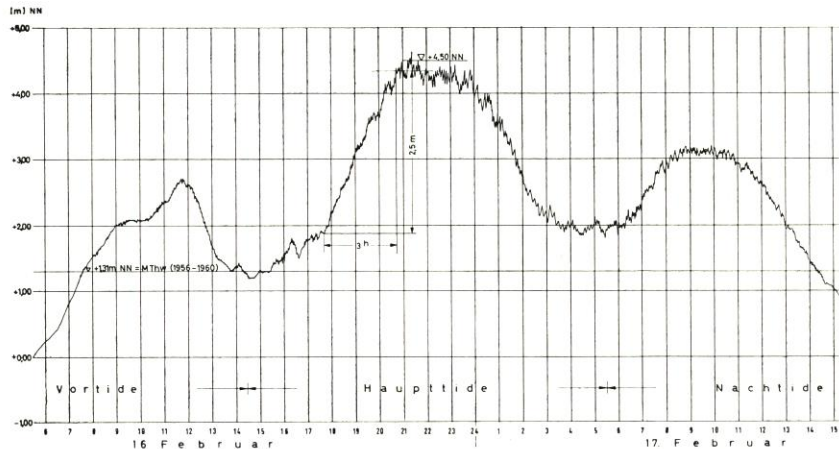


Abb. 2. Tidekurve des Pegels Benseniel (Ostfriesland) vom 16./17. Februar 1962 (aus: Die Küste 10 [1962], H. 1, S. 20, Abb. 3)

Aus diesen Gründen sollte die Deichböschung im oberen Bereich des Deiches flach ausgebildet werden. Bei bindigen Kleiböden sollte sie 1:6 bis 1:8, bei sandigen Kleiböden 1:8 bis 1:12 betragen (54) und – nach heutiger Ansicht – möglichst unverändert bis zur Deichkrone bleiben.

4. Deichboden

(zum Abschnitt B III der „Empfehlungen 1962“)

4.1. Beschaffenheit des Deichbodens

Der für den Deichbau an der deutschen Nordseeküste von altersher verwendete Kleiboden besitzt je nach Entnahmeort verschieden große Anteile an Ton und Sand, wovon seine Eignung als Deichbaustoff abhängt.

Bei der Wiederherstellung der Hamburger Deiche nach der Februar-Sturmflut 1962 ist die Tauglichkeit des Kleies als Deichboden nach seiner Fließ- bzw. Erosionsempfindlichkeit sowie nach seiner Schrumpfeempfindlichkeit und Zersetzungsgefährdung bestimmt worden (45). Als Ergebnis dieser Untersuchungen wurde festgestellt, daß der Sandkornanteil des Deichbodens nicht größer als 40 % und der Anteil der tonigen Bestandteile 10 % bis maximal 15 % sein sollte.

Eine weitere bodenphysikalische Untersuchung von Deichböden hat die Forschungsstelle Norderney vorgenommen (51). Danach ist der Sandanteil eines bindigen Bodens nur ein indirekter Kennwert dafür, ob er sich als Deichbaustoff eignet. Entscheidend hierfür sind Anteil und Eigenschaften der Tonminerale. Ihr Einfluß auf das Gesamtverhalten des Bodens läßt sich

am deutlichsten durch die Kennwerte Fließgrenze, Ausrollgrenze und Plastizität abschätzen. Der Durchschnittswert der organischen Anteile im Kleiboden der Deichabdeckungen in Ostfriesland liegt bei 6 %. Der Maximalwert ist mit 13,6 % bestimmt worden; bei diesem Wert wurden 2 bis 3 cm breite Schrumpfrisse im Kleiboden beobachtet. Bei älteren Deichen mit einem Anteil von rund 8 % organischer Substanz im Kleiboden wies dieser eine zerrissene und klumpige Struktur (Krümelstruktur) auf. Nach den Untersuchungen der Forschungsstelle Norderney ist für die Eignungsgrenze eines Kleibodens als Deichbaumaterial ein Anteil an organischer Substanz von 8 % bis 10 % anzusetzen. Bemerkenswert ist noch das Ergebnis der bodenphysikalischen Untersuchungen, nach dem eindeutige qualitative Beziehungen zwischen den Bodeneigenschaften und den bei der Februar-Sturmflut 1962 eingetretenen Deichschäden erkannt werden konnten, wenn die Abhängigkeit der angreifenden Wellenkräfte von Deichprofilierung und Sturmflutwasserstand berücksichtigt wird.

Den Einfluß des Kleibodens als Deichbaustoff auf das Profil der Außenböschung eines Seedeiches hat RODLOFF (54) untersucht. Als Ziel der Bodenuntersuchungen sollte erstrebt werden, jeder Bodenart die ihr gemäße Böschungsneigung zuzuordnen und danach das Deichprofil zu entwickeln. Als Grenzbereiche für die Böschungsneigungen können nach RODLOFF in roher Annäherung gewählt werden:

für bindige Kleiböden	1:6 bis 1:8
für sandige Kleiböden	1:8 bis 1:12.

4.2. Trockenrisse und Löcher im Deichkörper

In den „Empfehlungen 1962“ (S. 122) wurde auf die Gefahr hingewiesen, die durch Trockenrisse im Kleiboden von Erddeichen entstehen können. Bei hohem Wellenaufbau begünstigen sie die Durchweichung des Deichkörpers und führen damit zu Böschungsrutschungen. Eine weitere ernste Gefahr für den Deich haben LIESE (38) und FÜHRBÖTER (11) beschrieben: Wenn bei Sturmflut Wellenbrecher die Deichböschung treffen, dann kann durch den Druckschlag des Wassers in den wassergefüllten Rissen, Spalten und Löchern der Deichaußenböschung eine „innere Sprengwirkung“ ausgelöst werden, die starke Auskolkungen zur Folge hat und dann Ursache größerer Schäden sein kann.

Wegen der Gefahr, die jedem Erddeich durch Trockenrisse, Spalten, Löcher und Wühlgänge von Tieren drohen, wird die Forderung, solche Gefahrenstellen am Deich jeweils noch vor dem Einsetzen der Herbststurmfluten zu beseitigen, hier nochmals zur Beachtung dringend empfohlen.

4.3. Sickerwasserbewegung und Wasserüberdruck in Sanddeichen mit dichter Böschungsdecke (zum Abschnitt B IV der „Empfehlungen 1962“)

Bei Sanddeichen mit Dichtungsdecke aus Klei oder Asphalt ist die durch die wechselnden Außenwasserstände bedingte Wasserbewegung im Deichkörper von entscheidender Bedeutung für den Bestand des Deiches. Bis zur Februar-Sturmflut 1962 gab es an der deutschen Nordseeküste nur wenige Sanddeiche mit Asphaltdecke, die in der Februar-Sturmflut 1962 jedoch keine nennenswerten Schäden erlitten hatten. Aus diesem Grunde erübrigte sich ihre Behandlung in den „Empfehlungen 1962“; es wurde nur auf das Schrifttum über die zweckmäßige Gestaltung solcher Deiche verwiesen (S. 119 der „Empfehlungen 1962“). Sanddeiche mit Klei-

decke hatten sich in der Februar-Sturmflut 1962 in der Regel dann bewährt, wenn ihre Böschungsneigung in der Brandungszone nicht steiler als 1:6 und die Grasnarbe in gutem Zustand waren.

Unter diesen Umständen war seinerzeit in den „Empfehlungen 1962“ auf die Sickerwasserbewegung und den Wasserüberdruck im Deichkörper nicht eingegangen worden. Wegen der Bedeutung aber, die diesen Problemen im Hinblick auf die zu erwartende Zunahme des Baues von Sanddeichen mit dichten Decken zugemessen werden mußte, war in den „Empfehlungen 1962“ (S. 123 unter Ziff. 2) angeregt worden, die Sickerwasserbewegung im Deich durch Beobachtungen und Versuche in der Natur und im Modell zu untersuchen.

Nach der Sturmflut vom 1. Februar 1953, die sehr schwere Deichschäden an der niederländischen Nordseeküste verursacht hatte, wurden dort bei der Wiederherstellung der Küstenschutzwerke in großem Umfange Sanddeiche mit Böschungsabdeckungen aus Asphaltbeton gebaut. Die in solchen Deichen infolge von Wasserstandsschwankungen auftretenden Wasserspannungen und -überdrucke sind damals in den Niederlanden durch Rechnung und Modellversuche eingehend erforscht worden (1). Die auf diesem Gebiet in den Niederlanden gewonnenen großen Erfahrungen sowie die dort vorhandenen Einrichtungen für elektrische Modellversuche zur Untersuchung von Wasserströmungen in durchlässigen Medien konnten durch das dankenswerte Entgegenkommen der niederländischen Wasserbehörde (Rijkswaterstaat) für die Gestaltung der im Hamburger Gebiet zur Ausführung vorgesehenen Regel-Deichprofile genutzt werden. Im Jahresberichtsheft der Wasserwirtschaft für das Rechnungsjahr 1962 (15) sind von der Landesverwaltung Hamburg die Ergebnisse dieser Untersuchungen wie folgt zusammengefaßt:

„Bei durchlässigem Untergrund müssen die Deckenstärken für den vollen maximalen Innendruck bemessen werden. Druckerhöhende Faktoren, wie Spundwände und Fußvorlagen, sind tunlichst zu vermeiden. Auf Innendrängern kann verzichtet werden.

Bei undurchlässigem Untergrund ist dagegen nur eine konstruktive Mindestdeckenstärke erforderlich, wenn sichergestellt wird, daß evtl. anfallendes Spalt- bzw. Sickerwasser nicht zu einem hydrostatischen Druck gegen die Decke führen kann. Hier ist deshalb stets eine Innenentwässerung erforderlich, die im allgemeinen nach hinten und nur in Sonderfällen, wo hinten keine Vorflut geschaffen werden kann, durch Fußfilter nach vorn abgeführt wird, wenn sich hinter dem Deich ein hinreichend breiter Erdkörper anschließt.

Bei wechselnd durchlässigem und undurchlässigem Untergrund muß dagegen aus Sicherheitsgründen sowohl die gegen Innendruck bemessene Deckenstärke als auch eine Innenentwässerung gegen Stauwasser vorgesehen werden.“

Die Anwendung dieser Versuchsergebnisse auf die Gestaltung der Querschnitte von Sanddeichen mit Klei- bzw. Asphaltdecken im Hamburger Raum ist von MEENEN und COUSIN (45) erläutert worden.

Außerdem sei auf folgende Literatur, die nach 1962 veröffentlicht wurde, hingewiesen (2, 3, 4, 24, 59, 64, 65). Sie wird für die Gestaltung von Klei- und Asphaltabdeckungen auf Deichen mit Sandkern zur Beachtung empfohlen.

4.4. Sackung und Setzung des Deichkörpers (zum Abschnitt B III der „Empfehlungen 1962“)

Sackung des aufgeschütteten Deichbodens⁵⁾ und Setzung des Deichkörpers⁶⁾ verringern im

⁵⁾ Sackung: Höhenverlust eines geschütteten Erdkörpers, der einen Teil seiner Bodenauflockerung durch Zusammenpressung infolge seines Gewichtes verliert.

⁶⁾ Setzung: Höhenverlust eines Deiches infolge Einsinkens in den Untergrund unter der Bodenauflast.

Laufe der Zeit die ursprünglich hergestellte Deichhöhe. Das Maß der Sackung kann auf Grund von Erfahrungen ziemlich genau bestimmt werden, dagegen erfordert die Abschätzung der Setzungsgröße in der Regel eine sorgfältige Untersuchung der bodenmechanischen Eigenschaften des Untergrundes in der Deichtrasse. In den „Empfehlungen 1962“ (S. 123) und in der „Schlußbemerkung“ (S. 128, Ziffer 3) ist daher angeregt worden, bei Deichneubauten sowie bei Deichverstärkungen und Deicherhöhungen entsprechende Bodenuntersuchungen vorzunehmen und den zeitlichen Sackungs- und Setzungsverlauf zu messen, um zukünftig für den Deichbau Unterlagen zur besseren Beurteilung der Bodenverhältnisse zur Verfügung zu haben. Die Meßergebnisse können auch schon während der Bauausführung Hinweise geben, an welchen Deichstrecken die veranschlagten Bodenmassen verändert werden müssen.

Einige veröffentlichte Meßergebnisse von Sackungs- und Setzungsbeobachtungen beim Deichbau aus den letzten Jahren seien nachstehend zusammengestellt.

a. Vorverlegung des Seedeiches bei Dornumer-Westeraccumer-Siel (7)

Länge des neuen Seedeiches: 2250 m.

Baugrund: 1 m dicke Kleischicht, darunter Sand, der in 6 m Tiefe von 1 bis 2 m starken Klei- und Torfbändern durchzogen ist.

Meßgeräte: Setzpegel (in 50 m Abständen) zur Messung des Setz- und Sackmaßes.

Ein Pegel mit Ummantelung des Pegelrohres zur Messung der Setzung.

Meßergebnisse: Bis zum Abschluß der Bauarbeiten (6 Monate) betrug die Setzung + Sackung maximal 97 cm, minimal 23 cm (vor Beginn der Bauarbeiten wurde dieses Maß zu 100 cm errechnet).

Die Setzung betrug 70 cm (etwa 6 1/2 Monate nach Baubeginn).

b. Vorverlegung des Seedeiches bei Bongsiel (37)

Länge des neuen Seedeiches: 7000 m.

Baugrund: 2 m dicke Feinsandschicht, darunter organische Bodenarten (Torfe, Darg, Ton-schluffe) und dann Sand.

Meßgeräte: 5 cm starke Rohrpegel mit angeschweißten Fußplatten (0,5 × 0,5 m).

Meßergebnisse: In der Seedeichachse zeigten die Pegel sehr unterschiedliche Setzungsmaße an. Zwei der Pegel sind nach 4 Jahren zur Ruhe gekommen (maximales Setz- und Sackmaß etwa 165 cm); ein Pegel erreichte nach 6 Monaten das Maximum mit etwa 45 cm; der am Schüttsiel liegende Pegel zeigte nach 4 Jahren noch unvermindert anhaltendes Setzen an (bisher 95 cm).

c. Vordeichung an der Knock (9)

Länge des neuen Seedeiches: 1700 m.

Baugrund: 4,1 bis 4,6 m dicke Schluff- und Schlickschicht, darunter eine bis 5,3 m starke Schicht von sandigem Schlick, dann folgen torfhaltige Schichten.

Meßgeräte: Pegelrohre mit einer 1 m² großen Fußplatte.

Meßergebnisse: Bei Fertigstellung des 3,4 bis 4,2 m hoch aufgeschütteten Deiches war etwa die Hälfte des Setzmaßes erreicht, dann Abklingen der Setzungen. Maximalwerte (nach 11 Monaten) 77 cm im Mittel; maximaler Wert 112 cm. Der eingespülte Sand ist nur wenige Zentimeter gesackt.

5. Versorgungsleitungen im Deich (zum Abschnitt B V der „Empfehlungen 1962“)

In den Deichkörper eingebaute Rohrleitungen für feste, flüssige oder gasförmige Stoffe und in Schutzrohren liegende Kabelleitungen können erfahrungsgemäß den Deich gefährden, indem sie bei hohen Außenwasserständen Durchsickerungen ermöglichen oder bei Brandungsschäden auf der Deichböschung zur Ausweitung der Schadensstellen führen. Auch notwendig werdende

Aufgrabungen, z. B. bei Reparaturarbeiten an den Leitungen, schwächen die Standfestigkeit des Deiches bei Sturmflut.

Zur Vermeidung derartiger Schäden ist in den „Empfehlungen 1962“ (S. 124) darauf hingewiesen, daß Versorgungsleitungen in keinem Fall in Längsrichtung im Deichkörper verlegt werden dürften und Kreuzungen von Leitungen mit Hauptdeichen auf ein Mindestmaß zu beschränken seien.

Im Hinblick auf die seit einigen Jahren sich immer mehr häufenden Anträge auf Genehmigung von Rohrverlegungen und -kreuzungen innerhalb der Deichgrenzen ist es, auch im Interesse einer einheitlichen Behandlung solcher Anträge in den vier Küstenländern Niedersachsen, Bremen, Hamburg und Schleswig-Holstein, notwendig geworden, Richtlinien für Bau und Betrieb von Versorgungsleitungen im Bereich von Hochwasserschutzanlagen aufzustellen. Es sei hier erwähnt, daß die für die mit der Bearbeitung dieser Richtlinien vom Küstenausschuß Nord- und Ostsee eingesetzte Arbeitsgruppe ihre Arbeit abgeschlossen hat, so daß mit ihrer Bekanntgabe demnächst gerechnet werden kann.

6. Deichvorland aus Verhüttungsrückständen (zum Abschnitt B VI der „Empfehlungen 1962“)

Über den Wert eines breiten und hohen Deichvorlandes als wirkungsvollen Schutz für Deiche, die dem Wellen- und Brandungsangriff bei Sturmflut ausgesetzt sind, besteht heute kein Zweifel mehr. In ihrem zusammenfassenden Bericht über die Untersuchungsergebnisse der Arbeitsgruppe „Sturmfluten“ (31) ist ausgeführt:

„Mit Sicherheit aber kann gesagt werden, daß mehr als durch jede Erhöhung die Standfestigkeit der Seedeiche durch solche Maßnahmen erhöht wird, die eine Verminderung des Wellenangriffes bewirken. Die Energie einer Welle ist etwa dem Quadrat ihrer Höhe proportional; eine Dämpfung der Seegangshöhe um nur 25 % bedeutet daher die Verminderung der Wellenenergie um fast die Hälfte. Vorländerhöhungen und Landanwuchs stellen daher ein ausgezeichnetes Mittel zur Erhöhung der Deichsicherheit dar.“ (S. 101)

Um auch an scharliegenden Deichstrecken, vor denen sich kein natürliches Vorland, selbst mit Unterstützung durch Landgewinnungswerke, wegen der dort herrschenden Strömungsverhältnisse bilden kann, bietet sich die künstliche Schaffung eines Vorlandes entweder durch Sand- bzw. Schlickaufspülung oder durch Materialanschüttung von der Landseite her an. Dieses letztgenannte Verfahren ist an einer scharliegenden Hauptdeichstrecke an der Außenems mit der Vorschüttung von Verhüttungsrückständen erprobt worden (8, 23, 25, 50). Die bei dieser Versuchsschüttung gewonnenen Erfahrungen und technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte sind von einem Arbeitskreis des Küstenausschusses Nord- und Ostsee untersucht worden (32). Der Arbeitskreis ist zu dem Ergebnis gekommen, daß sich Verhüttungsrückstände für die Schaffung eines künstlichen Deichvorlandes hinsichtlich der Wechselbeziehungen zwischen angreifenden Wasserkraften (Strömung, Wellen, Brandung) und Lagestabilität gut eignen. Die Herstellungskosten für das laufende Meter Vorland aus Verhüttungsrückständen liegen annähernd auf gleicher Höhe wie die Kosten für die künstliche Vorlandschaffung nach anderen Verfahren, z. B. durch Sand- oder Schlickaufspülung. Wägt man die Vor- und Nachteile, die eine Aufspülung mit Wattboden bzw. eine Aufschüttung mit Verhüttungsrückständen haben, gegeneinander ab, so dürfte insgesamt der Aufspülung der Vorzug zu geben sein.

7. Deichpflege (zum Abschnitt VIII der „Empfehlungen 1962“)

7.1. Bekämpfung schädlicher Tiere in Erddeichen

In den „Empfehlungen 1962“ (S. 125) ist auf eine gute Pflege der Erddeiche im Interesse der Erhaltung ihrer Wehrkraft bei Sturmflut oder Hochwasser hingewiesen worden. Hierbei spielt die Erhaltung einer guten Grasnarbe wie auch die Bekämpfung tierischer und pflanzlicher Schädlinge, die am oder im Deich ihre Lebensbedingungen finden, eine wichtige Rolle. Über diese Probleme hat WOHLBERG (62) eine umfassende Untersuchung vorgelegt, in der er auch die Gefährdung durch die Tierwelt (Mäuse, Maulwürfe, Wildkaninchen, Füchse sowie Kleintiere, wie Käfer, Spinnen, Würmer, Maden) und auf die erforderlichen Abwehrmaßnahmen eingeht. In einem ausführlichen Schriftenverzeichnis sind die etwa seit 1930 erschienenen Veröffentlichungen aus diesem Forschungsgebiet zusammengestellt.

In den letzten Jahrzehnten hat sich als weiterer Schädling im Küstengebiet die Bismartrate bemerkbar gemacht und verschiedentlich sowohl an Haupt- und Hochwasserdeichen als auch an Vordeichen (Sommerdeichen) Schäden angerichtet. Über die Bekämpfung dieses gefährlichen Schädlings und über die Beurteilung bisamtsicherer Bauweisen bzw. Baustoffe haben GERSDORF (12) und STEINIGER (60) berichtet.

Eingehende Untersuchungen über die Einwirkungen von Tier- und Pflanzenbesiedlungen (Seepocken, Miesmuscheln, Algen) auf Asphaltbauwerke im Seewasser sind von der Niederländischen Arbeitsgruppe „Geschlossene Abdeckungen von Deichböschungen“ (3) und von der Forschungsstelle Norderney ausgeführt worden (46).

7.2. Beanspruchung der Küstenschutzwerke durch den Fremdenverkehr

Die Nord- und Ostseeküsten wie auch die davor liegenden Inseln und Halligen sind für die Bevölkerung des Bundesgebietes seit langem wichtige Erholungsstätten. Nach 1945 hat sich der Fremdenverkehr an der Küste durch die Motorisierung in ständig zunehmendem Maße vergrößert und sich bis heute zu einer Menschenflut gesteigert, die an vielen Strand- und Uferstrecken zu einer ersten Gefahr für den Bestand der dort befindlichen Küstenschutzwerke zu werden droht bzw. bereits geworden ist.

Auf diese neuentstandene Gefahrenquelle ist in den „Empfehlungen 1962“ (S. 125/126) bereits hingewiesen worden. Welche Folgerungen aus dieser Entwicklung zu ziehen sind, haben RODLOFF (55) und OLSCHOWY (48) dargelegt. Wenngleich diese Untersuchungen sich grundsätzlich auf die Ostseeküste beziehen, haben doch viele der gewonnenen Erkenntnisse auch für die Nordseeküste Bedeutung, für die zwar geographische Untersuchungen über den Fremdenverkehr, der nach 1945 stetig, teilweise sogar sprunghaft zugenommen hat, vorliegen (34), die sich jedoch nicht mit den hieraus zu ziehenden Folgerungen für die Strand- und Küstenschutzwerke befassen.

8. Erläuterung der in den „Empfehlungen 1962“ verwendeten Sturmflutbegriffe (zum Abschnitt C der „Empfehlungen 1962“)

In den „Empfehlungen 1962“ sind Sturmflutbegriffe verwendet worden, die nicht besonders erläutert wurden, weil sie aus den gewässerkundlichen und seebautechnischen Veröffent-

lichungen als bekannt vorausgesetzt werden konnten. Bei der praktischen Anwendung der „Empfehlungen 1962“ hat sich jedoch gezeigt, daß einige Begriffe falsch ausgelegt wurden, so daß Mißverständnisse auftraten, die zu widersprüchlichen Auffassungen führten. Die Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke“ hat in einem Bericht zu diesen Fällen Stellung genommen und die Widersprüche aufgeklärt (30). Es erscheint zweckmäßig, nachstehend die in Betracht kommenden Sturmflutbegriffe zu erläutern.

Sturmflut (33, 39, 43, 44)

Durch Wind, in geringem Maße auch durch Luftdruckänderung erzeugte hohe Wasserstände an der Küste und in Flußmündungsgebieten. Nach der eingetretenen Höhe des Sturmflutwasserstandes werden die Sturmfluten an der Nordseeküste unterteilt in:

leichte Sturmfluten: der höchste Wasserstand liegt im Häufigkeitsbereich 10 bis 0,5 pro Jahr,
schwere Sturmfluten: der höchste Wasserstand liegt im Häufigkeitsbereich 0,5 bis 0,05 pro Jahr,
sehr schwere Sturmfluten: der höchste Wasserstand liegt unter der Häufigkeitsgrenze 0,05 pro Jahr.

Sturmflutwasserstand (19)

Der wellenfreie Ruhewasserstand eines Sturmflutscheitels, wie er von einem gut wellengedämpften Schreibpegel aufgezeichnet wird.

maßgebender Sturmflutwasserstand (20, 27, 41, 44, 56)

Der für die Festsetzung des Besticks der Haupt- und Hochwasserdeiche maßgebende Bemessungswasserstand.

Seine Berechnung für die Deiche an der schleswig-holsteinischen Westküste ist von PETERSEN (49) und für die niedersächsische Küste von LÜDERS (40) beschrieben.

zu erwartender höchster Sturmflutwasserstand

Sturmflutwasserstand von einer Höhe, mit der im laufenden Jahrhundert (bis etwa 2050) gerechnet werden muß. Er entspricht dem maßgebenden Sturmflutwasserstand (= Bemessungswasserstand) bzw. nach SCHELLING (56) dem höchstmöglichen Sturmflutwasserstand.

höchstmögliche Sturmflut

Summe aus dem höchstmöglichen Sturmflutwasserstand und dem höchstmöglichen Wellenaufwurf (20). Beide Einzelwerte stellen absolute Grenzwerte dar, die naturgesetzlich nicht überschritten werden können.

Die Vorausberechnung der höchstmöglichen Sturmflut entzieht sich der menschlichen Erkenntnis.

9. Schlußbetrachtung

(zum Abschnitt E der „Empfehlungen 1962“)

In den „Empfehlungen 1962“ (S. 128) sind verschiedene Probleme genannt, deren Untersuchung durch Beobachtungen und Versuche in der Natur und im Modell zur Klärung der Wechselwirkung zwischen den angreifenden Naturkräften und der Standfestigkeit der Küstenschutzwerke sich als notwendig herausgestellt hatte. Wie aus dem vorliegenden „Nachtrag“ zu ersehen ist, konnten in den seit der Veröffentlichung der „Empfehlungen 1962“ verflossenen Jahren wesentliche neue Erkenntnisse auf den genannten Forschungsgebieten erreicht werden. Ebenso sind bei der baulichen Gestaltung der Deiche und ihrer Anlagen wichtige Erkenntnisse gewonnen worden.

Trotz aller Fortschritte, die nach der Februar-Sturmflut 1962 auf dem Gebiet des Küstenschutzes bisher erreicht werden konnten, bleibt aber noch viel zu tun, um alle Gefahren der See, die das Küstenland und seine Bewohner zukünftig bedrohen, zu jeder Zeit ausreichend abwehren zu können.

Schriftenverzeichnis

1. BISCHOFF VAN HEEMSKERCK, W. C.: Wasserspannungen unter Asphaltdeckwerken von Deichen. – Wasser und Boden 15 (1963), H. 5.
2. DAVIDENKOFF, R.: Deiche und Erddämme. – Sickerströmung und Standsicherheit. Werner-Verlag Düsseldorf, 1964.
3. Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau: Deutsche Übersetzung des „Voorlopig Rapport 1961“ der „Werkgroep Gesloten Dijkbekledingen“. – Essen 1963.
4. Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Arbeitskreis „Asphaltbauweisen“: Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau. – Essen 1964.
5. DRESKE, G.: Der Wellenschreiber WES – 63 der Forschungsstelle Norderney. – Forschungsstelle Norderney, Jahresbericht 1963, Band XV, Norderney 1964.
6. DRINKGERN, G.: Die Binnenberme mit dem Ringschlot bei Hauptdeichen. – Wasser und Boden 15 (1963), H. 11.
7. DRINKGERN, G.: Seedeichbau in Ostfriesland bei Dorumer- und Westeraccumersiel. – Wasser und Boden 16 (1964), H. 8.
8. ERCHINGER, H. F.: Küstenschutz durch Vorlandgewinnung. – Wasser und Boden 19 (1967), H. 10.
9. ERCHINGER, H. F.: Deichbau an der Knock. – Wasser und Boden 21 (1969), H. 2.
10. FRANZIUS, L.: Wirkung und Wirtschaftlichkeit von Rauhdeckwerken im Hinblick auf den Wellenauflauf. – Mitt. Franzius-Institut H. 25, Hannover 1965.
11. FÜHRBÖTER, A.: Der Druckschlag durch Brecher auf Deichböschungen. – Mitt. Franzius-Institut H. 28, Hannover 1966.
12. GERSDORF, E.: Zur Bisam-Abwehr. – Wasser und Boden 22 (1970), H. 2.
13. GISZAS, H.: Wasserstandsaufzeichnungen von der Elbe aus den Jahren 1811 bis 1813. – Hamburger Küstenforschung, H. 5, Hamburg 1969.
14. GRÜTTNER, H.: Die Abdeichung der Pinnau- und Krückau-Mündungsgebiete. – Wasser und Boden 22 (1970), H. 4.
15. Hamburg (Landesverwaltung): Jahresbericht der Wasserwirtschaft für das Rechnungsjahr 1962. – Wasser und Boden 15 (1963), H. 3/4.
16. HENSEN, W.: Modellversuche über den Wellenauflauf an Seedeichen im Wattengebiet. – Mitt. Franzius-Institut, H. 5, Hannover 1954.
17. HENSEN, W.: Modellversuche zur Bestimmung des Einflusses der Form eines Seedeiches auf die Höhe des Wellenauflaufes. – Mitt. Franzius-Institut, H. 7, Hannover 1955.
18. HENSEN, W.: Modellversuche für die Elbe. Franzius-Institut der TH Hannover, 1964 (unveröffentlicht).
19. HENSEN, W.: Bericht der Arbeitsgruppe „Sturmfluten“ im Küstenausschuß Nord- und Ostsee. – Die Küste 14 (1966), H. 1.
20. HUNDT, CL.: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste. – Die Küste 3 (1955), H. 1/2.
21. HUNDT, CL.: Der maßgebende Sturmflutseegang und Wellenauflauf für das Deichbestick der deutschen Nordseeküste auf Grund der Sturmflut vom 16. Februar 1962. – Die Küste 10 (1962), H. 2.
22. HUNDT, CL.: Beitrag zur Frage des maßgebenden Sturmflutseegangs vor einem Deich am Watt, Beispiel Büsum. – Die Küste 10 (1962), H. 2.
23. JANSSEN, TH.: Gutachten über die Möglichkeit der Unterbringung von Verhüttungsrückständen im Vorfeld der niedersächsischen Nordseeküste (vom 5. 12. 1964), unveröffentlicht.
24. KLEMP, W.: Wasserstandsbeobachtung in Deichen. – Wasser und Boden 18 (1966), H. 11.
25. KRAMER, J.: Neue Deiche, Siele und Schöpfwerke zwischen Dollart und Jadebusen (ab 1945). In: Ostfriesland im Schutze des Deiches, Band II. – Pewsum (Ostfr.) 1969.

26. KRÜGER, H.: Die Sturmflutsperrwerke in den Mündungen der Krückau und Pinnau. – Wasser und Boden 22 (1970), H. 4.
27. Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Arbeitsgruppe „Sturmflut vom 1. Februar 1953“: Empfehlung für die Ermittlung eines „maßgebenden Sturmflutwasserstandes“ für die Bemessung der Seedeiche. – Die Küste 4 (1955), S. 53/54.
28. Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke“: Empfehlungen für den Deichschutz nach der Februar-Sturmflut 1962. – Die Küste 10 (1962), H. 1.
29. Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Arbeitsgruppe „Sturmfluten“: Ergebnisbericht 1: Der maßgebende Sturmflutseegang und Wellenaufbau an den Deichen. – Die Küste 10 (1962), H. 2.
30. Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke“: Stellungnahme zur Kritik der „Empfehlungen für den Deichschutz nach der Februar-Sturmflut 1962“ im Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 1966. – Bericht vom 4. 7. 1967, unveröffentlicht.
31. Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Arbeitsgruppe „Sturmfluten“: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse der ehemaligen Arbeitsgruppe „Sturmfluten“ und Empfehlungen für ihre Nutzenanwendung beim Seedeichbau. – Die Küste, 1969, H. 17.
32. Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Fachgebiet „Küstenschutz“ des Technisch Wissenschaftlichen Beirats: Deichsicherung durch Verhüttungsrückstände. – Die Küste 1969, H. 18.
33. Küsten-Pegelausschuß: Zusammenstellung gewässerkundlicher Fachausdrücke aus dem Küsten- und Tidegebiet. – Unveröffentlicht.
34. KULINAT, KL.: Geographische Untersuchungen über den Fremdenverkehr der niedersächsischen Küste. – Veröff. Nieders. Inst. für Landeskunde und Landesentwicklung, NF Reihe A Bd. 92, 1969.
35. LAUCHT, H.: Hochwasserschutz im Hafen Hamburg (Teil 1 und 2). – Jahrb. HTG 29 (1964) und 30 (1966/68).
36. LAUCHT, H.: Über hohe Sturmfluten und ihre Häufigkeit in Hamburg. – Schriftenreihe der Behörde für Wirtsch. u. Verkehr der Freien und Hansestadt Hamburg, Nr. 4, 1967.
37. LEBHERZ, D.: Hochwasserentlastung Bongsiel an der schleswig-holsteinischen Westküste. – Wasser und Boden 16 (1964), H. 8.
38. LIESE, R.: Beitrag zur Klärung der Brandungsschäden an den Deichen. – Deutsche Gewässerkl. Mitt. 6 (1962), H. 4.
39. LÜDERS, K.: Was ist eine Sturmflut? – Wasser und Boden 8 (1956), H. 1.
40. LÜDERS, K.: Wiederherstellung der Deichsicherheit an der deutschen Nordseeküste von der holländischen Grenze bis zur Elbe. – Wasser und Boden 9 (1957), H. 2.
41. LÜDERS, K.: Bericht der Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke“. – Die Küste 14 (1966), H. 1.
42. LÜDERS, K.: Veröffentlichungen über die Februar-Sturmflut 1962 (Stand 1966). – Die Küste 14 (1966), H. 1.
43. LÜDERS, K.: Kleines Küstenlexikon (2. Aufl.). – Hildesheim, 1967.
44. LÜDERS, K., und LEIS, G.: Kommentar zum Niedersächsischen Deichgesetz. – Hamburg 1964.
45. MEENEN, K., und COUSIN, B.: Untersuchungen zur Profilgestaltung der Hamburger Deiche. – Wasser und Boden 16 (1964), H. 8.
46. MÜLLER, C. D.: Untersuchungen über die Einwirkungen von Tier- und Pflanzenbesiedlungen auf Asphaltbauwerke im Seewasser. – Forschungsstelle Norderney, Jahresbericht 1966, Band XVIII, Norderney 1968.
47. NAUJOKS, L.: Vorschläge für die Verdichtung von Klei. – Wasser und Boden 15 (1963), H. 7.
48. OLSCHOWY, G.: Landespflegerische Probleme an der deutschen Ostseeküste. – Wasser und Boden 22 (1970), H. 2.
49. PETERSEN, M.: Über die Grundlagen zur Bemessung der schleswig-holsteinischen Landesschutzdeiche. – Die Küste 3 (1955), H. 1/2.
50. RAGUTZKI, G.: Bodenphysikalische Untersuchungen zur Frage der Verwendbarkeit von Verhüttungsrückständen im Küstenschutz. – Forschungsstelle Norderney, Jahresbericht 1966, Band XVIII, Norderney 1968.
51. RAGUTZKI, G.: Beurteilung von Kleiabdeckungen ostfriesischer Seedeiche auf der Grundlage bodenphysikalischer Kennwerte. – Forschungsstelle Norderney, Jahresbericht 1967, Band XIX, Norderney 1969.
52. RODEWALD, M.: Zur Frage der Böigkeit des Windes bei Sturmflut-Wetterlagen. – Die Küste, 1968, H. 1.

53. RODLOFF, W.: Gedanken über Deichprofile und ihre Gestaltung nach der Sturmflut vom 16./17. 2. 1962. – Dienstbericht vom 19. 6. 1962, unveröffentlicht.
54. RODLOFF, W.: Über die Form von Seedeichen mit Grasdecke. – Wasser und Boden 15 (1963), H. 2.
55. RODLOFF, W.: Über den Einfluß des Fremdenverkehrs auf die Schutzanlagen der Ostseeküste Schleswig-Holsteins und die daraus zu ziehenden Folgerungen. – Die Wasserwirtschaft 56 (1966), H. 12.
56. SCHELLING, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein. – Die Küste 1 (1952), H. 1.
57. SIEFERT, W.: Sturmflutvorhersage für den Tidebereich der Elbe aus dem Verlauf der Windstaukurve in Cuxhaven. – Mitt. Franzius-Institut, H. 30, Hannover 1968.
58. SIEFERT, W.: Die Sturmflut von 1825 in der Elbe. – Hamburger Küstenforschung, H. 5, Hamburg 1969.
59. STEFAN, H.: Bemerkungen zur Durchlässigkeit von Sandschüttungen. – Wasser und Boden 19 (1967), H. 9.
60. STEINIGER: Wühltierwirkung auf Deichbaufolien. – Wasser und Boden 20 (1968), H. 8.
61. WISMER: Untersuchungen über den Einfluß des Oberwassers der Elbe auf die Wasserstände an den Pegeln Cuxhaven-Steubenhöft und Hamburg-St. Pauli. – Kleine Studie 51 der Wass.-u. Schiff.Dir. Hamburg, 1966.
62. WOHLBERG, E.: Deichbau und Deichpflege auf biologischer Grundlage. – Die Küste 13 (1965).
63. ZEHLE, D.: Das Profil von Seedeichen und Deckwerken. – Wasser und Boden 15 (1963), H. 11.
64. ZITSCHER, F. F.: Analyse zur Bemessung von Außenböschungen scharliegender Seedeiche gegen Wellenbeanspruchung. – Wasser und Boden 14 (1962), H. 10.
65. ZÖLLNER, E.: Entwässerung von Deichkörpern mit Sandkern und Kleiabdeckung. – Wasser und Boden 15 (1963), H. 11.