

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE



3950-A-2012-00000107

JAHRGANG 3

31. MÄRZ 1955

DOPPELHEFT 1/2

Die Küste, 3 (1955), 1-185

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE

HERAUSGEBER
DER KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE

JAHRGANG 1954
DOPPELHEFT 1/2

DRUCK UND KOMMISSIONSVERLAG:
WESTHOLSTEINISCHE VERLAGSANSTALT BOYENS & CO. HEIDE I. HOLST.

Anschriften der Verfasser dieses Heftes:

AGATZ, Arnold, Professor Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing., Bremen, Kirchenstr. 4; HER MAJESTY'S STATIONERY OFFICE, DEPARTMENTAL COMMITTEE ON COASTAL FLOODING, LONDON, E.C.1.; DITTMER, Ernst, Dr., Marschenbauamt Husum — Forschungsstelle Westküste —, Husum, Nissenhaus; GAYE, Julius, Ministerialrat i. R., Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247; HUNDT, Claus, Dipl.-Ing., Marschenbauamt Heide — Pegelaußenstelle Büsum; IWERSEN †, Jens, Professor Dr.; KRESSNER, Bernhard, Baudirektor Dr.-Ing., Behörde für Wirtschaft und Verkehr — Strom- und Hafenbau —, Hamburg 11, Dalmannstr. 3; LORENZEN, Johann M., Wasserstraßendirektor, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247; LÜDERS, Karl, Oberregierungs- und -baurat Dr.-Ing., Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hannover, Calenbergerstr. 2; PETERSEN, Marcus, Regierungs- und Baurat Dr.-Ing., Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein, Kiel, Mühlenweg 166; TOMCZAK, Gerhard, Regierungsrat Dr., Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Str. 78.

Die Verfasser sind für den Inhalt ihrer Aufsätze allein verantwortlich.
Nachdruck aus dem Inhalt nur mit Genehmigung des Herausgebers: Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Ministerialrat i. R. GAYE, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247, gestattet.
Schriftleiter: Dr. habil. E. WOHLBERG, Husum, Nissenhaus.

Ministerialrat Erich Weinnold

† 20. Mai 1954



Im Alter von noch nicht 62 Jahren verstarb der Leiter der Abteilung Wasserwirtschaft im Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein, Ministerialrat ERICH WEINNOLDT.

Ministerialrat WEINNOLDT gehörte zu den wenigen Fachleuten des Seewasserbaues, die sich schon bald nach dem Zusammenbruch im Jahre 1945 darüber klar wurden, daß die wissenschaftlichen Forschungen im Seegebiet mehr als je in unserem verarmten Vaterland als Grundlage für die baulichen Planungen dienen müßten. Die großen Bauten im Seegebiet sowie die Regelung der Tideflüsse für Schifffahrt und Vorflut, der Bau von Häfen, der Schutz der Küste und der Inseln gegen die Angriffe des Meeres und die Landgewinnungsarbeiten erfordern außerordentlich hohe Mittel. Diese Mittel technisch und wirtschaftlich so planvoll einzusetzen, daß Fehlschläge unter allen Umständen vermieden werden, war dem Verstorbenen ein ernstes Anliegen. Dafür ist es erforderlich, daß unsere noch sehr lückenhaften Kenntnisse auf den Gebieten der Gezeiten und Gezeitenströmungen, der Wellen, des Windes und des Luftdruckes, der Küstenhebung oder Küstensenkung, des Anstiegs oder Abfalls des Meeresspiegels, der Sturmfluten und auf vielen anderen Gebieten der Küstenforschung vertieft und erweitert werden.

Der Verstorbene hat sich schon in den Jahren 1947 und 1948 dafür eingesetzt, daß die Forschungen im Seegebiet wieder aufgenommen und von Staats wegen gefördert würden. Er gehörte zu den Männern, die im Herbst des Jahres 1949 den Küstenausschuß Nord- und Ostsee gründeten. Dabei war es ihm besonders darum zu tun, die Forschungen der ver-

schiedenen, an der See tätigen Wasserbaubehörden, wissenschaftlichen Institute und einzelner, besonders interessierter Fachleute zusammenzufassen, um einerseits Doppelarbeit zu vermeiden und andererseits den größten Wirkungsgrad der erlangten Erkenntnisse zu erzielen. So übernahm Weinnoldt im Verwaltungsausschuß des Küstenausschusses die Vertretung des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein und im Arbeitsausschuß die Leitung der Arbeitsgruppe „Landgewinnung im Zusammenhang mit Küstenschutz und Wasserwirtschaft“.

Auf seine Veranlassung arbeitete Oberregierungsbaurat SCHELLING seine richtungweisende Veröffentlichung über *„Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum“* aus (siehe Jahrgang I, Heft 1). WEINNOLDT hat diese Arbeit ständig gefördert und sie durch die Arbeitsgruppe „Sturmfluten“ des Küstenausschusses gutachtlich beurteilen lassen.

Nach der katastrophalen Sturmflut vom 1. Februar 1953 in Südholland und Südostengland forderte er wiederum vom Küstenausschuß eine gutachtliche Stellungnahme zu der Frage der Ursache und Wirkung dieser Sturmflut im Hinblick auf die Sicherheit der Deiche an der schleswig-holsteinischen Westküste.

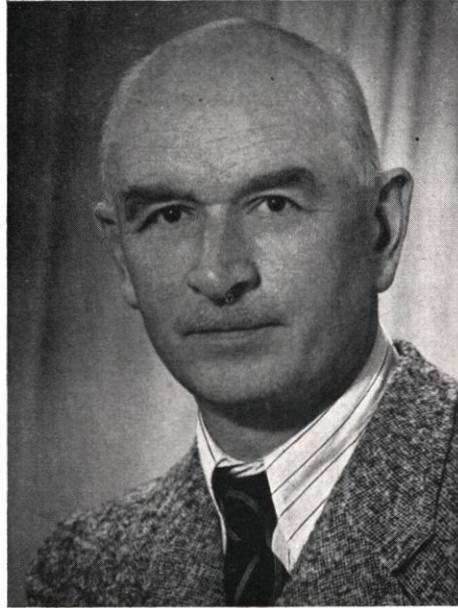
WEINNOLDT hat sich ferner stets dafür eingesetzt, daß die Forschungsergebnisse veröffentlicht wurden und so zur allgemeinen Kenntnis nicht nur der Fachleute, sondern auch der Wasser- und Bodenverbände und anderer Interessenten gelangten, und zwar sowohl im Inland als auch im Ausland. In diesem Gedanken hat er die vom Küstenausschuß herausgegebene Schriftenreihe „Die Küste“ immer wieder durch Beiträge seiner Mitarbeiter und durch Zuschüsse gefördert sowie aus seiner eigenen Verwaltung den Schriftleiter zur Verfügung gestellt.

So ist der Küstenausschuß dem Verstorbenen zu aufrichtigem Dank verpflichtet. Sein Andenken wird im Kreise der Mitarbeiter des Küstenausschusses lebendig bleiben.

Der Küstenausschuß Nord- und Ostsee

Professor Dr. Jens Iwersen

† 1. Juli 1954



Kraftvoller Einsatz und schwächliches Versagen haben im Kampf des Menschen mit dem Meere alle Zeit wie Flut und Ebbe gewechselt. Wie weit der Kampf kraftvoll geführt wird, hängt davon ab, ob einer Generation Menschen geschenkt werden, die berufen sind, Träger der Aufgabe zu sein. In JENS IWERSEN ist uns ein Mensch geschenkt worden, der entscheidenden Anteil an einer durch drei Jahrzehnte dauernden Aufwärtsentwicklung der Arbeit an der Westküste gehabt hat.

Wenn man, wie es mir vergönnt war, JENS IWERSEN in vierzigjähriger Freundschaft und in dreißigjähriger enger und ernster Arbeit um die Westküste verbunden gewesen ist, so liegt darin sicher ein Auftrag, gerade in dieser Schrift des großen Streiters für die Westküste zu gedenken. Das weite Feld, das JENS IWERSEN gepflügt und bestellt hat, kann ich in wenigen Zeilen nicht umspannen und erst recht nicht würdigen. Das wird einmal an anderer Stelle geschehen.

Der Boden, auf dem JENS IWERSENS großes Können und seine Leistungen gediehen, war sein Elternhaus, der Bauernhof in Hattstedt, und er blieb es bis zuletzt. Der Hattstedter Kirchturm, den JENS IWERSEN in Zeiten tiefer volklicher Not auf seinen Hattstedter Heimatabenden so eindringlich als Zeugen der Geschichte unseres Landes anrief, hat auf das Werden und Vergehen seiner Vorfahren und seiner nordfriesischen Heimat herabgeschaut. Er sah JENS IWERSENS erste Jugend, seinen Kampf, seine Arbeit und seinen letzten Erdenweg. IWERSEN war sich dessen tief bewußt und hat es oft ausgesprochen, daß die Heimat für ihn die Quelle seiner Kraft, ja, seines ganzen Lebenswerkes gewesen ist. In ihr hat er sich auch in Zeiten tiefer äußerer und

innerer Not immer wieder gefunden. Dieses Heimatbewußtsein und die darauf gewachsene freie und feste Haltung sind, wie wohl immer, so auch von ihm nur in schweren Kämpfen und unter tiefem Leid erreicht worden.

Sein Wille und seine Liebe zum praktischen bäuerlichen Beruf erfuhren durch seine schwere Verwundung im 1. Weltkrieg eine harte Prüfung, aber auch eine tiefe Läuterung und Wandlung. In vier Jahren erreichte der körperlich und seelisch schwer verwundete Kriegsfreiwillige ohne fremde Hilfe den Aufstieg von der Volksschule zum Abschluß der höheren Schule, des landwirtschaftlichen Studiums und zu einer hervorragenden Promotion.

Eine starke pädagogische Begabung führte ihn zunächst in den Lehrberuf. Hier hat er in fünfzehnjähriger Tätigkeit als Leiter landwirtschaftlicher Schulen, besonders in Heide, einem großen Kreis junger Bauern sein umfassendes Wissen um Wasser, Boden und Betrieb in der Marsch vermittelt. Seine Art zu lehren hat sich wie sein ganzes Wesen seinen Schülern unverlierbar eingeprägt.

Hatte er schon seine Lehrtätigkeit, wo immer er konnte, durch forschende eigene Arbeit befruchtet, so wandte er sich, als er dazu berufen wurde, ganz der wissenschaftlichen Untersuchung wichtiger Zusammenhänge von Wasser und Boden in Marsch und Watt zu, und in dieser seiner Lieblingsarbeit hat er seiner Heimat und der gesamten Wissenschaft und Praxis in abermals fünfzehnjährigem, überaus schöpferischem Wirken wohl sein Bestes gegeben.

Für ihn war die Ausweitung seiner Arbeit über die Marsch, der seine besondere Liebe galt, an den Deich, ins Vorland und ins Watt hinaus bis zu den Inseln und Halligen ebenso wie die Untersuchung der ewig neu gestaltenden Kräfte der Gezeiten und ihre Beeinflussung naturgegeben und selbstverständlich. Er hatte seine Erkenntnis des unlösbaren Zusammenhanges von Marsch, Deich, Ebbe und Flut, von Vorflut, Deichschutz und Landgewinnung bereits in der Mitte der zwanziger Jahre zu praktischen Vorschlägen ausgebaut und in dieser Zeit in enger Zusammenarbeit mit Wasserbaufachleuten den Grundstein für eine umfassende Forschung und Planung im ganzen Küstenraum gelegt.

Aus seiner Arbeit für die Westküste kann hier nur ein ganz kurzer und unvollständiger Ausschnitt gegeben werden, gab es doch kaum ein ernstes Problem der Marschen und des Wattenmeeres, zu dem der Bodenkundler, der Wasserwirtschaftler, der praktische Landwirt und der Betriebswirtschaftler JENS IWERSEN nicht sein gewichtiges Wort gesagt und nicht seinen wissenschaftlich beispielhaften Beitrag geleistet hätte. Es waren im besonderen vier Hauptfragen, um die sich IWERSEN bemüht und in denen er wissenschaftlich und praktisch, forschend und gestaltend Großes geleistet hat, nämlich:

- das Problem der Landgewinnung und der Nutzbarmachung von Neuland und Wattböden, die Aufgabe der Gesundung und des betriebswirtschaftlichen Wiedereinbaues des alten und alternden Marschbodens,
- die landwirtschaftlich-betriebswirtschaftlichen Formen in Marsch und Geest, ihre Prüfung und Neuordnung und
- die Schlickverwertung in der Landwirtschaft.

In allen Gebieten hat JENS IWERSEN Neuland beschritten und gewonnen. Die „Westküste“ und später „Die Küste“ haben wesentliche Teile dieser Arbeiten veröffentlicht, ohne jedoch das Gesamtergebnis auch nur annähernd darstellen zu können. Diese Arbeiten, auf die hier nur hingewiesen werden kann, sprechen in ihrer sachlichen Gründlichkeit, in der Klarheit der Darstellung und in ihrer zwingenden Folgerichtigkeit für sich. Ein großer Teil ihrer Ergebnisse ist längst Gemeingut von Wissenschaft und Praxis geworden. Viele Folgerungen und Forderungen IWERSENS aus seiner Erkenntnis blieben noch unausgewertet und unerfüllt, — nicht, weil sie unerfüllbar sind, sondern weil die Unzulänglichkeit der Menschen und ihrer Einrichtungen heute wie von jeher den Kompromiß der klaren Lösung vorzieht.

So sehr IWERSEN auch seiner engeren beruflichen Arbeit und seiner deutschen nordfriesischen Heimat verbunden war, so hat er doch stets die Notwendigkeit der Zusammenarbeit über die Grenzen des eigenen Berufes und des Landes hinaus betont. Im Ausschuß Westküste und später im Küstenausschuß Nord- und Ostsee, an deren Entstehen er starken Anteil hatte,

hat er die Einheit aller Aufgaben im Küstenraum der Deutschen Bucht und die Gemeinschaft von Wissenschaft und Praxis immer wieder aufgezeigt und im eigenen Arbeitsbereich zur Tat werden lassen.

In den letzten Jahren war es ihm noch vergönnt, im Rahmen eines Lehrauftrages der schleswig-holsteinischen Landesuniversität im Hörsaal und auf zahlreichen Exkursionen sein reiches Wissen an die akademische Jugend weiterzugeben, die ihn verehrte und ihn nicht vergessen wird.

IWERSENS Aufgabe für die Heimat und für die Küste ist ganz erfüllt worden, auch wenn er uns noch viel hätte geben können. Noch nicht erfüllt aber ist seine Forderung an uns, seine Lebensarbeit fortzusetzen und zu einem für die Küste und ihre Menschen dauerhaften Bestand auszubauen.

Die friesische Landschaft und das friesische Erbgut in ihm haben ebenso wie die harten Schicksalsschläge JENS IWERSEN früh einsam, für die meisten Menschen verschlossen werden lassen. Seine bedingungslos ehrliche, gerade und unbeugsame Haltung ist ein Spiegel ständiger unerbittlicher Arbeit an sich selber. Er hat von anderen nichts gefordert, was er nicht selbst vorgelebt hätte und jederzeit zu tun bereit gewesen wäre.

JENS IWERSEN hat seiner Heimat, der er so viel verdankte, aber auch allen um die Probleme der Küste ringenden Menschen unendlich viel geschenkt.

JOHANN M. LORENZEN

Inhaltsverzeichnis

AGATZ, Arnold, Professor Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Eröffnungsansprache anlässlich der ersten Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 23. März 1954 in Hannover	11
GAYE, Julius, Ministerialrat i. R. Die deutsche Küstenforschung und der Seewasserbau	13
LORENZEN, Johann M., Wasserstraßendirektor Hundert Jahre Küstenschutz an der Nordsee	18
KRESSNER, Bernhard, Dr.-Ing., Baudirektor Schlickbaggerung und Schlickverwertung bei der Wasserbauverwaltung	33
IWERSEN †, Jens, Professor Dr. Verwertung von Schlick in der Landwirtschaft	42
LÜDERS, Karl, Dr.-Ing., Oberregierungs- und -baurat Allgemeine Bemerkungen zum Bilanzbericht „Wasserbauliche Hydrometrie“	67
DEPARTMENTAL COMMITTEE ON COASTAL FLOODING Die Sturmflut vom 31. Januar/1. Februar 1953 in England. Cambridge, 1954	70
TOMCZAK, Gerhard, Dr., Regierungsrat Was lehrt uns die Holland-Sturmflut 1953?	78
HUNDT, Claus, Dipl.-Ing. Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste	96
PETERSEN, Marcus, Dr.-Ing., Regierungs- und Baurat Über die Grundlagen zur Bemessung der schleswig-holsteinischen Landesschutz- deiche	153
DITTMER, Ernst, Dr. Deichverstärkung und Baugrund	181

Eröffnungsansprache anlässlich der ersten Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 23. März 1954 in Hannover

Mit Unterstützung des Herrn Niedersächsischen Ministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und Seiner Magnifizenz des Herrn Rektors der Technischen Hochschule Hannover fand am 23. März 1954 in Hannover die erste Arbeitstagung des gesamten Küstenausschusses Nord- und Ostsee statt.

Ich darf den Herren Vertretern der Bundesministerien und der Länderministerien aus Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Hamburg und Bremen unseren herzlichsten Dank sagen, daß sie durch ihr Erscheinen ihr großes Interesse an den Aufgaben des Küstenausschusses bekunden. Seien Sie versichert, daß der Küstenausschuß nach wie vor seine Aufgabe darin sieht, daß die Forschungen, Planungen und Seebauarbeiten im gesamten Küstengebiet insofern aufeinander abgestimmt werden, als die an einzelnen Stellen der Küste gewonnenen Erfahrungen für das gesamte Gebiet ausgewertet und daß unerwartete Folgen für die Sicherung der Küste auf Grund von Einzel-Bauvorhaben im Bereich des Küstenschutzes und der Landgewinnung vermieden werden.

Gleichzeitig danke ich den Mitgliedern der einzelnen Arbeitsgruppen mit ihren Leitern und Herrn Ministerialrat i. R. GAYE, als dem Leiter des Arbeitsausschusses, für ihren selbstlosen Einsatz im Interesse der deutschen Küste.

Gedenken möchte ich des am 12. 2. 1951 verstorbenen Oberregierungsbaurats SCHELLING, dessen wertvolle Ausarbeitung über „Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein“ im ersten Heft der „Küste“ erschienen ist. Bereits seit 1934 war er mit den im Kriege gefallenen Mitarbeitern Regierungsbaurat HABERSTROH und Dipl.-Ing. ELY in der Westküstenforschung tätig. Sie leisteten hervorragende Arbeit und sind für uns unvergessen.

Um eine möglichst breite Plattform für die Arbeiten des Küstenausschusses zu erhalten, haben wir es dankbar begrüßt, daß wir die erfahrenen Mitarbeiter aus den zuständigen Verwaltungen der Ministerien des Bundes und der Länder, den großen Instituten und den Hochschulen und Universitäten der Küstenländer für unsere Aufgaben gewinnen konnten.

Die zuständigen Ministerien des Bundes und der Länder unterstützen die Arbeiten des Küstenausschusses durch finanzielle Zuwendungen, die jedoch für die Bewältigung der Aufgaben nicht immer ausreichen.

Wenn wir berücksichtigen, welche verheerenden Folgen die letzte Sturmflut des vergangenen Jahres in Holland gehabt hat und wenn wir bedenken, daß weite landwirtschaftlich wertvolle Gebiete unserer Küste zwischen Ems und Sylt nur durch die Seedeiche vor Sturmflutschäden geschützt werden, so liegt es auf der Hand, wie notwendig und wie erfolgversprechend die Arbeiten des Küstenausschusses sind, weil sie sich auf das gesamte Gebiet der Küste an Nord- und Ostsee beziehen.

Die Arbeitstagung des Gesamtausschusses soll nunmehr alljährlich abgehalten werden und abwechselnd im Bereich der vier Küstenländer Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Hamburg und Bremen stattfinden. Auf diese Weise hofft der Küstenausschuß, die unbedingt erforderliche enge Fühlungnahme mit den zuständigen Ministerien lebendig zu erhalten und gleichzeitig für das jeweils abgeschlossene Arbeitsjahr die gewonnenen Erfahrungen auch der Öffentlichkeit bekanntgeben zu können.

Die heutigen Vorträge stellen die inzwischen fertiggestellten Bilanzberichte einzelner Arbeitsgruppen dar. Diese Bilanzierung ist hinsichtlich der weiteren Arbeiten und Aufgaben so überaus wichtig, weil aus der Vergangenheit allein die notwendigen Erfahrungen für die Zukunft abgeleitet werden können.

Die Vorträge von

Herrn Professor Dr.-Ing. HENSEN

mit den Folgerungen aus der Sturmflut in Holland im Februar 1953 für die deutsche Küste,

Herrn Wasserstraßendirektor LORENZEN

über die Entwicklung des Küstenschutzes in den vergangenen hundert Jahren,

Herrn Oberregierungs- und -baurat Dr.-Ing. LÜDERS

über die wasserbauliche Hydrometrie hinsichtlich der Verbesserung und Weiterentwicklung der Meßgeräte und Vereinheitlichung der Meßmethoden,

Herrn Baudirektor Dr.-Ing. KRESSNER und Herrn Professor Dr. IWERSEN

über die Schlickbaggerung und Verwertung

geben einen wichtigen Querschnitt durch die Arbeiten des Küstenausschusses, über die zusammenfassend Herr Ministerialrat i. R. GAYE als Leiter des Arbeitsausschusses berichten wird.

Das Land Niedersachsen hat sich seit 1950 des Küstenausschusses bei den Untersuchungen über die Ursachen des Strandabbruches der Insel Norderney sowie zur Beurteilung der zum Schutz der Insel vorgeschlagenen seebautechnischen Maßnahmen bedient. Ich war mir seinerzeit mit den leitenden Herren des Küstenausschusses über die Schwere der uns gestellten Aufgabe nicht im Unklaren, und der Küstenausschuß hat in den vergangenen Jahren sein Bestes daran gesetzt, der niedersächsischen Regierung Vorschläge für die Ausführung zu unterbreiten, wie mit einem Minimum an Kosten ein Maximum an Schutzwirkung zu erreichen ist.

Diejenigen, die an der Küste mit den Naturgewalten zu kämpfen und zu rechnen haben, wissen genau, wie klein der Mensch der Allgewalt der Natur gegenüber ist und daß nur Maßnahmen getroffen werden können, die sich diesen Gewalten nicht starr widersetzen sondern versuchen, sie schmiegsam aufzufangen.

Wenn wir auf unserer heutigen Tagung Rechenschaft über unsere Tätigkeit der Öffentlichkeit gegenüber ablegen, so versuchen wir damit gleichzeitig, die wichtige Aufgabe des Küstenschutzes und der Erhaltung unserer Flußmündungen mit ihren Seehäfen als einen wesentlichen Bestandteil unseres Volkslebens und unserer Volkswirtschaft auch an diejenigen Kreise heranzutragen, die ihr durch ihre rein binnenländischen Aufgaben ferner stehen.

Den Vortragenden der heutigen Arbeitstagung danke ich für ihre Bereitwilligkeit, uns das Ergebnis der Untersuchungen ihrer Arbeitsgruppen mitzuteilen.

Möge auch im kommenden Jahr den verschiedenen Arbeitsgruppen und dem Küstenausschuß selbst weiterer Erfolg der Arbeit beschieden sein.

Professor Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. AGATZ,
Vorsitzender des Küstenausschusses Nord- und Ostsee

Die deutsche Küstenforschung und der Seewasserbau

Von Julius Gaye*)

Die großen Bauaufgaben an den deutschen Küsten der Nord- und Ostsee: der Ausbau der Tideflüsse für die Groß-Schiffahrt und die Vorflut, der Schutz unserer Festlandsküste, insbesondere der Marschen und der Inseln, gegen die immer wiederholten schweren Angriffe der See, die Landgewinnungsarbeiten, die Be- und Entwässerung der Marschen und ihre Wasserversorgung und andere Aufgaben erfordern außerordentlich hohe Beträge, die sich auf 50 bis 60 Millionen DM jährlich belaufen mögen.

Die Höhe dieser Kosten ist bedingt durch die Gewalt des Meeresangriffs. Brandung, Sturmfluten und Strömungen bedrohen in unablässiger Folge die Küste. Alle Seebauten müssen daher mit besonderer Sorgfalt und Verantwortung geplant werden. Kostspielige Fehlschläge müssen unter allen Umständen durch rechtzeitige Erforschung der natürlichen Grundlagen und durch Heranziehen aller Erkenntnisse und Erfahrungen verhütet werden.

Betrachtet man die Entwicklung der Forschungen im Gebiet der Nordsee und der Ostsee für den Seewasserbau, so tritt immer mehr das Bestreben zutage, von Einzeluntersuchungen, die nur einer eng umgrenzten Aufgabe dienen, zu umfassenderen Untersuchungen überzugehen, die sich auch auf flächenmäßig größere Gebiete erstrecken. Heute besteht die Überzeugung, daß vorausschauend in jahrzehntelanger geduldiger Forschungsarbeit im ganzen Bereich der Küste bis weit in die See hinaus die Grundlagen erarbeitet werden müssen, die der Seewasserbau für die richtige, zweckmäßige und wirtschaftliche Durchführung seiner immer größer und schwieriger werdenden Bauaufgaben benötigt.

Frühere Forschungen an der deutschen Nordseeküste beschränkten sich zunächst auf den Ausbau der Tideflüsse Elbe, Weser, Ems für die Schiffahrt. Sie wurden im Zusammenhang mit der Regulierung der Jade auf die Inseln Wangerooge und Minsener Oldeog erweitert, griffen dann auf die gesamte ostfriesischen Inselkette über, um sich unmittelbar danach auf die gesamte Westküste Schleswig-Holsteins und auf Helgoland auszudehnen. An der Ostsee wurden vorwiegend die Ursachen für den Abbruch der Steilufer sowie für die Veränderungen des Strandes und seine Erhaltung erforscht.

Diese Vergrößerung des Forschungsraumes wurde zum Teil durch die immer dringender werdenden Forderungen der Groß-Schiffahrt, der Vorflut und der Landgewinnung veranlaßt, zum Teil entsprang sie aber auch der Forderung, den Angriffen der See auf Inselwelt und Küste wirkungsvoller als bisher zu begegnen.

Hand in Hand mit der räumlichen Ausdehnung ging der stetig wachsende Einsatz der Meßinstrumente, die verbessert und verfeinert wurden. Aus einzelnen Flußpegeln entwickelte sich ein Linienzug von Pegeln. Im Gebiet der Wattenmeere entstanden Pegelnetze, die neuerdings durch Verwendung der Hochseepegel auf die offene See hinaus erweitert werden. Während früher nur an einzelnen Punkten die Strömungen gemessen wurden, versucht man heute gleichzeitig an mehreren Punkten und durch Verwendung von Schaufelrad-Strommessern auch im benachbarten tiefen Seebereich zu messen. Forschungsschiffe mit den modernsten Meßgeräten gehen wochenlang in See, um gleichzeitig Strömungen, Salzgehalt, Temperatur, Schlickgehalt, Plankton sowie Bodenbedeckung, Bodengestalt und Sandwanderung festzustellen. Auf diese Weise wird man mit der Zeit ein immer genaueres und vollkommeneres Bild der Gezeitenbewegung in der gesamten Nordsee und ihres Eindringens in das Wattenmeer und in die Tideflüsse sowie ihrer Folgen — Sandwanderung, Strombettverlagerung, Uferabbruch, Schlickbildung und Anlandung — erhalten.

*) Vortrag, gehalten auf der 1. Arbeitstagung des Küstenausschusses am 23. 3. 1954 in Hannover.

Gleichzeitig erweiterten sich die Forschungsgebiete. Die Frage nach der Ursache der Sturmfluten brachte die enge Beziehung zur Wind- und Wellenmessung und damit zur Meteorologie und zur Ozeanographie; die Frage der Küstensenkung bzw. der Küstenhebung erforderte den Einsatz der Geologie und der Marschen- und Wurtenforschung sowie der Vermessungskunde bei der Durchführung des Küstennivellements. Die Frage des Ansteigens der Wasserstände in allen Weltmeeren führte hin zu den großräumigen und langfristigen Klimaschwankungen. Die Erweiterung der Landgewinnung machte die Vermessung des Wattenmeeres sowie die Untersuchung der schlickbildenden Faktoren durch die Biologie ebenso erforderlich wie die Feststellung des Schlickvorrats in der Nordsee. Die Frage der zunehmenden Versalzung der niedrig gelegenen Köge, der Verwertung des in den Tidehäfen und Tideflüssen anfallenden Schlicks muß zusammen mit der Landwirtschaft gelöst werden.

Es ist ein unendlich vielfältiges Gebiet, das planmäßig erforscht werden muß, um exakte Grundlagen für unsere Seebauten zu gewinnen. Die labile Natur der Seeküste bringt es ferner mit sich, daß sich natürliche oder künstliche Änderungen an einer Stelle auch in näheren und entfernteren Gebieten auswirken können. Diese Tatsache erfordert eine weiträumige Forschung.

Die Notwendigkeit dieser vielfältigen, eng miteinander zusammenhängenden weiträumigen Forschungen möge an einigen Beispielen erläutert werden:

Wenn vor hundert Jahren das Naturgeschehen im Raume der ostfriesischen Inseln so bekannt gewesen wäre, wie es heute der Fall ist, daß nämlich die Inseln im allgemeinen im Westen ab- und im Osten zunehmen, so hätte man damals sicherlich dafür gesorgt, daß die großen Badeorte in der Mitte oder noch besser im Osten angelegt wurden, wo ein breiter Badestrand vorhanden ist. Heute liegen die meisten Badeorte unmittelbar oder ganz in der Nähe des durch Strömung und Brandung immer stärker gefährdeten Westendes der Inseln. Der Staat ist gezwungen, hier immer größere und stärkere Schutzbauten für viele Millionen Mark (in Norderney seit 1. 10. 1949 rund 25 Millionen DM) zu erbauen, um die zu kleinen Städten angewachsenen Badeorte vor den Angriffen der See zu schützen.

Auf der Insel Juist ist in den Jahren 1913 bis 1915 eine 1500 m lange Strandmauer für 2,2 Millionen Mark errichtet worden, weil man infolge der Abnahme des Strandes den Ort gefährdet glaubte und einen Durchbruch der Insel befürchtete. Schon während des Baues sandete die Strandmauer ein, heute liegt sie tief unter hohen Dünen. Regelmäßige Peilungen des Nordstrandes hätten diese Entwicklung vorausschauen und die riesigen Kosten ersparen lassen.

In den Jahren nach 1923 ist die Insel Trischen, auf der sich 70 ha grünes Land gebildet hatten, mit großen Mitteln eingedeicht worden. Nach nur 25 Jahren sind die Deiche und das grüne Land verschwunden, aufgezehrt von den Strömungen eines herannahenden Prieles, von Brandung und Sturmfluten. Wäre das Seegebiet um Trischen vor 1923 planmäßig durch immer wiederholte Peilungen und morphologische Beobachtungen erforscht worden, so hätte man damals erkannt, daß in diesem labilen Gebiet ein ständiger Wandel vor sich geht; und es wäre bestimmt kein Mensch auf den Gedanken gekommen, Millionen von Mark in die Bedeichung hineinzustecken.

Die Wasserbauverwaltung hat in den Jahren 1896 bis 1900 die Düne bei Helgoland mit einem Netz von Buhnen umgeben, um Sand zu fangen. Die im Jahre 1934 erschienene Doktorarbeit von Dr.-Ing. Bahr ließ nachträglich erkennen, daß diese Bauten zwecklos waren.

Diese Feststellungen bedeuten keinen Vorwurf für die damals tätigen Baubeamten, sondern sollen nur andeuten, daß bei den früheren großen Bauvorhaben die wissenschaftliche Erforschung der natürlichen Gegebenheiten nicht erfolgte und daher auch nicht in die Vorplanung einbezogen werden konnte. Dazu kam der Mangel an geeigneten Meßgeräten, um ausreichende Voruntersuchungen rechtzeitig durchführen zu können.

Schließlich soll noch auf die erschütternden Folgen der Sturmflut an der niederländischen Küste am 1. 2. 1953 hingewiesen werden, der so viele Menschen zum Opfer fielen und bei der Schäden eintraten, die über eine Milliarde DM hinausgehen. Sie zeigt, daß Wetterlagen auftreten können, und zwar auch an der deutschen Küste, die einen ausnahmsweise hohen Wasser-

stand für viele Stunden Dauer erzeugen können. Die physikalischen Ursachen solcher katastrophalen Sturmfluten sind noch nicht in vollem Umfange geklärt. Die Wissenschaften der Ozeanographie und der Meteorologie haben sich der Erforschung dieser Ursachen im Interesse des Küstenschutzes und der Schifffahrt heute noch mehr angenommen als bisher.

Wenn die Niederländer nach der Sturmflut vom 1. 2. 1953 ernstlich daran denken, die riesigen Seegaten zwischen den südholländischen Inseln zu verbauen, um einen einzigen schlank verlaufenden Seedeich an ihrer Küste zur Abwehr der Sturmfluten und gleichzeitig ein großes Süßwasserbecken zur Verhinderung des Versalzens ihrer tiefliegenden Marschen mit einem Aufwand von zwei Milliarden Gulden zu schaffen, so erhellt daraus die Größe und Schwierigkeit der Bauaufgaben, die in der einen oder anderen Form auch einmal an uns herantreten können.

Diese Betrachtungen zeigen deutlich, daß mit allen Mitteln und auf allen einzelnen Forschungsgebieten im Bereich der ganzen Küste die Forschungen vorangetrieben werden müssen. Diese vielfältigen Forschungen dürfen nicht planlos nebeneinander betrieben werden, sondern brauchen einen Rahmen, in dem sie aufeinander abgestimmt werden, damit in enger Zusammenarbeit von Wissenschaft und Technik Ergebnisse erzielt werden, die beide Seiten ergänzen und dem Ganzen zugutekommen.

In den letzten Jahren sind solche weiträumigen Forschungsarbeiten an verschiedenen Stellen der deutschen Nord- und Ostseeküste durchgeführt worden.

Vom Wasserbauamt Norden sind seit 1930 und seit 1936 von der Forschungsstelle Norderney die Gezeiten, Strömungen, Windverfriftung, Sandwanderung, Bodenbedeckung und die biologischen Faktoren der Wattbildung im Bereich der Ostfriesischen Inseln eingehend untersucht worden. Aus diesen Untersuchungen, die eine Gemeinschaftsarbeit von Technik und Wissenschaft — auch aus dem Gesichtspunkt der historischen Entwicklung heraus — darstellen, konnten in den letzten Jahren Schlüsse für den zukünftigen Schutz des Westendes von Norderney gezogen werden¹⁾.

Als erste Dienststelle für Küstenforschung wurde im Jahre 1934 die Forschungsstelle Westküste in Büsum ins Leben gerufen. Seitdem sind im schleswig-holsteinischen Wattenmeer von Büsum und Husum aus in enger Verbindung mit den Aufgaben der Marschenbauämter Untersuchungen auf breiter Grundlage auf den Gebieten der Hydrologie, Geologie, Landgewinnung, Biologie und Bodenkunde durchgeführt und die Ergebnisse der Praxis nutzbar gemacht worden (vgl. die Veröffentlichungen in den beiden Schriftenreihen „Westküste“, 1938—43 und „Die Küste“, ab 1952).

In den Jahren 1949 bis 1951 sind in der Lübecker Bucht Untersuchungen über die Frage durchgeführt worden, ob und wie das Brodtener Steilufer mit wirtschaftlichen Mitteln gegen Abbruch gesichert werden kann²⁾. An den weiträumigen Untersuchungen waren unter anderem beteiligt: das Deutsche Hydrographische Institut, das damalige Meteorologische Amt für Nordwestdeutschland, das Institut für Meereskunde, das Geographische und das Geologische Institut an der Universität Kiel, einzelne Wissenschaftler der Geologie und der Botanik sowie die Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Schleswig-Holstein und die Wasserstraßenverwaltung des Bundes mit ihren nachgeordneten Behörden. Diese Untersuchungen haben zu dem Ergebnis geführt, daß mit wirtschaftlichen Mitteln der Abbruch des 4 km langen Brodtener Steilufers nicht aufgehalten werden kann. Es hätten 7 bis 8 Millionen DM aufgewandt werden müssen, um wenigstens für Jahrzehnte einen Schutz des Steilufers zu erreichen. Die Entscheidung über diese Frage wurde wesentlich durch die Feststellung beeinflusst, daß durch den Bau einer Strandmauer vor dem Brodtener Ufer die Sandzufuhr sowohl zum Travemünder als auch zum Nienendorf-Timmendorfer Strand erheblich vermindert worden wäre. Der für die Untersuchungen aufgewandte Betrag von rund 150 000 DM steht in keinem Verhältnis zu der Einsparung von 7 bis 8 Millionen DM, zumal daraus für andere Küstenstrecken wichtige Erkenntnisse gewonnen worden sind.

¹⁾ Vgl. „Die Küste“, Heft 1/1952.

²⁾ Vgl. „Die Küste“, Heft 2/1952.

1951 bis 1953 sind ähnliche Forschungen im Bereich der Insel Fehmarn durchgeführt worden, um die wirtschaftliche und technisch günstigste Lösung für die Überquerung des Fehmarnsundes im Zuge der „Vogelfluglinie“, der kürzesten Verbindung zwischen Westdeutschland und den nordischen Ländern zu finden. Auch diese Untersuchungen haben zur Klärung zahlreicher Fragen auf den Gebieten der Wissenschaft und der Technik im Küstengebiet geführt.

Auch in den Tideflüssen Ems, Weser, Elbe, Eider und ihren Nebenflüssen werden neuerdings nicht nur die Wasserstandsänderungen und Strömungen untersucht, sondern auch Salzgehalt, Temperatur und Dichte, um den Einfluß des Brackwassers auf den Schlickfall festzustellen. Zur Erforschung der Sandwanderung wird jetzt überall die Sedimentpetrographie herangezogen.

Um die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Technik noch enger zu gestalten und die bisherigen Erfahrungen im Seebau und in der wissenschaftlichen Küstenforschung für beide Teile nutzbringend auszuwerten, kam es auf Anregung einiger Fachleute im Herbst des Jahres 1949 zu einer Aussprache zwischen allen im deutschen Küstengebiet tätigen technischen Behörden und wissenschaftlichen Instituten, soweit ihre Aufgaben mit den wasserbaulichen Aufgaben zusammenhängen. Die Notwendigkeit, die Forschungen im Seegebiet wieder aufzunehmen, wurde von allen Seiten anerkannt, aber auch die Notwendigkeit der gemeinsamen Forschung, um Doppelarbeit auf jeden Fall zu vermeiden und um die geringen für Forschungszwecke zur Verfügung stehenden Geldmittel nach Möglichkeit auszunutzen.

Der „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“ wurde gegründet. Die Wasser- und Schiffsverkehrsverwaltung des Bundesverkehrsministeriums, die Wasserwirtschaftsverwaltungen und die Verkehrsverwaltungen der Länder Niedersachsen und Schleswig-Holstein und die Strom- und Hafenbauverwaltungen der Hansestädte Bremen und Hamburg schlossen sich mit den im Seegebiet tätigen wissenschaftlichen Instituten: dem Deutschen Hydrographischen Institut, dem Deutschen Wetterdienst, der Bundesanstalt für Gewässerkunde, dem Amt für Bodenforschung in Niedersachsen sowie mit den Hochschulen in Hamburg, Hannover und Kiel zu gemeinsamer Arbeit auf freiwilliger Grundlage zusammen³⁾. In zahlreichen Arbeitsgruppen werden jetzt die Forschungsergebnisse von Wissenschaft und Technik gemeinsam beraten und aufeinander abgestimmt. Dabei hat sich der wesentliche Vorteil ergeben, daß bei diesen sachlichen Beratungen Zuständigkeitsfragen nicht zur Sprache kommen.

Es bedarf bei allen diesen Forschungen aber nicht nur der Zusammenarbeit der deutschen Technik und der deutschen Wissenschaften. Durch den Krieg und den Zusammenbruch Deutschlands ist für viele Jahre, ja für Jahrzehnte die Verbindung mit der Technik und Wissenschaft im Ausland verlorengegangen. Es ist notwendig, diese Verbindung wiederherzustellen, um die im Ausland gemachten Erfahrungen und die dort inzwischen durchgeführten und heute noch laufenden Untersuchungen auf dem Gebiet der Küstenforschung kennenzulernen und aus ihnen für die deutsche Forschung und Technik Nutzen zu ziehen.

Der Küstenausschuß hat zu diesem Zweck eine *Zentralkartei* aufgestellt, in der nach Möglichkeit alle Veröffentlichungen aus älterer und neuer Zeit erfaßt werden, die sich auf das gesamte Arbeitsgebiet des Ausschusses beziehen: auf die Meereskunde, Meteorologie, Geologie, Biologie, Kartographie im Küstengebiet, auf Küstennivellement, Küstenschutz, Deichbau, Landgewinnung, Wasserwirtschaft, Schlickverwertung, Tideflüsse, Bekämpfung der Bohrmuschel usw. Diese Kartei umfaßt heute bereits rund 7500 Karten, die zur Zeit nach dem Dezimal-Klassifikations-System aufgegliedert werden. Jeder Mitarbeiter kann mithin in absehbarer

³⁾ Es ist mir ein Bedürfnis, auch an dieser Stelle den Behörden, die sich tatkräftig für den Küstenausschuß eingesetzt haben, für ihre entgegenkommende Unterstützung unserer Arbeit, besonders aber allen meinen Mitarbeitern in den verschiedenen Arbeitsgruppen, dem Schriftleiter der „Küste“, Herrn Dr. Wohlenberg und nicht zuletzt meiner Mitarbeiterin Frau Grund für ihren selbstlosen Arbeits-einsatz aufrichtig zu danken. Bei der heutigen Überlastung werden für den Küstenausschuß sicherlich häufig Nacht- oder Urlaubsstunden geopfert werden müssen.

Zukunft jederzeit Auskunft über in- und ausländische Literatur eines bestimmten Arbeitsgebietes erhalten.

Um demselben Zweck zu dienen und um gleichzeitig die Ergebnisse der deutschen Küstenforschung dem In- und Ausland zur Verfügung zu stellen, gibt der Küstenausschuß Nord- und Ostsee seit 1952 in zwangloser Folge die Schriftenreihe „Die Küste“ heraus. Nach dem Zusammenbruch gab es in Deutschland keine Zeitschrift, die die großen wissenschaftlichen und technischen Arbeiten der Küstenforschung herausbrachte. So verschwanden die großen Untersuchungen, die meistens von staatlicher Seite durchgeführt wurden, vielfach in den Akten und kamen nicht zur Kenntnis derjenigen Fachleute an der Küste, die Nutzen daraus ziehen konnten. Monatsschriften sind für die Veröffentlichung umfassender grundlegender Forschungsarbeiten selten geeignet. Mit der Schriftenreihe „Die Küste“ ist jetzt die Möglichkeit gegeben, die Küstenforschung in wissenschaftlich-technischen Aufsätzen allgemein bekannt zu machen. Damit ist „Die Küste“ gleichzeitig ein Archiv für Forschung und Technik an der Nordsee und Ostsee. Im Wege des Austausches erhält der Küstenausschuß heute zahlreiche ausländische Veröffentlichungen, die seinen Mitarbeitern zum Studium zur Verfügung stehen. Dadurch werden wiederum die Beziehungen zum Ausland erweitert und vertieft.

Wenn es weiterhin gelingt, in den verschiedenen Arbeitsgruppen die Technik und die Wissenschaft zu gemeinsamer Arbeit so zu verbinden, daß daraus für beide Teile fruchtbringende Ergebnisse erzielt werden, und auf dem eingeschlagenen Weg fortgeschritten wird, die Beziehungen zu der ausländischen Küstenforschung in beiderseitigem Interesse zu erweitern und zu vertiefen, so dürfte das als ein Erfolg der Arbeit des Küstenausschusses Nord- und Ostsee anzusehen sein.

Hundert Jahre Küstenschutz an der Nordsee

Von Johann M. Lorenzen*)

Inhalt

I. Einleitung	18
II. Die Entwicklung des Küstenschutzes bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts	19
III. Die charakteristischen Küstenabschnitte	
1. Der ostfriesische Raum	21
2. Der Jade-Eider-Raum	21
3. Der nordfriesische Raum	22
IV. Die Naturkräfte und die Küstenform	22
V. Die technischen Maßnahmen in den letzten hundert Jahren	
1. Der Hochwasserschutz	23
2. Der Uferschutz	25
a) Deckwerke	25
b) Buhnen	26
3. Das Wattenmeer	27
4. Die Inseln	28
VI. Zusammenfassung	30
VII. Schriftenverzeichnis	31

I. Einleitung

Der vorliegende Aufsatz stellt eine vorläufige Zusammenfassung der umfangreichen Arbeiten dar, die im Laufe von drei Jahren zur Schaffung eines kritischen Überblicks über etwa hundert Jahre Küstenschutzarbeit an der Nordsee entstanden sind. Als Unterlagen für diesen Aufsatz liegen über die ganze Küste nicht weniger als zwölf umfangreiche Teilberichte der Mitarbeiter der Arbeitsgruppe „Küstenschutz“ vor¹⁾, die die Erfahrungen und Erkenntnisse aus den ihnen besonders bekannten Küstenabschnitten in ehrenamtlicher und mühevoller Arbeit niedergelegt haben.

Der vom Küstenausschuß Nord- und Ostsee erbetene „Bilanzbericht Küstenschutz“ soll einen Ausschnitt aus einer umfassenden geschichtlich-kritischen Betrachtung der

*) Vortrag, gehalten auf der 1. Arbeitstagung des Küstenausschusses am 23. 3. 1954 in Hannover.

¹⁾ Bilanzberichte über die Küstenschutzarbeiten in den letzten hundert Jahren:

Gebiet:	Bearbeiter:
Insel Sylt. 25. 2. 1951	Regierungsbaurat SNUIS, Husum
Insel Föhr. 31. 3. 1951	Ders.
Insel Amrum. 31. 3. 1951	Ders.
Elbmarschen — Nordseite. 30. 3. 1951	Regierungs- und Baurat SCHULTZ, Itzehoe
Elbmarschen — Südseite (Niedersächsisches Ufer). 1951	Regierungs- und Baurat KLINGE, Stade
Neuwerk. 15. 8. 1950	Oberregierungsbaurat HAHN, Cuxhaven
Wesergebiet. 27. 3. 1951	Regierungsbaurat EICHHOLZ, Brake
Karolinensiel (Harle) — Beckmannsfeld. 1951	Oberregierungs- und -baurat BRAHMS, Varel
Wangerooge. März 1951	Oberregierungsbaurat Dr.-Ing. LÜDERS, Wilhelmshaven
Ostfriesische Festlandsküste von der holländischen Grenze bis zum Oldenburger Land. 4. 5. 1951	Oberregierungs- und -baurat GOHLKE, Aurich
Insel Borkum. 28. 11. 1950	Regierungs- und Baurat KATTENBUSCH, Aurich
Ostfriesische Inseln: Memmert, Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog und Spiekeroog. 29. 11. 1953	Regierungs- und Baurat THILO, Aurich

Wechselbeziehung zwischen den Naturkräften an der Nordsee und der Arbeit der Menschen zu ihrer Nutzung oder Bändigung bilden. Da der Kampf des Menschen mit dem Meer um die Erhaltung des Landes so alt ist wie die menschliche Siedlung am Meer und da die Frage, ob und wie weit eine Gewähr für eine Sicherheit der Küste gegeben ist, bis heute keine eindeutige Antwort gefunden hat, stellt wohl kein Teilbericht aus der Arbeit an der See den Verfassern eine so umfassende Aufgabe wie der über den Küstenschutz. Ein solcher Teilbericht über Küstenschutz kann jedoch nicht vollständig und erschöpfend sein ohne gleichzeitige Betrachtung und Würdigung der anderen Bilanzberichte, unter anderen derjenigen über die „Deutsche Bucht“, über „Sturmfluten“ und über „Tideflüsse“. Diese Berichte werden wissenschaftliche und technische Gesichtspunkte behandeln, die im Küstenschutz-Bilanzbericht abschließend zu beachten und zu bewerten sein werden.

Wenn der Küstenausschuß trotz dieser Einschränkungen einen Vorbericht über den „Bilanzbericht Küstenschutz“ für erforderlich hält, so deshalb, weil wir alle an der deutschen Nordseeküste bezüglich unserer Arbeit vor wichtigen Entscheidungen stehen, die sich nicht allein aus der Holland-Katastrophe, sondern auch aus Teilerkenntnissen der letzten Jahrzehnte für unsere Küste als notwendig herausgestellt haben.

II. Die Entwicklung des Küstenschutzes bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts

Auf eine Schilderung der Entwicklung des Küstenschutzes vom Zeitpunkt der ersten Deiche als Hochwasserwehr und der Stacks, Höfts und Lahnungen als Uferschutzanlagen muß verzichtet werden, so lehrreich und anschaulich für unsere Arbeit die überlieferten Gedanken, Leistungen und Baumethoden der Küstenbewohner in den letzten dreihundert bis vierhundert Jahren auch sein mögen.

Kennzeichnend für die gesamte Entwicklung, insbesondere für die Rückschläge in der Arbeit jener Zeit, ist vor allem das völlig ungleiche, aber auch weitgehend unbekanntes Verhältnis zwischen den Naturgewalten und den Abwehrmitteln der Küstenanlieger und das Fehlen einer stetigen und planvollen Hilfe von staatlicher Seite. Angesichts solcher erschwerenden Umstände verdienen die beachtlichen, zum Teil genialen Einzelleistungen, besonders im 17. und 18. Jahrhundert, größte Anerkennung und Bewunderung.

Um das Jahr 1800 tritt — gefördert durch die Katastrophenfluten und ihre verheerenden Folgen in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts — eine entscheidende Änderung in der Entwicklung ein. Im ersten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts werden fast an der ganzen deutschen Küste nacheinander umfassende gesetzliche Bestimmungen für die Bildung und Arbeit von Deichbänden erlassen. Mit den Deichbänden wurden größere Selbstverwaltungskörperschaften ins Leben gerufen, die für Planung und Einsatz der Mittel eine stärkere Gewähr boten als die kleine Einzelgemeinschaft. Die neuen leistungsfähigeren Notgemeinschaften wurden jedoch durch die verheerende Sturmflut vom Februar 1825 einer starken Belastungsprobe ausgesetzt, die dazu führte, daß bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts fast überall starke Rückschläge eintraten.

Diese Rückschläge gaben in Verbindung mit der staatlichen Entwicklung in Deutschland den Anstoß, daß vor allem das Land Preußen und später auch das Reich eine straffere Aufsicht und größere Hilfe in Notfällen übernahmen. Von diesem Zeitpunkt an begann also die aktive Mithilfe an der Küstenverteidigung des Festlandes auch als Aufgabe des Staates. Außer den genannten führten noch zwei weitere Gründe zu einer stärkeren staatlichen Einschaltung in das Küstenschutzproblem: einmal die wesentlich gestiegenen Bedürfnisse des Seeverkehrs, der die Schaffung genügend tiefer Seewasserstraßen forderte, zum anderen die steigende Bedeutung der Inseln als Seebäder. Da die Seewasserstraßen das Wattenmeer an vielen Stellen durchschneiden, ergaben sich ohne weiteres zahlreiche Berührungen und zum Teil Überschneidungen mit den Bedürfnissen des Küstenschutzes. Die bekannte Veränderlichkeit des Wattenmeeres ließ nach Flankensicherungen und Stützpunkten für die Wasserwege suchen.

Diese Überlegungen führten im Interesse der gesicherten Führung der Außenems und der Jade zur Inangriffnahme staatlicher Küstenschutzarbeiten auf Borkum und Wangerooge, hier allerdings mehr durch die Belange der Marine im Jadedefahrwasser bedingt. Ähnliche Gründe hatten schon früher den Hamburgischen Staat zu Maßnahmen auf Neuwerk veranlaßt. An der schleswig-holsteinischen Küste traten zu den Bedürfnissen des örtlich wichtigen Küsten- und Inselverkehrs später auch Interessen der Marine, die nördlich und südlich von Sylt Maßnahmen zum Schutz der Insel auslösten.

Auch die seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts einsetzende Entwicklung der heilkräftigen Nordseebäder hat dem staatlichen Interesse am Küstenschutz, besonders auf den Inseln Norderney und Sylt, einen kräftigen Antrieb gegeben.

Will man also zu einer für die Arbeit der Gegenwart vergleichbaren kritischen Würdigung der Entwicklung in der Küstenschutzarbeit kommen, so beginnt der Betrachtungszeitraum sinnvoll um die Mitte des vorigen Jahrhunderts. Wir überblicken mit dem bis zur Gegenwart etwa hundert Jahre umfassenden Arbeitsabschnitt einen Zeitraum, aus welchem im großen und ganzen sowohl Gedanken und Pläne als auch die technischen Leistungen bekannt sind.

III. Die charakteristischen Küstenabschnitte

Bevor auf die Arbeiten selbst näher einzugehen ist, empfiehlt sich eine kurze Betrachtung der Entwicklung und des Zustandes der Großformen der Küste, also des Gebietes, das sich zwischen den Deichen des Festlandes und der offenen See von Borkum bis List erstreckt. Wenn hierbei bereits vorgehend neuere Erkenntnisse über diesen Raum herausgestellt werden, so wird von der rein chronologischen Betrachtung der Entwicklung abgewichen, denn die menschliche Arbeit kann zu jeder Zeit nur aus den jeweils gewonnenen Kenntnissen geleistet werden. Es ergibt sich aber der Vorteil, zugleich mit der Darstellung der technischen Entwicklung ihre kritische Würdigung vornehmen zu können. Die Betrachtung der Küste geschieht zweckmäßig nach den drei Abschnitten

1. Ostfriesischer Raum,
2. Jade-Eider-Raum,
3. Nordfriesischer Raum.

Die Profile vom alten Festland zur See hin sind ebenso charakteristisch wie verschieden. Überall breiten sich am Fuße der glazialen Geestformen des Festlandes auf den niedrig gelegenen Sanderflächen mehr oder minder ausgedehnte Moore aus, unter denen sich gelegentlich zur See hin auch schon ältere Meeresablagerungen finden. Vor diesen Mooregebieten erstrecken sich in wenig höherer Lage die jüngeren Meeresablagerungen in Form von Marschen, die im ost- und nordfriesischen Raum verhältnismäßig tonig sind und niedriger liegen als im Lande Wursten und in Dithmarschen. Hier, wie übrigens auch in Eiderstedt, liegen die Marschen ziemlich hoch und zeichnen sich durch erheblich sandigeren Aufbau aus. Das als klassisch anzusprechende Gesamtprofil der Marschküsten besteht nur im ostfriesisch-oldenburgischen Gebiet. Außerhalb der bedachten Marsch dehnt sich ein relativ hohes Wattgebiet aus, dessen Rand zur See hin mit Düneninseln gekrönt ist, die man einen „Strandwall im Großformat“ nennen kann. GRIPP (10) bezeichnet dieses der heutigen ostfriesischen Festlandsküste vorgelegte Watt als reif, d. h. seine geologische Entwicklung im großen als vorläufig abgeschlossen.

Im zweiten Küstenabschnitt haben die Ströme und Flüsse ebenso wie die der Hauptwindrichtung mehr frontal ausgesetzte Lage der Küste eine ähnliche Entwicklung wie in Ostfriesland verhindert. Es fehlen ganz die mit Düneninseln besäumten Wattränder. Die Watten selbst werden von zahlreichen Ebbe- und Flutrinnen durchzogen.

In Nordfriesland konnten sich die Marschen und Schlickwatten erst bilden, nachdem das Meer Zutritt zu dem Becken zwischen Geest und Dünenwall hatte. Die Marsch selbst ist nur schmal, und das Watt, welches durch den stetigen Wasseraustausch in der Gezeitenbewegung stark ausgeräumt wird, ist verhältnismäßig breit und tiefliegend. Seine Ränder sind

im Süden ebenso wie in Dithmarschen stark gegliedert und ausgewaschen und im Norden von den Geestinseln und deren Dünenhaken gegen die See begrenzt. GRIPP (10) spricht hier von Überflutungswatten.

Der Aufsatz wird sich auf die der offenen See unmittelbar zugewandten Küsten beschränken. Die Watten, Ufer und Deiche an den eigentlichen Tideströmen bleiben einer besonderen Betrachtung vorbehalten. Den Tidemündungen fehlt zum Vergleich mit den Seeküsten neben anderen Merkmalen im allgemeinen das der Brandung.

1. Der ostfriesische Raum

Die Küste von der Ems bis zum Jadebusen mit den vorliegenden Watten im Schutz der natürlich gewachsenen ostfriesischen Inseln zeigt zwischen den tiefen Einbrüchen an der Emsmündung im Westen und des Jadebusens im Osten einen gestreckten Verlauf. Dieser hat sich mit den Düneninseln oder in ihrem Schutz im Wechsel zwischen Abbruch und Anlandung (Leybucht und Harlebucht) allmählich gestaltet.

Watt und Inseln sind erdgeschichtlich nicht Reste eines einst in geschichtlicher Zeit geschlossenen Festlandes, sondern von der See neu aufgebaut. Sie bilden eine Art unterbrochenen Strandwall. Das verhältnismäßig festliegende Watt zwischen dem Festland und den Inseln gliedert sich in die Einzugsgebiete von Seegaten, die die Verbindung zwischen Watt und See herstellen. Unter der Wirkung von Gezeiten und Brandung entstehen in den Mündungsgebieten der Seegaten verschiedenartig geformte Riffbildungen, die man heute als Zwischenstation einer westöstlich gerichteten Sandwanderung ansieht. Die Frage nach der Herkunft des Sandes und der Fortdauer der Anlieferung ist leider bisher noch nicht befriedigend beantwortet. Im ganzen hat der seit Jahrhunderten festgestellte Vorgang, daß die Ostfriesischen Inseln im Wege der Abnahme auf der Westseite und Anlandung im Osten nach Osten hin wachsen, auch im letzten Jahrhundert angehalten. Abgesehen von den erwähnten Riffbildungen an den Mündungen der Seegaten und der in West-Ostrichtung nach See zu versetzten Lage der Inseln ist der seeseitige Abhang der Inselkette nicht sehr stark gegliedert, man könnte sogar von einem verhältnismäßig ausgeglichenen Hang sprechen.

2. Der Jade-Eider-Raum

Der zweite Küstenabschnitt wird durch große, von den Tideströmen Jade, Außenweser, Elbe, Piep und Eider durchschnittene Sände gekennzeichnet. Da diese Sände ständigen großräumigen Umlagerungen unterliegen und sich der Einwirkung durch Menschenhand weitgehend entziehen, stellt dieser Raum den Menschen hinsichtlich des Küstenschutzes vor ungleich schwierigere Probleme als der ostfriesische. Hinzu kommt, daß sich besonders in diesem Raum die Interessen des Küstenschutzes mit den seit achtzig Jahren ständig zunehmenden Aufgaben der Schaffung und Erhaltung ausreichender Fahrwassertiefen für die Großschifffahrt überschneiden.

Der Einblick in die verwickelten Vorgänge wird vor allem durch die in ihrer Gesetzmäßigkeit bisher nicht erfaßte Sandwanderung außerordentlich erschwert. Der Bereich des Jadebusens mit den Küsten des Jever- und Butjadinger Landes liegt verhältnismäßig geschützt, wenn man in Betracht zieht, daß die vorherrschenden Westwinde entweder ablandig oder nur mit geringer Anlaufbahn wirken. Dem Bestreben der zum Deich- und Uferschutz Verpflichteten, den Schutz der Küsten in diesem Abschnitt durch natürliche und künstliche Anlandung in der Jadebucht zu erhöhen, war fast siebzig Jahre lang die Arbeit zur Herstellung eines tiefen Fahrwassers entgegengerichtet. Ob die durch den Ausgang des Krieges bedingte Einstellung der Arbeiten zum Fahrwasserausbau künftig eine dauernde Verbesserung der Vorbedingungen für den Schutz des Landes verspricht, muß abgewartet werden.

Schwieriger als im Jadegebiet liegen die Verhältnisse im Abschnitt zwischen Weser und Elbe, wo die Küste in nord-südlicher Richtung in geradlinigem Verlauf der Brandung aus dem gesamten westlichen Sektor ausgesetzt ist. Bis auf eine kleine Strecke im Norden, westlich von Cuxhaven, ist die Küste mit Deichen versehen, die an einzelnen Abschnitten, besonders

in der Nähe des tiefen Fahrwassers, durch teilweise recht starke Abbrüche des Vorlandufers gefährdet werden.

Hier findet sich, wie auch an der Küste Dithmarschens, reines Sandwatt, das schnellen Veränderungen der Formen unterliegt. Ohne daß es immer mit vertretbaren Mitteln gehindert werden kann, schieben sich die Rinnen oder Priele häufig dicht an Deiche und Vorland heran und transportieren auf großen Teilstrecken die von der Brandung aufgewühlten Sandmassen von der Küste fort.

Trotz der von GRIPP (10) vermuteten anhaltenden Sandzufuhr im inneren Bereich der Deutschen Bucht und den Flußmündungstrichtern bleibt im Dithmarscher wie im Elbe-Raum eine empfindliche Abhängigkeit des Küstenschutzes von den natürlichen oder künstlich hervorgerufenen Umlagerungsvorgängen in vorgelagerten Watten und Rinnen bestehen. Die Küste zwischen Elbe und Eider hat aus der Anhäufung von Sand zu hohen Wattrücken in den letzten Jahrhunderten offenbar starken Nutzen gezogen. Sonst hätte es der Mensch wohl kaum erreicht, ohne allzu starke Rückschläge die Grenze des Landes langsam und stetig nach See vorzuschieben.

3. Der nordfriesische Raum

Völlig anders wiederum liegen die Verhältnisse im nordfriesischen Watten- und Inselraum. Ursprünglich ein vorwiegend mit Niedermoor ausgefülltes Becken im Schutze alter Strandwall- und Dünenbildungen vom Norden bis an die Südwestecke Eiderstedts, stellt es heute ein von tiefen und zahlreichen Wattströmen und Prielen zerrissenes Wattenmeer dar, in dem die Reste von zwischeneiszeitlich auf den Mooren gewachsenen Marschen als Inseln und Halligen regellos verstreut liegen. Im nördlichen Teil liegen schutzbietend vor den Watten und Marschen noch Reste der altdiluvialen Geest auf den Inseln Sylt, Föhr und Amrum. Der alte schützende Strandwall im Westen ist längst verschwunden. Jüngere Haken legten sich, aufgebaut aus dem Abbruchmaterial der Westküste, den Kernen von Sylt und Amrum im Norden und Süden an. Sie bilden heute einen zweiten natürlichen Schutzwall, allerdings nur vor der nördlichen Hälfte des Gebietes. Im Süden sind als Vorposten der freien Marsch- und Wattflächen die Insel Pellworm und die Halligen Hooge und Süderoog vorgelagert. Hier hält, wenig beachtet, der Vorgang des Meereseinbruchs ununterbrochen bis in die Gegenwart an. Zwar hat der Mensch in den letzten dreihundert Jahren die Küstenlinie des Festlandes langsam wieder nach See vorschieben können. Das fruchtbare Material aber, aus dem sich die neuen Köge aufbauen, entstammt überwiegend dem säkularen Zerstörungsvorgang, während dessen sich die großen Stromrinnen immer tiefer in das Wattenmassiv einfräßen. Der weitaus größte Teil des so ausgeräumten Materials geht nach See und somit dem Küstenvorfeld verloren. Wie sich der Wandervorgang des Sandes am seeseitigen Abhang des nordfriesischen Wattengebietes unter dem Einfluß der süd-nördlich laufenden Tidewelle, der Brandung und Strömung vollzieht, ist bis heute nicht geklärt.

IV. Die Naturkräfte und die Küstenform

Will man nach der gedrängten Schilderung des weiten und überaus veränderlichen Wattenraumes, in dem sich der Kampf des Menschen mit der See abspielt, zu einer kritischen Beurteilung zurückliegender Arbeit gelangen, so ist noch ein Wort über die Wechselbeziehungen zwischen den wirkenden Naturkräften und dem von ihnen oder von Menschenhand gestalteten Küstenraum zu sagen. Die für alle Maßnahmen ausschlaggebenden Naturkräfte sind sowohl nach ihrer Entstehung, also von See her, als auch nach ihrer Wirkung, also von Land her, zu sehen. Für den Angriff der See sind in erster Linie die durch die Tide hervorgerufenen Wasserstandsänderungen und die durch sie verursachte Strömung sowie der durch den Wind hervorgerufene Seegang ausschlaggebend. Die Tide-Wasserstände sind zur Zeit in einem langsamen Ansteigen begriffen, dessen Ende nicht abzusehen ist. Die Tidebewegung

sowie die meteorologischen Verhältnisse sind ebenso wie die säkularen Veränderungen der Höhenlage des Meeresspiegels nicht von Menschenhand beeinflussbar.

Von nicht unwesentlicher Bedeutung für die Größe des Meeresangriffs sind ferner die morphologische Gestalt der Küste und die des davor sich ausbreitenden Unterwasserstrandes. Beide bestimmen Größe und Richtung der aus verschiedenen Wetterlagen herrührenden Wellenangriffe. Diese geographischen und morphologischen Verhältnisse sind es in erster Linie, die den einzelnen Küstenabschnitten ihr Gepräge verleihen. Als weiterer Faktor tritt der physikalische beziehungsweise petrographische Aufbau der zu schützenden Küsten auf, der die Widerstandskraft gegen Wellen- und Strömungsangriffe beeinflusst.

Der Einfluß des Menschen beschränkt sich auf nur wenige dieser Faktoren. Durch Ausnutzung oder Bremsen der dynamischen Vorgänge in der Brandung ist mit Hilfe zweckvoller Einbauten eine gewisse Veränderung der Unterwasser-, Strand- und Küstenvorfeldverhältnisse möglich. Außerdem kann man durch künstliche Befestigung des Ufers seine Widerstandskraft vergrößern. Auf diese beiden Maßnahmen beschränkt sich daher auch bis heute der gesamte Küstenschutz.

V. Die technischen Maßnahmen in den letzten hundert Jahren

Hier soll keine beschreibende Darstellung aller in den letzten hundert Jahren zum Schutz der Küste ausgeführten Arbeiten und Systeme in chronologischer Form gegeben werden. Das entwicklungsgeschichtlich wie technisch umfangreiche und überaus wertvolle Quellenmaterial kann im Rahmen dieses Aufsatzes nur von dem Gesichtspunkt beleuchtet werden, wie sich der Mensch in seiner Arbeit mit der Gesamterscheinung der dynamischen Naturvorgänge im engeren Sinne, also hier des Meeresangriffs in seiner mannigfachen Form auseinandergesetzt und was er dabei erreicht hat.

Die drei wesentlichen Erscheinungen des Meeresangriffs, nämlich Überschwemmungen durch Hochwasser, Abbrüche im Watt und an den Ufern durch Brandung und Strömung sowie Ablagerung von Sand und Schlick vor der Küste, haben an technischen Maßnahmen

1. den Hochwasserschutz durch Deiche,
2. den eigentlichen Uferschutz, d. h. den Schutz der Küsten und Watten gegen Abbruch und
3. die Landgewinnung

hervorgerufen.

Das dritte Aufgabengebiet, die Landgewinnung, die hier nicht im einzelnen behandelt werden soll, stellte ursprünglich den Versuch dar, die Natur an jenen Küstenstrichen, die zu Auflandungen neigen, zu unterstützen und den natürlichen Vorgang durch bautechnische Maßnahmen zu beschleunigen. Die guten Erfolge, die auf diesen Gebieten an vielen Stellen zu verzeichnen waren, führten schließlich dazu, das Landgewinnungsverfahren auch dort mit Erfolg anzuwenden, wo die Neigung zur Anlandung nicht ohne weiteres gegeben schien. Es liegt auf der Hand, daß mit dieser Landanreicherung vor den Deichen und den Vorländerien der unmittelbare Seeangriff auf die Deiche gemildert und die Landgewinnung somit zu einer Küstenschutzmaßnahme wurde. Sie gewann um so mehr an Bedeutung, je mehr sie in physikalischer und wirtschaftlicher Hinsicht der starren Uferbefestigung überlegen war.

1. Der Hochwasserschutz

Das Rückgrat des Hochwasserschutzes für Marschen und Niederungen bilden die Seedeiche. An der freien Nordseeküste werden insgesamt ungefähr 460 000 ha besiedeltes Marsch- und Niederungsland gegen Sturmfluten durch Seedeiche abgeschirmt, die ohne die Deiche an den Strommündungen etwa 500 km lang sind und mit den Deckwerken zusammen — auf die Gegenwart umgerechnet — einen Bauwert von 570 bis 600 Millionen DM haben. Die zum großen Teil aus Klei und Sand gebauten, mit einer Grasnarbe versehenen Deiche können ohne starken Uferschutz nur dann längere Zeit dem Angriff der See widerstehen,

wenn der Angriff der Brandung auf dem Wege von der offenen See zur Festlandsküste hin z. B. durch breite und hohe Watten gebremst wird. Jede tiefgreifende Gestaltänderung des Vorfeldes, also der Watten, muß daher notwendigerweise langfristig auch auf die Deichsicherheit von Einfluß sein.

Wird die Gefahrenlage der Deiche in den drei großen Küstenabschnitten von dieser Richtung betrachtet, so weist das Vorfeld der ostfriesischen Küste mit Watt und Inseln im letzten Jahrhundert als Ganzes die verhältnismäßig größte Beständigkeit auf. Dabei ist nicht zu verkennen, daß die Verlagerung der Inseln von Westen nach Osten und der sie trennenden Seegaten örtlich neue Gefahrenquellen für das Festland entstehen oder verschwinden läßt.

Im Bereich starker morphologischer Veränderungen des Wattenraumes, wie im Jade-, Weser- und Elbmündungsgebiet, hat der Meeresangriff — verbunden mit Eingriffen von Menschenhand — die Deiche der Festlandsküste nach Zeit und Ort wechselnd in erheblich stärkerem Maße gefährdet und wird das auch künftig tun. Dabei ist schwer vorherzusagen, ob die der Verwilderung der großen Rinnen im Watt entgegengerichteten Stromregulierungsmaßnahmen küstenschutzmäßig günstig oder ungünstig wirken.

Trotz starker Zerklüftung hat das offenkundig an Mächtigkeit zunehmende Wattgebiet vor Dithmarschen die natürlichen Vorbedingungen für den Deichschutz des Festlandes verbessert. Im nordfriesischen Raum dagegen, der ebenso wie Dithmarschen im Gegensatz zur südlichen Flanke der deutschen Küste dem frontalen Meeresangriff ausgesetzt ist, wird der natürliche Schutz, den der breite Wattgürtel, die Inseln und die Halligen dem Festland bieten sollen, zum beträchtlichen Teil durch das ständig fortschreitende Einschneiden der großen Tiefs in das breite und tiefelegene Wattmassiv aufgehoben.

Form und Höhe der Deiche sind in Jahrhunderten entwickelt und den Wasserständen und dem Wellenaufwurf mehr oder weniger gut angepaßt worden. In Verbindung mit dem säkularen Ansteigen der Wasserstände und dem Wandel in der Gefahrenlage hat man die Deiche in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, letztmalig nach der gesetzlichen Neuordnung der Vorschriften über das sogenannte Deichbestick erhöht. Das jeweilige Maß der Deichverstärkungen und -erhöhungen ist bei der damaligen Neufestlegung des Besticks nicht auf Grund einer eingehenden und umfassenden Untersuchung über die Entwicklung des Küstenvorfeldes oder den säkularen Wasserstandsanstieg oder dergleichen, sondern aus Erfahrung und Ortskenntnis entstanden. Die Praxis hat in der Folgezeit viele dieser Festlegungen als richtig bestätigt, manche widerlegt. Von Einzelmaßnahmen und Neueindeichungen abgesehen sind also etwa siebenzig bis achtzig Jahre seit der letzten großen Anpassung der Deiche vergangen. Da die im letzten Jahrhundert erfolgte Deichverstärkung überwiegend von den Küstenbewohnern getragen und aus Sparsamkeitsgründen über sehr weite Strecken auf eine sogenannte Kappenerhöhung beschränkt werden mußte, wurde die Wehrkraft solcher Deiche wohl verbessert, viele Deiche sind jedoch durch die steiler gewordene Oberböschung gegen Wellenangriffe anfälliger geworden. Eine Ausnahme machen die seit Anfang dieses Jahrhunderts neugebauten Deiche mit flacher Außenböschung und die Abschnitte, in denen auf natürlichem oder künstlichem Wege Vorland entstanden ist.

Unser deutsches Seedeichsystem ist trotz mancher in den letzten fünfzig Jahren vorgenommenen Einzelverbesserungen grundlegend überholungsbedürftig geworden. Wenn diese Notwendigkeit auch vielerorts, besonders in Fachkreisen, schon lange vor dem Kriege erkannt wurde und Pläne für eine Verbesserung aufgestellt worden sind, so haben das Ausmaß und die Folgen der Sturmflutkatastrophe in Holland am 1. Februar 1953 uns eine Warnung gegeben, die man besonders an maßgebenden Stellen nicht mehr übersehen kann. Es ist in Deutschland vielfach gesagt worden, daß die Wirkung der holländischen Sturmflut in Anbetracht des Zustandes unserer Seedeiche unter gleichen oder ähnlichen Voraussetzungen bei uns voraussichtlich keine Katastrophe ausgelöst haben würde.

Gegen eine solche Auffassung spricht für viele das folgende Beispiel:

Das stärkste an der Nordseeküste vorhandene Verteidigungswerk, der 1932 fertiggestellte Zuiderzee-Damm, lag verhältnismäßig abseits vom Zentrum des Sturmangriffs am

1. Februar 1953 und außerdem im Schutze der Inseln Texel und Vlieland. Die höchsten Wasserstände lagen hier auf etwa + 3,75 m NN, also etwa 30—50 cm niedriger als im Zentrum des Sturmangriffs. Der Damm ist nach holländischem Verfahren an der flach nach oben gewölbten Außenböschung fast bis zur Krone durchweg mit schweren Basaltsäulen gepflastert. An der Stelle des vermuteten stärksten Wellenangriffs hat man statt der Basaltsäulen schwere kubische Blöcke aus belgischem Basalt (bis zu 750 kg Gewicht je Einzelpflasterstein) eingebaut. Die Krone des Dammes liegt auf + 7,50 m NN, also höher als fast alle älteren deutschen See- deiche. Trotz der großen wellenvernichtenden Kraft des Pflasters sind nicht nur auf weiten Strecken die Wellen viele Stunden lang über die Dammkrone geschlagen und haben hier auf der Innenböschung Auswaschungen zur Folge gehabt, sondern es sind auch in der Pflaster- decke selbst, besonders durch Hinausschlagen der großen Basaltblöcke — die teilweise auf der Binnenböschung gelandet sind —, Schäden entstanden, deren Beseitigung über 1 Million Gulden gekostet hat. Die am Zuiderzee-Damm eingetretenen Schäden müssen im Hinblick auf die deutschen Deiche als beunruhigend angesehen werden.

Wir stehen also heute, gestützt auf eigene und holländische Erfahrungen sowie auf die Kenntnis der Entwicklung der Wasserstände und des Vorfeldes der Festlandsküsten, wiederum vor der Aufgabe, den Hochwasserschutz auf weiten Strecken unserer Küsten durch eine erneute Erhöhung unserer Deiche zu verbessern. Diese Arbeiten sind eingeleitet. Über das notwendige Maß der Erhöhung stellt man zur Zeit an maßgebenden Stellen sorgfältige Überlegungen an (vgl. Aufsätze von HUNDT und PETERSEN in diesem Heft).

Nach den Erfahrungen unserer letzten Sturmfluten und besonders der Holland-Kata- strophe kann gesagt werden, daß eine besondere Schwäche unserer Deiche in ihrer zu steilen ungeschützten Innenböschung liegt. Ein auch nur kurzfristiges Überschlagen der Wellen kann zu ihrer Zerstörung führen. Mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln wird es jedoch wohl kaum möglich sein, die Deiche so zu erhöhen, daß jeder Wellenüberschlag unmöglich wird. Hier- nach wird eine Vergleichsuntersuchung erweisen müssen, wie weit man durch eine Profilverbes- serung an der Außen- oder an der Innenböschung oder an beiden das Überschlagsrisiko ver- ringern kann. Eine vergleichende Untersuchung und die daraus zu ziehenden praktischen Fol- gerungen sind im Hinblick auf bereits anlaufende Deichverstärkungen besonders dringlich. In besonderen Fällen wird zu prüfen sein, ob die neuerdings in Holland bewährte Form der nach oben gewölbten Außenböschung technische und wirtschaftliche Vorteile zu bieten vermag. Das gilt insbesondere für solche Deiche, die ohne Vorland dem Seegang naturge- mäß am stärksten ausgesetzt sind.

2. Der Uferschutz

Mit dem Deich ist, wie schon ausgeführt, der Uferschutz besonders dort eng verbunden, wo grünes Vorland fehlt und durch tiefes Watt oder Rinnen Strömung und Wellenschlag unmittelbar an den Deichfuß gelangen, also an den sogenannten *Schardeichen*. Die Entwicklung der Technik des Uferschutzes vor den Seedeichen im letzten Jahrhundert kann in ihrer außerordentlichen Mannigfaltigkeit hier nicht behandelt werden.

a) Deckwerke

Der um die Mitte des letzten Jahrhunderts beginnende Übergang von der Sicherung durch hölzerne Längswerke über die massive Granit-Steindecke bis zur flachen Basaltdecke hat sich im allgemeinen gut bewährt. Lage, Neigung und Baustoff eines Uferdeckwerks vor grünen Deichen oder grünem Vorland fanden bereits in den fünfziger Jahren des vorigen Jahr- hunderts eine Ausgestaltung, die noch heute als brauchbar, ja zum Teil als mustergültig an- zusehen ist. Aus wirtschaftlichen Erwägungen hat man neuerdings mit neuen Baustoffen, wie Beton und Asphalt, sowie mit neuen Bauweisen, die den Wellenaufbau bremsen, Versuche eingeleitet, deren Probezeit jedoch durchaus noch nicht abgelaufen ist. Nach zwei Richtungen aber ist das Deckwerk der Entwicklung nicht gefolgt. Die Oberkante der Deckwerke, die bei ihrer Erbauung im allgemeinen durchaus richtig gewählt sein dürfte, ist in ihrer Höhenlage

dem gestiegenen Wasserstand und der damit verstärkten Wellenwirkung nicht angepaßt worden. Hierauf und außerdem auf Veränderungen im Watt vor großen schar liegenden Seedeichstrecken sind die zunehmenden Schäden und Unterhaltungskosten an den Bermen und Böschungen unserer alten Seedeiche in erster Linie zurückzuführen. Abgesehen von der nicht genügenden Beachtung der natürlichen Entwicklung von See her haben die Träger des Uferschutzes vor Seedeichen und grünem Vorland, nämlich die Verbände, die hohen Kosten nicht aufzubringen vermocht, die mit einer durchgreifenden Anpassung der Deckwerkshöhenlage an die veränderten Verhältnisse verbunden gewesen wären.

Auf eine kritische Würdigung der Deckwerke vor Sand- und Dünenküsten kann verzichtet werden, nachdem sich in einer langen und kostspieligen Entwicklung das flach geneigte, wellenvernichtende Deckwerk weithin durchgesetzt und damit dem Kraftangriff der Brandung angepaßt hat. Funktion und Konstruktion haben sich beträchtlich einander genähert.

b) B u h n e n

Weniger überzeugend war nach Lage und Bauart und im Zusammenhang mit dem Deckwerk die Entwicklung der Strandbuhnen in den letzten hundert Jahren. Was hier in ganz knappen Zügen über die Buhnen vor Deichen und grünem Vorland zu sagen ist, gilt mit gewissen Einschränkungen für alle Strandbuhnen, auch für die vor Sandküsten und Düneninseln. Die Buhne soll sich in erster Linie der bodenabtragenden Wirkung eines küstenparallelen Stromes und der Brandungswirkung der Wellen entgegenstellen. Darüber hinaus soll sie nach Möglichkeit den Sinkstoff tragenden Strom oder die Brandung zur Ablagerung von Sinkstoffen zwingen und damit zur Erhöhung des Watts oder Vorstrandes dienen.

Das Thema „Bilanz des Buhnenbaues an der Nordsee“ — nicht der Landgewinnungsbuhnen — ist so schwierig und weitgreifend, daß es in einem Aufsatz, der lediglich einen Gesamtüberblick geben soll, nur angedeutet werden kann.

Die ersten Buschbuhnen hielten dem Eisgang nicht stand. Sie wurden mit Steinen beschwert, schließlich sogar abgeplastert. Die ständigen Zerstörungen durch Unterspülung, Brandungsangriffe, Bohrwurmbefall und dergleichen erforderten mit der Zeit immer stärkere Bauweisen, immer höhere Bau- und Unterhaltungskosten, die zuletzt mit dem Erfolg nicht mehr im Einklang standen. Das weitere Ziel war daher die Verbilligung des Buhnenbaues. Von einfachen steinbeworfenen Spundwänden oder Pfahlreihen gelangte man zur Stahlspundwand. Diese litt unter starkem Sandschliff und stellte sich auf die Dauer nicht als eine billige Bauweise heraus. Schließlich setzte sich vom Konstruktiven her die zwar sehr teure, aber in der Unterhaltung billige Stahlbetonspundwand durch.

Mit der Bauart an sich ist für die Wirkung einer Buhne natürlich nichts gewonnen, und man muß leider feststellen, daß sehr viele Strandbuhnen ihre eigentliche Aufgabe, nämlich den Strand zu halten und ihn womöglich aufzuhöhen, nicht erfüllt haben. Man hat ihnen hier und dort als Erfolg zugeschrieben, einen Abbruch verlangsamt zu haben, ein Beweis hierfür ist aber nicht leicht zu erbringen, weil meist die Entwicklung ohne die Buhnen über lange Zeit nicht beachtet worden war. Andererseits wurde eine Reihe von Mängeln der Buhnenwirkung festgestellt, nämlich die sogenannte Lee-Erosion hinter ihnen, die Kolkung an den Buhnenköpfen und die seitliche Freispülung, die um so größer ist, je höher die Buhne aus dem Strand herausragt. Man versuchte diesen Nachteilen durch Verlängerung der Buhnen, Verringerung ihres Abstandes untereinander und ihrer Lage zueinander, Höher- oder Tieferlegung ihrer Krone, Abkürzung ihrer Länge nach Lee und so weiter zu begegnen. Manchmal hat man den Eindruck, daß ein engmaschiges Buhnensystem nichts wesentlich anderes ist als eine Deckwerksvorlage in aufgelöster Konstruktion. Ein Erfolg solcher Maßnahmen im Sinne einer zielbewußten Planung ist nicht mit Sicherheit nachzuweisen, und wo er eingetreten ist, fehlt meist der schlüssige Nachweis der Ursache des Erfolges. Sowohl nach vielfachen Erfahrungen als auch auf Grund zahlreicher Untersuchungen und Versuche kann eine Buhne im Brandungsbereich eine Erhaltung oder Verbesserung der Strandhöhenlage grundsätzlich nicht zur Folge haben. Wohl aber vermag eine dichte Buhnenreihe, über die Bran-

dungszone weit genug herausgezogen, eine küstenparallele Materialwanderung aufzuhalten und damit den Strand zu verbreitern und zu erhöhen. Eine Standardbauform für Bühnen und Bühnensysteme kann es deshalb nicht geben. Die Wahl ihrer Konstruktion muß als Folge ihrer örtlichen Lage erfolgen.

Für das Wirksamwerden eines Bühnensystems müssen mindestens folgende Faktoren beachtet und bekannt sein: Lage des Ufers zur Hauptangriffsrichtung der Brandung und gegebenenfalls der Strömung, Höhenlage, Aufbau und natürliche Veränderlichkeit des Watts oder Seestrandes, Wirkungsweise des Tidestromes und der Brandung nach Stärke und Richtung.

Es ist festzustellen, daß die Entwicklung des Bühnenbaues weniger nach ihrer Funktion als rein konstruktiv weitergegangen ist. Diese Tatsache hat vor der Festlandsküste im inneren Wattenbereich keine so schwerwiegenden Folgen gehabt, wie vor den der freien See zugewandten Inselküsten, wo Seegang und Brandung eine ungleich größere Rolle spielen.

Das Unbefriedigende dieser Entwicklung hat die Wasserbauer seit langem nach Wegen zu einer Verbesserung suchen lassen. Als Wissenschaft und Technik — besonders nach dem ersten Weltkrieg — unter dem Druck der Entwicklung an einzelnen gefährdeten Punkten zu arbeiten begannen und durch neuere wissenschaftliche und technische Hilfsmittel erstmalig in die Lage versetzt wurden, die Dynamik im Tidegebiet näher zu erforschen, geschah es zunächst mit absolut unzureichenden finanziellen Mitteln. Seit dem Ende des ersten Weltkrieges ist überall dort, wo sich im größeren Ausmaß Küstenschutzmaßnahmen auf die Bühne als Bauelement in Ergänzung zum Deckwerk stützen sollten, der Ruf nach besseren Grundlagen über die im Tidegebiet wirkenden Kräfte und ihre Beeinflussung ständig lauter geworden. Für einzelne größere Bauplanungen begann man dann mit eingehenden Untersuchungen, für die leider nicht ausreichend Zeit und Mittel zur Verfügung standen und die fast immer örtlich begrenzt waren. Im allgemeinen ist es trotz immer wiederholter Anstöße nicht gelungen, die entscheidenden Stellen davon zu überzeugen, daß es weit wirtschaftlicher wäre, einige hunderttausend DM für die grundsätzliche Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen des Bühnenbaues auszugeben, als, wie es tatsächlich geschehen ist, Millionen nutzlos ins Meer zu werfen. Zweifellos sind wir in Deutschland, was die Erforschung der Seegangs- und Gezeitenkräfte zum Nutzen des Küstenschutzes angeht, durch zwei Weltkriege stärker ins Hintertreffen geraten, und besonders die Amerikaner sind uns heute in manchen Erkenntnissen weit voraus. Den meisten von uns sind sogar die Arbeiten des Auslandes und ihre Ergebnisse auf dem Gebiet der Küstenuntersuchung nicht einmal bekannt. Es ist deshalb für uns höchste Zeit, uns die neuesten Erkenntnisse, sei es durch versuchsweise Anwendung von Verfahren des Auslandes, sei es durch ergänzende eigene Untersuchungen, anzueignen.

3. Das Wattenmeer

Diese sehr gedrängte und daher leider unvollständige Erörterung der Bühnen weist von der Festlandsküste in das Wattenmeer. Welche Bedeutung das Wattenmeer für die Sicherheit der Festlandsküste hat, wurde schon mehrfach angedeutet. Bis zum Anfang der dreißiger Jahre unseres Jahrhunderts war jedoch das ganze Wattengebiet bis auf ganz wenige Flächen, nämlich die Fahrwasser und die nächste Umgebung der Inseln oder der Festlandsküsten, weitgehend unbekannt. Wir haben es heute noch nicht einmal fertiggebracht, eine vollständige erstmalige Bestandsaufnahme des Gesamttraumes, d. h. der für unsere Küste so wichtigen Form und des Aufbaues des Wattenmeeres, in der Hand zu haben. Dabei ist ja nicht die Kenntnis des einmaligen Zustandes, sondern diejenige seiner ständigen Veränderung das Entscheidende. Die Veränderung und ihre Tendenz sind aber nur aus der vergleichenden Betrachtung verschiedener, zeitlich länger oder kürzer aufeinander folgender Zustände möglich. Geologie und Kartographie sind zwar über lange Zeiträume hinweg unentbehrliche Stützen zur Deutung der Richtung, in der die Veränderungen in der Vergangenheit vor sich gegangen sind. Das für uns Entscheidende ist aber das derzeitige Geschehen und seine Deutung nach Ursache und Wirkung. In der Praxis war es bisher so, daß man sich erst dann, wenn sich irgendwo eine ernste Gefahr für einen Küstenabschnitt zeigte, für die nächste Umgebung

des Gefahrenpunktes in aller Hast und Unzulänglichkeit ein Bild über Ursache und Erscheinungsform des Schadens durch örtliche Untersuchungen zu verschaffen versuchte. Nur in wenigen Fällen, wie bei Norderney, zwang die Gefahr dazu, die Ursachen und Wirkungen im größeren Umkreis näher zu untersuchen, doch geschah dies eigentlich immer erst nach fortgesetztem Drängen der Fachleute. Die aus dieser Entwicklung während der letzten dreißig Jahre gewonnenen bitteren Erfahrungen haben noch immer nicht hingereicht, um an der Seeküste das zu tun, was die primitivste Voraussetzung für die Planung im Küstenschutz ist: nämlich die großräumige Untersuchung und Klärung der Beziehungen zwischen Meeresangriff und Formänderungen im Wattenmeer.

4. Die Inseln

Welche Aufgaben erfüllen nun die im weiteren Sinne als Bestandteile des Wattenmeeres anzusehenden Inseln im Rahmen des Küstenschutzes? Diese Frage ist im Laufe des letzten Jahrhunderts seit der Zeit nachhaltiger aufgeworfen und behandelt worden, als der Staat sich aktiver am Küstenschutz zu beteiligen begann. Einleitend wurden bereits einige Gesichtspunkte erwähnt, die den Staat und später auch das Reich zu Maßnahmen im Interesse einiger Inseln veranlaßten. Die anfangs geringe, später größer werdende Hilfeleistung des Staates im Inselchutz ließ bei der öffentlichen Hand sehr bald die grundsätzliche Frage auftauchen, welche Rolle eigentlich das Wattenmeer und die Inseln im ganzen Küstenschutzsystem spielen. Die zu dieser Frage von fachlichen Kommissionen und Einzelfachleuten im Laufe von siebzig Jahren erstatteten zahlreichen Gutachten kamen zu recht verschiedenen Schlußfolgerungen, auf die hier nicht näher einzugehen ist. Nach den Ergebnissen dieser Gutachten kann hier nur in Stichworten angedeutet werden, welche Feststellungen sich — auf den derzeitigen Stand der Erkenntnisse und auf die große geschichtliche Schau bezogen — für die Arbeit der Gegenwart ergeben.

Es kann nach unserer Auffassung keinem Zweifel unterliegen, daß das Vorhandensein der Watten als Ganzes für den Bestand der jetzigen Festlandsküste schlechthin die Voraussetzung ist. Insoweit, als die Inseln durch ihr Dasein einen entscheidenden Beitrag zur Erhaltung des Wattenmeeres in seiner ungefährten Form und Höhenlage zu liefern imstande sind, ist ihre Erhaltung ebenfalls entscheidend notwendig. Wenn die Inseln daneben eine dämpfende Wirkung auf den Seegang haben und damit die eigentliche Festlandsküste beträchtlich entlasten, wäre das ein weiterer Grund für ihre Erhaltung. Er wäre aber nicht so entscheidend, wenn sich die wesentlichen Formen des Wattenmeeres auch ohne Inseln erhalten ließen. Wie sieht es damit aus?

Das ostfriesische Küstenvorfeld ist erdgeschichtlich ein „Neubaugebiet“, in welchem im einzelnen zwar kein Gleichgewicht zwischen Kraft und Raum besteht, dessen Großform aber, solange der Baustoff Sand vom Westen herangeführt wird, wie es schon durch Jahrhunderte der Fall ist, über längere Zeit Bestand haben wird. Einzelne neue Ein- und Durchbrüche durch den seit langem unterbrochenen Strandwall mögen auch künftig örtliche Gefahren für die Festlandsküste auslösen und dort Schäden zur Folge haben; ihrer wird sich der Mensch, wenn er sich der Gefahr rechtzeitig bewußt wird, vorsorglich erwehren können. Schwieriger wird es natürlich, wenn — wie vor hundert Jahren — der Mensch versucht, die naturgegebene dauernde Änderung der Kleinformen aufzuhalten und in starre Grenzen zu fassen. Das begann mit den ersten Uferschutzmaßnahmen vor hundert Jahren auf den Inseln im Raum zwischen Ems und Jade, wobei der Gedanke des Schutzes der Festlandsküste zwar bestehen blieb, aber doch mehr und mehr zugunsten der Erhaltung des gestiegenen Eigenwertes der Inseln zurücktrat. Damit wurde ohne Kenntnis der großen Zusammenhänge ein unnatürlicher Eingriff in die natürliche Entwicklung eingeleitet, der schwerwiegende Folgen, das heißt fort-dauernde kostspielige Maßnahmen für den Küstenschutz, ausgelöst hat. Man hat damals sicher nicht überblickt, daß das ganze ostfriesische Wattengebiet mit seinen Inseln und Stromsystemen in so starker und bestimmter Abhängigkeit zu den an und in ihm wirksamen Kräften steht, daß man nicht ohne sehr großes Risiko darin eingreifen kann. Es ist heute die Frage, ob aus

dieser Erkenntnis praktische Folgerungen gezogen werden müssen und können. Wir können diese Frage nur stellen, ihre Beantwortung muß übergeordneter Entscheidung vorbehalten bleiben.

Die Ostfriesischen Inseln sind also als natürlicher Bestandteil einer verhältnismäßig stabilen Großform und damit als Schutz des Festlandes anzusehen. Sie werden selbst ohne starke Uferschutzmaßnahmen in ihrer Gesamtheit in absehbarer Zeit voraussichtlich erhalten bleiben. Zusätzliche Gefahrenpunkte können für die ostfriesische Küste im Mündungsbereich von Ems und Jade auftreten, wo die Bedürfnisse des Küstenschutzes mit denen der Vorflut und des Seeverkehrs abzustimmen sind. Sie stehen daher mit der Auffassung über die Bedeutung der ganzen Inselkette für das Festland nicht im Widerspruch.

Da im Raum zwischen J a d e und E i d e r die wenigen Inseln für den Schutz der Festlandsküste nicht ins Gewicht fallen, kann eine Untersuchung über ihre Bedeutung für den Schutz der Festlandsküste unterbleiben. Daß die behauptete zunehmende Versandung des inneren deutschen Küstenraumes im Laufe der Zeit zur Entstehung zusammenhängender schützender Strandwälle führen wird, ist in absehbarer Zeit nicht zu erwarten. Eine Förderung solcher Entwicklung von Menschenhand ist, wie das Beispiel der Insel Trischen gelehrt hat, aussichtslos. Wir können nur hoffen, daß die küstenschützenden Sände auch bei starker Formänderung in ihrer Großform erhalten bleiben, und müssen ihre Entwicklung sorgfältig überwachen. Letzteres gilt besonders im Zusammenhang mit den Maßnahmen zur Regulierung und Vertiefung der Seewasserstraßen.

Die Inseln und Halligen im n o r d f r i e s i s c h e n Becken stehen in einer ganz anderen Beziehung zum Wattenmeer, wie es in Ostfriesland der Fall ist. Insel- und Wattenmeerformen sind hier nicht in einer gleichen Wechselwirkung entstanden und bedingen sich nicht gegenseitig wie in Ostfriesland. Der große Einbruch der See in das nordfriesische Niederungsbecken, der vor vielleicht zweitausend Jahren begann, dauert noch heute an. Ohne unablässige m e n s c h l i c h e Arbeit wären heute alle Marschinseln und Halligen v e r s c h w u n d e n , und das jetzige System der zwischen ihnen verlaufenden Rinnen hätte der ein- und auslaufenden Flutwelle ein noch wesentlich größeres Einzugsgebiet und damit eine noch größere Stoßkraft verliehen. Es ist nicht anzunehmen, daß nach Verschwinden der Inseln in absehbarer Zeit eine allgemeine Watterhöhung in Gestalt von hohen Sänden auftreten würde, sonst hätten sich bereits in der Vergangenheit Anzeichen dafür ergeben müssen. Die zunehmende Erkenntnis dieser Tatsachen ist seit Jahrzehnten Anlaß für den Staat gewesen, zu versuchen, wenigstens im inneren Bereich des Wattenmeeres der fortschreitenden Zerstörung Einhalt zu gebieten. Aus diesem Bestreben sind neben den Schutzbauten an den Halligen eine Reihe von Dämmen vom Festland zu den Inseln und Halligen gebaut worden. Diese sollten dazu beitragen, das große in Küstennähe untereinander verbundene Rinnensystem in eine Reihe von einzelnen weniger gefährlichen Rinnen mit kleineren Watträumen aufzulösen, um damit den Angriff des Seegangs und der Strömungen zu verringern und die Aushöhlung des Wattsockels durch Förderung der Verlandung zu unterbinden.

Wenn auch das eben beschriebene Kräftebild nicht ganz auf die Geest- und Düneninseln Sylt und Amrum zutrifft, weil diese und die ihnen teilweise vorgelagerten Sände einer zusätzlich stärkeren Brandungswirkung von der freien See her unterliegen, so liegt doch im ganzen in Nordfriesland das Hauptgewicht der Inseln und Halligen als Küstenschutzwerke nicht nur darin, daß sie durch ihr Vorhandensein eine wilde Ausbreitung und Verlagerung des Rinnensystems verhindern, sondern zugleich Brückenkopfstellungen für ein System von Dämmen bilden, die den Aushöhlungsvorgang aufhalten oder rückläufig machen sollen.

Von der natürlichen, großräumigen Schau aus gesehen können auch in Nordfriesland zur Erhaltung der Inseln und Halligen die notwendigen Arbeiten im einzelnen durchaus von Wünschen und Plänen abweichen, die aus wirtschaftlichen, Verkehrsgründen und so weiter, vorgetragen werden. Bei der gebotenen sachlichen Abwägung der verschiedenen Bedürfnisse ist darauf hinzuweisen, daß bei a l l e n Maßnahmen als primäre Forderung die dauernde Sicherheit der gesamten Küste, das heißt der Deiche, des Wattenmeeres und der Inseln, oberstes Ziel ist und bleiben muß.

VI. Zusammenfassung

Wir glauben, mit den bisherigen Ausführungen im Spiegel unserer gegenwärtigen Erkenntnisse einen Überblick im großen Rahmen über die Küstenarbeit gegeben zu haben. Sie wird in dem vorzulegenden Gesamtbilanzbericht ausführlicher dargelegt werden. Zu einer Bilanz gehört selbstverständlich die Frage nach dem Aufwand und dem Erfolg. Die große Zahl der Träger der Küstenschutzarbeit, auch der Staat für seinen Teil, haben sich und der Öffentlichkeit über diese Frage nur in einzelnen Fällen Rechenschaft abgelegt. Sie konnten es auch nur unvollkommen tun, weil, wie wir gesehen haben, eine einzelne Maßnahme für sich allein gar nicht betrachtet werden kann. Jedoch würde auch eine generelle Untersuchung für die letzten hundert Jahre aus der Schau der ganzen Küste unbefriedigend bleiben, weil es weder möglich ist, den Wert der aufgewendeten Arbeit für einzelne Nutznießer und für die Gesamtheit auch nur annähernd richtig zu ermitteln, noch einen gültigen Maßstab für die Sicherheit zu geben, die mit Hilfe der Küstenschutzarbeit für längere Dauer erreicht wurde. Eine Erfolgsrechnung im kaufmännischen Sinne würde auch aus dem Grunde fehlerhaft sein, weil die Menschenleben, deren Erhaltung die Küstenschutzarbeiten dienen, nicht mit Geld bewertet werden können.

Die Frage nach Aufwand und Erfolg in der Küstenschutzarbeit muß demnach im Sinne unserer Betrachtung richtiger lauten: Ist die Arbeit in den letzten hundert Jahren sinnvoll gewesen, das heißt hat sie die Grenzen des Möglichen beachtet und die Verteidigungsstellung gehalten oder verbessert? Stellt man die Frage so, dann kann man sie nicht von der Wirkung jeder Einzelmaßnahme, sondern nur vom Gesamtergebnis her beantworten, denn eine Einzelmaßnahme mag aus der Zeit ihrer Ausführung und aus den für diese Zeit geltenden Gegebenheiten richtig gewesen sein; ob wir sie heute rückschauend als richtig oder falsch ansehen, ergibt sich erst aus dem Stand der Erkenntnisse und Möglichkeiten in unseren Tagen. Uns geht es dabei nur darum, was wir daraus lernen und für die Arbeit der Zukunft nutzbar machen können. Daß eine Reihe von Maßnahmen den beabsichtigten Erfolg nicht erreicht hat, wurde schon ausgeführt. Heute liegt für die erlittenen Fehlschläge in vielen Fällen auch schon die Ursache klar zutage. Aus der Arbeit der letzten dreißig Jahre haben wir erst wieder gelernt, daß zwischen allen Arbeiten, ob sie dem Hochwasserschutz, dem Schutz der Ufer, der Erhaltung und Festigung der Watten und der Inseln, dem Verkehr oder der Entwässerung dienen, ein unlösbarer Zusammenhang besteht und daß es hier nur wenige Bereiche gibt, in denen der Mensch auch mit Hilfe der modernen Technik ungestraft den natürlichen Zusammenhang übersehen und vernachlässigen darf. Diesem Zusammenhang ist im Zeitalter der Aufspaltung der Arbeit und der Spezialisierung nicht mehr genügend Rechnung getragen worden. Diese Erkenntnis, ihre Beachtung und die Abstimmung der Großaufgaben an der Küste mit den gestiegenen Bedürfnissen der Wirtschaft, des Verkehrs, der Erholung des Menschen und so weiter, haben die Verantwortung für die Basis des ganzen Schutzsystems, die Deiche, aus der Ebene ihrer bisherigen Träger weit hinausgehoben. Gesamtverantwortlich können für alle übergeordneten Arbeiten nur die Stellen sein, die gleichzeitig für die Entwicklung im gesamten Wattenmeer in den Grenzen des überhaupt Möglichen die Verantwortung tragen. Das sind die Länder an der Küste und der Bund. Aber auch in diesem größeren Raum ist die Verantwortung — von der Sache her gesehen — ein unteilbares Ganzes. Sie beginnt mit der umfassenden Arbeit an der Klärung und Deutung der Entwicklung, von der jede Einzelmaßnahme abhängig ist und in die sie sorgsam eingepaßt werden muß. Diese Arbeit ist noch weit im Rückstand, und doch ist sie die entscheidende Voraussetzung für ein sinnvolles Planen überhaupt, und kann deshalb nicht erst unmittelbar vor jeder neuen Baumaßnahme einsetzen. Von einer solchen Gesamtschau aus ist es dann aber auch unerlässlich, die einzelnen Bauglieder in ihrer Funktion und Konstruktion so zu entwickeln, daß mindestens viele Fehler der Vergangenheit vermieden und die Gesamtkosten in erträglichen Grenzen gehalten werden. Erkennt man so das Ausmaß der Verantwortung und, wie die Holland-Katastrophe uns bewiesen hat, die trotz aller menschlichen Tüchtigkeit fort-dauernde ernste Gefahr für die gesamte Küste in ihrer ganzen Schwere, dann sollte es auch

für den einzuschlagenden Weg keine unüberwindlichen Hemmungen geben. Angesichts der heute noch vorhandenen überaus starken, weil politisch bedingten, Aufgabenzersplitterung an der Küste sehen es die im Küstenausschuß Nord- und Ostsee zusammengefaßten Vertreter der verschiedenen Träger der Küstenarbeit zusammen mit Vertretern der Wissenschaft als ihre Aufgabe an, die Entwicklung und die Arbeit vor der deutschen Festlandküste in Forschung, Planung und Bau als Ganzes zu sehen und die Öffentlichkeit immer wieder darauf hinzuweisen, daß hieraus in materieller, ideeller und organisatorischer Richtung nun auch die Folgerungen gezogen werden müssen.

Kurz nach der Holland-Katastrophe bemerkte ein holländischer Wasserbauingenieur:

„In einem Aufsatz schrieb ich, daß unsere Wasserbauer in Berichten und Ratschlägen vor den zu niedrigen und zu schwachen Deichen gewarnt haben. Ich habe damit nicht mehr gesagt, als zu verantworten war. Es war jedoch kein Versuch, um die Verantwortung für das, was geschehen ist, auf andere abzuschieben. Wir Ingenieure haben mindestens in demselben Maße versagt wie diejenigen, die diese Ratschläge nicht befolgt haben, weil wir es dann darauf beruhen ließen.

Es müssen erst Ereignisse wie in den verfloßenen Wochen aufgetreten sein, um dieses Verhalten zu ändern. Mit meinem Aufsatz bezweckte ich, meine Kollegen in dieser Hinsicht wachzurufen.“

Möchte es uns erspart bleiben, daß wir uns eines Tages für u n s e r e Küsten denselben Vorwurf machen müssen. Wir haben deshalb als Ingenieure und Wissenschaftler die große Pflicht, im Rahmen des Küstenausschusses Nord- und Ostsee die Arbeiten zur Erhaltung der Küste in ihrer ganzen Größe und ihrem ganzen Ernst als Grenzaufgabe und damit als Aufgabe des ganzen deutschen Volkes so unmißverständlich und nachdrücklich vorzutragen wie nur möglich.

VII. Schriftenverzeichnis

1. BOTHMANN, W.: Die Bedeutung der Landgewinnungsarbeiten für den Küstenschutz an der Nordsee. Deutsche Wasserwirtschaft H. 6—8, 1941.
2. BOTHMANN, W.: Die Sicherung des Seedeichs vor dem Wesselburener Koog in Norderdithmarschen. Die Küste 2, H. 2, 1953.
3. FÜLSCHER: Die Entwicklung der ostfriesischen Küste in geschichtlicher Zeit. Berlin 1905.
4. FÜLSCHER: Über Uferschutzbauten zur Erhaltung der ost- und nordfriesischen Inseln. Zeitschr. f. Bauwesen, 1905.
5. GAYE, J.: Entwicklung und Erhaltung der ostfriesischen Inseln. Zentralbl. d. Bauverw. 54, H. 22, S. 293—300, 1934.
6. GAYE, J. und WALTHER, F.: Die Wanderung der Sandriffe vor den ostfriesischen Inseln. Die Bau-technik 13, H. 41, S. 555—567, 1935.
7. GAYE, J.: Gutachten für die Gemeinde Pellworm vom 11. Februar 1948 (unveröffentlicht).
8. GAYE, J.: Die Wasserstandsänderungen in der Ostsee und in der Nordsee in den letzten hundert Jahren. Die Wasserwirtschaft, Sonderheft S. 1—5, 1951.
9. GAYE, J.: Wasserstandsänderungen in der Nordsee. Abh. Naturw. Ver. Bremen 33, H. 1, S. 143—152, 1952.
10. GRIPP, K.: Entstehung und künftige Entwicklung der Deutschen Bucht. Arch. Dt. Seewarte 63, H. 2, 1944.
11. HAHN, A. und RIETSCHEL, E.: Langjährige Wasserstandsbeobachtungen an der Ostsee. VI. Balt. Hydrolog. Konferenz, Hauptbericht 13, Berlin 1938.
12. HENSEN, W.: Über die Ursachen der Wasserstandshebung an der deutschen Nordseeküste. Die Bau-technik 16, H. 1, 1938.
13. KRÜGER, W.: Meer und Küste bei Wangeroog und die Kräfte, die auf ihre Gestaltung einwirken. Zeitschr. f. Bauwesen, 1911.
14. KRÜGER, W.: Riffwanderung vor Wangerooge. Abh. Naturw. Ver. Bremen 30, H. 1/2, S. 243—252, 1937.
15. LORENZEN, J. M.: Die Wattforschung als Grundlage der Landgewinnung. Nordfries. Jahrb. 23, S. 137—141, 1936.
16. LORENZEN, J. M.: Planung und Forschung im Gebiet der schleswig-holsteinischen Westküste. Westküste 1, H. 1, S. 12—23, 1938.

17. LORENZEN, J. M.: Die Geschichte der Inseln Alt-Nordstrand, Nordstrand und Pellworm, insbesondere die Entwicklung der Querschnitte ihrer Deiche bis zur Jetztzeit. Zentralbl. d. Bauverw. 58, H. 28, S. 762—774, 1938.
18. LORENZEN, J. M.: Die Küstenforschung zum Zwecke der Landgewinnung in Schleswig-Holstein. Probleme der Küstenforschung im südl. Nordseegebiet, 1940.
19. LORENZEN, J. M.: Vorarbeiten für Seebauten. Jahrb. Hafenbautechn. Ges. 18, 1939/40.
20. LORENZEN, J. M.: Die Generalplanung im nordfriesischen Wattenmeer. 1940 (nicht veröffentlicht).
21. LORENZEN, J. M.: Aufgaben und Wege der Wattenmeerforschung. Deutsche Wasserwirtsch., Landwirtschaftl. Wasserbau 2, H. 1, S. 41—48, 1941.
22. LÜDERS, K.: Über das Wandern der Priele. Abh. Naturw. Ver. Bremen 29, H. 1/2, S. 19—32, 1934.
23. LÜDERS, K.: Über das Ansteigen der Wasserstände an der deutschen Nordseeküste. Zentralbl. d. Bauverw. 56, H. 50, S. 1386—1389, 1936.
24. LÜDERS, K.: Die Sturmfluten der Nordsee in der Jade. Die Bautechnik 14, H. 13, S. 193—196, H. 15, S. 219—222, 1936.
25. LÜDERS, K.: Die Sedimente der Nordsee. Neues Arch. Niedersachsen H. 16, S. 213—226, 1950.
26. LÜDERS, K.: Die Wirkung der Buhne H in Wangerooge-West auf das Seegat „Harle“. Die Küste 1, H. 1, S. 21—26, 1952.
27. LÜDERS, K.: Die Entstehung der ostfriesischen Inseln und der Einfluß der Dünenbildung auf den geologischen Aufbau der ostfriesischen Küste. Probleme d. Küstenforschung im südl. Nordseegebiet, Bd. 5, Hildesheim 1953.
28. LÜDERS, K.: Dünenschutzwerk auf Norderney. Wasser u. Boden H. 3, S. 76, 1954.
29. LÜPKES, H. und SIEMENS, H. P.: Uferschutzbauten vor Westerland. Zentralbl. d. Bauverw. 1938.
30. LÜPKES, H. und SIEMENS, H. P.: Planung und Stand der Maßnahmen zur Sicherung des Ellenbogens von Sylt. Westküste 2, H. 2/3, S. 6—23, 1940.
31. LÜPKES, H. und SIEMENS, H. P.: Erfahrungen mit Stahlbuhnen auf der Insel Sylt. Die Bautechnik 19, H. 46/47, 1941.
32. SCHMIDT, R.: Der Hindenburgdamm nach Sylt und die Landgewinnung an der schleswigschen Westküste. Meereskunde 16, H. 4, S. 180, 1928.
33. SCHMIDT, R. und HEISER, H.: Verteidigung der Küsten gegen das Meer an Küsten mit und ohne vorwiegende Sinkstoffführung. Ber. zum XV. Internat. Schiffahrtskongr. 2. Abt., 2. Frage. Venedig 1931.
34. SCHMIDT, R.: Inselschutz vor der deutschen Nordseeküste. Werdendes Land am Meer H. 5, S. 71—105, 1937.
35. SCHÜTTE, H.: Das Alluvium des Jade-Weser-Gebiets. Ein Beitrag zur Geologie der deutschen Nordseemarschen. Oldenburg i. O. 1935.
36. WALTHER, F.: Die Gezeiten und Meeresströmungen im Norderneyer Seegatt. Die Bautechnik 12, H. 13, S. 141—153, 1934.
37. WALTHER, F.: Grundlagen für die Entwicklung der Meeresströmungen in den Seegatten und Wattgebieten der ostfriesischen Küste. Die Wasserwirtschaft 40, H. 2, 1949.
38. WOHLBERG, E.: Biologische Untersuchungen im Wattenmeer und ihre praktische Nutzenanwendung für die Landgewinnung. Probleme d. Küstenforschung im südl. Nordseegebiet, 1940.
39. WOHLBERG, E.: Entstehung und Untergang der Insel Trischen. Mitt. Geogr. Ges. Hamburg XLIX, S. 158—187, 1950.
40. WOHLBERG, E.: Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. Die Küste 2, H. 2, 1953.

Schlickbaggerung und Schlickverwertung bei der Wasserbauverwaltung

Von B. Kressner*)

Das Problem der Schlickverwertung ist nicht neu. Daß der Schlick, der sich fortwährend an den Küsten der Meere und in den Mündungsgebieten der Ströme absetzt, der aus einem kalkhaltigen schlammigen Gemenge von Ton, organischer Substanz und Feinsanden besteht, ein sehr fruchtbarer Boden ist, wußten unsere Vorfahren, die Bewohner unserer Meeresküsten, solange sie Ackerbau und Viehzucht trieben, solange sie die reif gewordenen Marschen eindeichten, um sie zu nutzen und zu kultivieren. Auf dieser Erkenntnis beruht das Problem der Landgewinnung an den Meeresküsten, beruht die Nutzung der auf Grund natürlicher Vorgänge abgelagerten Schlickmassen.

Das Problem der Schlickverwertung im heutigen Sinne, d. h. die Frage der Verwendung des Schlicks zur Bodenverbesserung, seien es Moorböden oder leichte Geestböden, konnte erst auftreten, als man begann, Schlick künstlich zu gewinnen, als man das Baggereiwesen entwickelte und die Strommündungen vertiefte, um die Zufahrtsstraßen nach den Seehäfen den sich steigenden Anforderungen der Seeschifffahrt anzupassen. Es ist daher verständlich, daß man sich bereits in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts mit Fragen der Schlickverwertung befaßt hat. Seitdem ist mancher Versuch unternommen worden, den reichlich gewonnenen Schlick, dessen Wert man erkannt hatte, wenigstens zum Teil nutzbringend zu verwenden. Manche solcher Versuche haben zu Erfolgen und dann zu einer mehr oder weniger rationellen Ausnutzung des Schlicks in größerem Umfange geführt; manche anderen Versuche sind auf die Dauer nicht zu halten gewesen, oder sie sind gescheitert, bevor sie auch nur Anfangserfolge gebracht haben. Besonders lebhaft haben diese Fragen die Fachwelt und die Öffentlichkeit in Notzeiten beschäftigt, also zwischen den beiden Weltkriegen und nach dem letzten Kriege.

Es entspricht daher einem echten Bedürfnis, wenn der Küstenausschuß die Arbeitsgruppe Schlickverwertung gebildet und diese Arbeitsgruppe mit der Erforschung der mit dem Problem zusammenhängenden Fragen beauftragt hat. Die wichtigsten Aufgaben der Arbeitsgruppe dürften sein:

1. Die Schlickgewinnung nach Ort, Menge und Art zu erforschen,
2. die Möglichkeiten zur Verwertung des Schlicks aufzuzeigen,
3. die geeigneten Verfahren zu untersuchen bzw. zu überprüfen,
4. die Grenzen festzustellen, deren Überschreiten die Schlickverwertung aus wirtschaftlichen Gründen verbietet.

Die Arbeitsgruppe hat unter der Leitung des Professors Dr. IWERSEN, Husum, ihre Arbeiten im Juni 1952 aufgenommen. Die bisherigen Ergebnisse lassen bereits erkennen, daß sich brauchbare Wege zur Lösung des Problems werden finden lassen, und daß sich andererseits gewisse, bereits versuchte Wege als Fehlmaßnahmen erweisen müssen. Auf mehreren ein- bis zweitägigen Bereisungen der wichtigsten Schlickgewinnungsgebiete an der Ems, Jade, Weser und Elbe konnten bereits wichtige Erkenntnisse gewonnen und zum Teil Verbesserungsvorschläge gemacht werden. Dieses Ergebnis ist der regen und tätigen Mitarbeit aller leitenden Herren der jeweils zuständigen Wasser- und Schifffahrtsdirektionen oder der Wasser- und Schifffahrts-, Wasserwirtschafts- und Hafenbauämter zu danken, die sich trotz reichlicher dienstlicher Belastung in bester Zusammenarbeit an den Forschungsaufgaben beteiligen.

Der größte Schlickfall tritt in den Brackwasserzonen der Strommündungen auf, und zwar nach Untersuchungen von Dr. LÜNEBURG in der Wesermündung in einem Bereich, in dem der Salzgehalt des Wassers etwa zwischen 2 und 10 ‰ beträgt, wobei der Schwerpunkt im Bereich

*) Vortrag, gehalten auf der 1. Arbeitstagung des Küstenausschusses am 23. 3. 1954 in Hannover.

der Brackwasserzone mit 5 bis 6 % Salzgehalt liegt. Hier bewegt sich ständig eine Sinkstoffwolke im Wasserkörper, aus der sich bei Stauwasser ein hoher Prozentsatz der Sinkstoffe am Boden ablagert. Bis heute ist noch nicht befriedigend geklärt, unter welchen Bedingungen der Schlick entsteht, und auch nicht bekannt, welche Mengen von Seeschlick an der deutschen Nordseeküste jährlich insgesamt zur Ablagerung kommen, wenn auch für einzelne Gebiete, besonders für Häfen und Hafenbecken, die jährliche Aufschlickung mit hinreichender Genauigkeit festgestellt ist. Diese Frage spielt aber für das Problem der Schlickverwertung keine entscheidende Rolle. Es kommt vielmehr auf die Mengen von Schlick an, die jährlich durch Baggerung gewonnen werden.

Die Schwerpunkte der Schlickbaggerungen liegen in Emden, Wilhelmshaven, Bremerhaven, Cuxhaven, Brunsbüttelkoog und Hamburg (hier kein Seeschlick).

Die jährlich anfallenden Schlickmengen (Durchschnittswerte) in der Deutschen Bucht sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Anfallraum	Anfallende Schlickmengen als	
	Naßschlick in cbm	stichfester Schlick in cbm
Emden — Außenhafen	1 200 000	400 000
Emden — Dockhafen	600 000	200 000
Leer	20 000	6 700
Norden	90 000	30 000
Bensersiel	90 000	30 000
Wilhelmshaven	100 000	33 300
Bremerhaven	2 500 000	800 000
Cuxhaven	400 000	133 000
Hamburg	400 000	133 000
Schulau	3 000	1 000
Glückstadt	40 000	13 000
Brunsbüttelkoog	4 000 000	1 330 000
Friedrichskoog	15 000	5 000
Tönning	15 000	5 000
Husum	60 000	20 000
Insgesamt	9 533 000	3 140 000

Bei einem angenommenen Nährstoffwert je cbm von 4 DM und einem kolloidchemischen Wert je cbm von 4 DM = 8 DM/cbm =

anfallender Jahreswert: 25 120 000 DM.

Zur Zeit werden also jährlich über neun Millionen cbm nasser Schlick gebaggert, die auf Land gespült und nach Trocknung mehr als drei Millionen cbm stichfesten Schlick ergeben würden. Diese Mengen würden sich noch erhöhen, wenn in Wilhelmshaven der größte Teil der Häfen nicht zerstört und die Zufahrt tief gehalten worden wäre. Hier wurden bis zum Ende des Krieges jährlich eine Million cbm Naßschlick gebaggert, im Gegensatz zu den Nachkriegsjahren mit nur 100 000 cbm. Zur Verwertung dieser Schlickmengen sind den örtlich verschiedenen Gegebenheiten entsprechend auch unterschiedliche Wege beschritten worden.

Der in Emden gebaggerte Schlick wurde in der Zeit vor 1900 in der Ems verklappt.

Der erste Versuch zur landwirtschaftlichen Verwertung eines geringen Teiles des fruchtbaren Schlicks wurde nach Fertigstellung des Dortmund-Ems-Kanals 1897 unternommen. Der landwirtschaftliche Hauptverein für Ostfriesland legte bei Petkum am Seitenkanal Oldersum—Emden Schlicklager an, um von dort aus spittreif getrockneten Schlick auf

die Geest zu liefern. Die Aufnahmefähigkeit der Becken betrug zuletzt 35 000 cbm spittfesten Schlicks jährlich. Bis zum ersten Weltkrieg ist dieses Lager ausgenutzt worden, später ging der Absatz auf 5000 cbm/Jahr zurück, und heute liegt der Betrieb still, weil er bei den derzeitigen Bagger- und Transportpreisen nicht mehr wirtschaftlich ist. Der Preis für 1 cbm spittfesten Schlick würde sich heute auf 6,70 DM stellen, während landwirtschaftliche Sachverständige nur 1,50 DM für tragbar halten. Dieser Preisunterschied kann durch staatliche Beihilfe nicht mehr ausgeglichen werden.

Andere Vorschläge erwiesen sich ebenfalls bei näherer Prüfung als unwirtschaftlich. Nur einzelne dieser Pläne seien erwähnt, um zu zeigen, wie es leider nicht geht.

Im Auftrage der Regierung in Aurich hat Dr. KRULL einen Plan bearbeitet, weite Gebiete Ostfrieslands mit Rohrleitungen zu überziehen und eine weiträumige Schlickverteilung einzurichten. Die Kosten dieses Verfahrens erwiesen sich als zu hoch. Dr. KRULL hat dann vorgeschlagen, am Ems-Jade-Kanal eine Spülerliegestelle einzurichten, den Schlick dort in

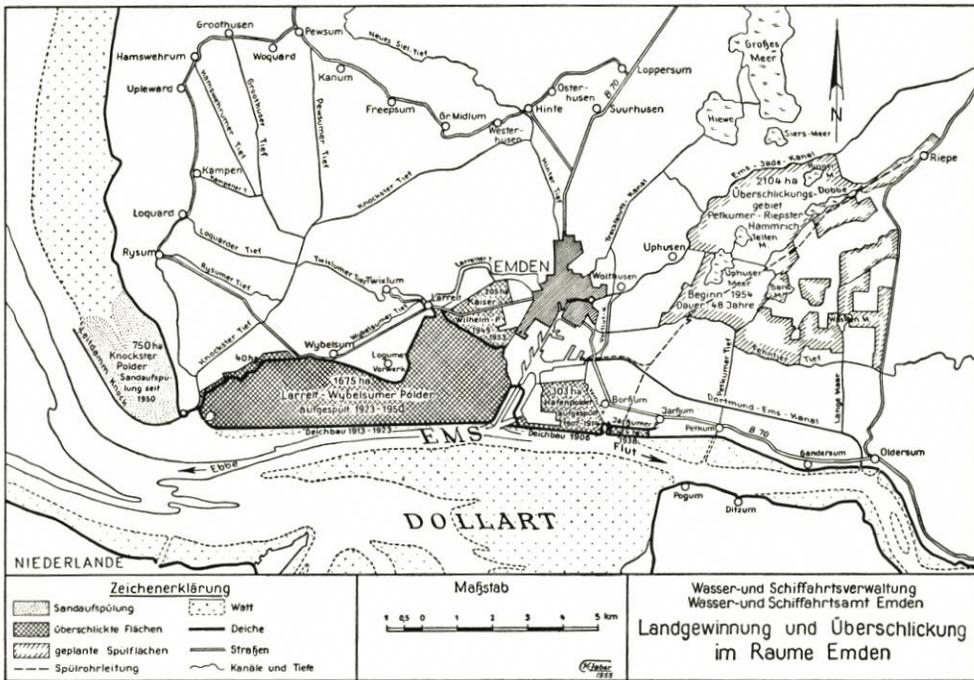


Abb. 1. Larrelt-Wybelsumer Polder (aufgespült 1923 bis 1953)

Becken zu spülen und nach Trocknung von Landwirten mit eigenen Hilfskräften und Fahrzeugen abfahren zu lassen. Auch dieser Vorschlag läßt sich nicht durchführen, weil aus dem Kanal Spülwasser in den notwendigen Mengen nicht entnommen werden kann, weil für den Transport des Baggergutes eine Flotte von neunzig Schuten mit je 150 t Tragfähigkeit und dreißig Schleppern benötigt würde und der Schlick sich auch in diesem Falle zu teuer stellen würde. Diese Beispiele zeigen, daß man Schlick nur auf sehr begrenzte Entfernungen befördern kann, sowohl auf dem Wasserwege als auch auf dem Lande.

Aber auf anderem Wege ist es an der Ems gelungen, den Schlick, wenn auch etwas verschwenderisch, so doch durchaus nutzbringend zu verwerten. Die Wasserbauverwaltung hat in der Erkenntnis, daß sich eine großräumige Verteilung der Schlickmassen zur Bodenverbesserung als unwirtschaftlich verbietet, den Weg der Neugewinnung besten Kulturlandes beschritten.

Regierungsbaudirektor BREUER berichtete darüber an die Arbeitsgruppe wie folgt:
„In den Jahren 1907 bis 1914 verwendete man zum ersten Male den beim Baggern anfallenden Schlick und Sand beim Bau des neuen Binnenhafens zur Erhöhung des Hafenspolders, des 303 ha großen Königspolders. Nach der Fertigstellung des Seedeiches am rechten Emsufer zwischen Emden und der Knock wurden die dahinter liegenden Poldergebiete, der insgesamt 1675 ha große Larrelt-Wybelsumer Polder von 1923 bis 1953 zunächst durch eine im Mittel 2 m starke Sandschicht aufgehöhht und mit Schlick in 1,25 m Stärke überspült. So entstand für 300 Gemüsebauern in Emden und Umgebung fruchtbarster Kulturboden, der zu einem Teil für die Ansiedlung von Neubauern freigegeben wurde. Von 1949 bis 1953 wurde der 205 ha große Kaiser-Wilhelm-Polder mit einer 1 m starken Schlickdecke aufgehöhht (Abb. 1).“

In Emden konnte der Spüler mit 950 PS Maschinenleistung den Schlick rund 5 km weit drücken. Zur Weiterbeförderung wurde in Wybelsum ein Zwischenpumpwerk mit einem

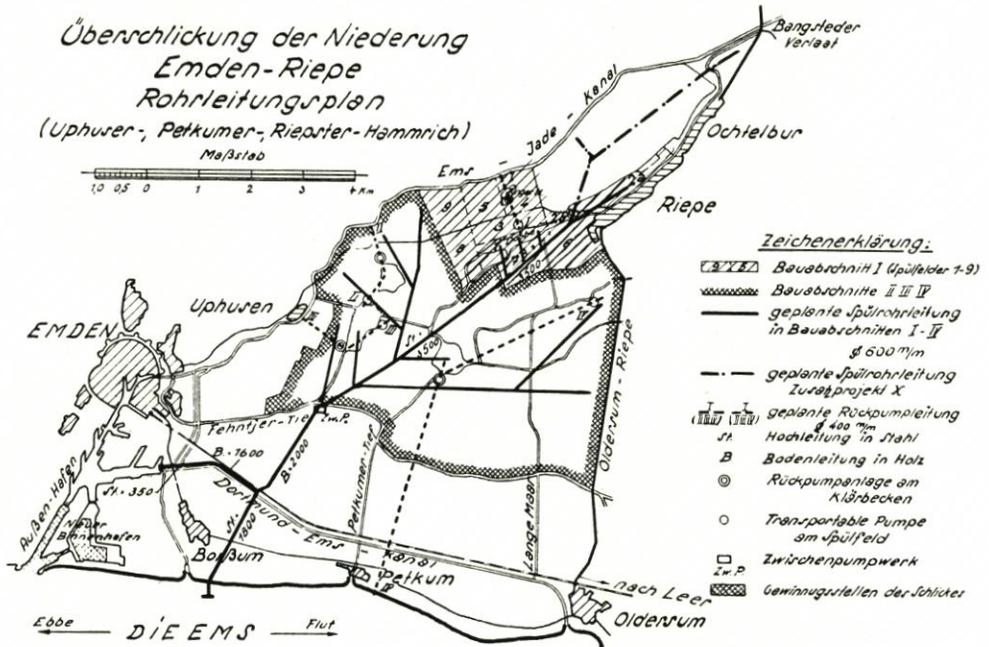


Abb. 2. Überschlickungsgebiet Riepster Hammrich bei Emden

380 PS starken Antriebsmotor erbaut, das den Schlick um weitere 7 km beförderte. Das Pumpwerk sog das Baggergut aus einem Sammelbecken neu an, ohne daß in der Regel Zusatzwasser gegeben wurde. Für die Baggerungen auf der Ems besteht ein weiteres Pumpwerk an der Knock, das unmittelbar in die Rohrleitung eingebaut ist, aber nur für Sandspülungen verwendet wird.

Das 750 ha große Wattengelände westlich der Knock wird zunächst mit Sand aufgespült und soll später ebenfalls überschlickt werden.

Für künftige Schlickspülungen auf die Dauer von etwa 48 Jahren ist das Gebiet des Petkumer-Riepster Hammrichs im Nordosten der Stadt Emden ausgewählt worden, ein 2800 ha großes Niederungsmoorgebiet, in dem mehrere in der Verlandung begriffene Flachmoorseen liegen (Abb. 2).

Das in Emden seit nunmehr fast fünfzig Jahren eingespielte Verfahren der Schlickverwertung dürfte kaum durch eine bessere Lösung zu ersetzen sein, es bleibt lediglich zu prüfen, ob man mit einer geringeren Schlickdecke beim gleichen jährlichen Schlickanfall mit noch wirtschaftlich vertretbaren Betriebseinrichtungen in kürzerer Zeit mehr Ödland in bestes Kulturland verwandeln kann. Vermutlich genügen Schlickdecken von 30 bis 50 cm Stärke.

In Wilhelmshaven ist die Entwicklung ähnliche Wege gegangen. Auch hier ist versucht worden, den Schlick auf dem Wasserwege oder über Land großräumig zu verteilen, jedoch ohne nennenswerten Erfolg.

1886 wurde Schlick in Schuten an Landwirte am Ems-Jade-Kanal geliefert, in zwei Jahren insgesamt 23 000 cbm.

1901—1918 wurden am Ems-Jade-Kanal nach Petkumer Muster angelegte Trockenbeete mit Schlick versorgt, und in dieser Zeit sind insgesamt 86 000 cbm von Bauern abgefahren worden. Nach dem ersten Weltkrieg wurde dieser Weg aufgegeben.

Seit 1933 ist in geringem Umfang Schlick in Schuten von den Baggern abgeholt worden. Von der Marine wurden 0,25 M/cbm Zuschuß für ersparte Schleppkosten zugezahlt.

1937 sind Schlicktrocknungsanlagen entworfen, aber der hohen Kosten wegen nicht ausgeführt worden.

Auch ein 1947 von einem privaten Unternehmen begonnener Bau von Trocknungsbecken blieb unvollendet, das Unternehmen geriet in Konkurs.

Bis zu dieser Zeit ist die große Masse des gebaggerten Schlicks in der Jade verklappt worden.

Auf Drängen der Militärregierung ist vom Jahre 1946 ab, also erst vierzig Jahre später als in Emden, der gebaggerte Schlick planmäßig und nutzbringend verwendet worden, und zwar zur Kultivierung des H e p p e n s e r G r o d e n s, einer eingedeichten und für Zwecke der Kriegsmarine mit Sand aufgehöhten Wattfläche von etwa 500 ha Größe nordöstlich von Wilhelmshaven. Hier wurden von der Wasserwirtschaftsverwaltung 320 ha Sandwüste mit Schlick 1 m hoch überspült, der auf 50 cm zusammentrocknete. Entwässerungsgräben und Windschutzpflanzungen sind angelegt worden. Die landwirtschaftlich nutzbare Fläche des Grodens wird nach Fertigstellung aller Arbeiten 460 ha groß sein und besiedelt werden. Nach den bisherigen Anbauversuchen ist ein voller Erfolg zu erwarten. Weitere Wattgebiete an der Jade kommen für die Fortsetzung von Landgewinnungsarbeiten in Frage.

Der in Bremerhaven gebaggerte Schlick ist bis zum Jahre 1932 in der Weser verklappt worden. Ab Mai 1933 wird der Schlick aufgespült, weil die Klappstelle aufgefüllt ist und keine andere in erträglicher Entfernung angewiesen werden konnte. Als Spülfläche wurde das etwa 100 ha große Wattgebiet gewählt, das sich unmittelbar nördlich der Nordschleuse bis zum Weddewardener Tief erstreckt.

Das Spülfeld wird allmählich, von Süden aus fortschreitend, an der Wattkante durch einen Buschdamm mit Steinbeschüttung begrenzt. Da aber dieser Damm im nördlichen Teil des Spülfeldes bis heute noch nicht vorhanden ist, läßt sich der Schlick nicht im Spülfeld halten, er fließt in die Weser ab. Nur die sandigen Bestandteile des Baggergutes bleiben vor den Mündungen der Spülrohrleitungen liegen. Seit Beginn des Spülbetriebes sind rund 30 Millionen cbm Boden aufgespült worden, aber nur 600 000 cbm feste sandige Masse auf dem Watt liegen geblieben. Der gewonnene Groden ist daher nicht kulturfähig, von einer Schlickverwertung kann unter diesen Umständen noch nicht die Rede sein. Es handelt sich um eine Schlickbeseitigung, die im Ergebnis nahe beim Verklappen liegt.

Man sollte möglichst den Spüldamm schließen und den aufgehöhten Teil des Grodens mit 1,5 m hohen Spüldämmen einfassen und mit Schlick bespülen, um im trockenen Zustand eine etwa 50 cm starke Schlickdecke zu erzielen.

Andere Pläne sind auch in Bremerhaven erörtert worden, aber nicht zur Ausführung gekommen, so die Überschlückung zu niedrig gelegener Wiesenflächen in der Gleisschleife, die zum Kaiserhafen führt, oder die Ablagerung von Schlick westlich des Bahnhofes Kaiserhafen, wo er trocknen und dann mit Bahn und Landfuhrwerken abgefahren werden sollte. Auch private Unternehmen, die Schlick trocknen, als Bodenverbesserungsmittel aufbereiten und abfahren wollten, sind nicht zum Zuge gekommen. Zur Zeit wird über großzügige Pläne verhandelt, nach dem in Emden bewährten Muster Niederungsmoore in der Geesteniederung in einer Ausdehnung von rund 8000 ha, die 7 bis 17 km vom Überseehafen entfernt liegen, zu überschlücken. Über die Verteilung der Kosten müßten sich die Länder Niedersachsen als Empfänger und Bremen als Lieferant des Schlicks einigen. Die Arbeitsgruppe Schlickver-

wertung könnte bei diesem Projekt vielleicht beratend wirken, wenn die Beteiligten es wünschen.

Der in den Häfen von Cuxhaven gebaggerte Schlick wird in der Elbe verklappt.

Nur einmal ist, leider ohne Erfolg, versucht worden, eine Anlage zur Verwertung des Schlicks zu schaffen. Eine private Gesellschaft schloß 1947 mit der Freien und Hansestadt Hamburg einen Vertrag, wonach der Staat sich verpflichtete, Schlicktrocknungsbeete von rund 9 ha Größe zu bauen und mit Schlick zu bespülen. Die Herrichtungskosten für die Becken sollte die Gesellschaft alsbald nach Fertigstellung der Erdarbeiten, die Aufspülkosten ein halbes Jahr nach beendeter Aufspülung dem Staat erstatten. Die Arbeiten waren zum Zeitpunkt der Währungsreform in vollem Gange. Nach diesem Zeitpunkt war aber die Gesellschaft nicht mehr in der Lage, neue Kredite zu beschaffen und ihren Verpflichtungen nachzukommen. Sie konnte auch ihre reichlich vorliegenden Lieferungsverträge nicht erfüllen, weil der Schlick infolge sehr nasser Witterung über Erwarten lange zum Abtransport zu naß blieb. Die Gesellschaft mußte Konkurs anmelden. Der Schlick konnte bisher nur zu einem geringen Teil verwendet werden, weil ein Pfandrecht darauf liegt und die Kosten des getrockneten Schlicks für Aufspülen, Abgraben im Trockenbeet und Verladen mit rund 8 DM/cbm ab Spülfeld zu hoch sind.

Einige tausend cbm Trockenschlick sind für die Internationale Gartenbauausstellung 1953 nach Hamburg geliefert worden. Der Gestalter der Ausstellung, Gartenarchitekt Plomin, hat bestätigt, daß nirgends eine so prachtvolle Rosenblüte erzielt worden sei wie auf den mit Schlick vorbereiteten Beeten. Trotzdem zeigt auch dieses Beispiel, daß der Versand von Trockenschlick als Bodenverbesserungs- oder Düngemittel an den Transport- und sonstigen Kosten scheitern muß.

In Brunsbüttelkoog wird der Schlick mit Saugebaggern gewonnen (wie übrigens auch in Wilhelmshaven), weil Eimerbagger mit ihren Ankerketten und längsseits liegenden Schuten den sehr regen Schiffsverkehr behindern würden. Das Baggergut ist daher hier besonders flüssig und bereits spülfertig. Der größte Teil (etwa $\frac{5}{6}$) fällt in den äußeren Vorhäfen der Brunsbüttelkooger Schleusen an, der Rest (etwa $\frac{1}{6}$) im Binnenhafen und im unmittelbar anschließenden Stück des Nord-Ostsee-Kanals. Die Schlickmengen aus den Schleusen sind dabei zum Teil den außen- und zum Teil den binnenseitigen Mengen zugerechnet worden.

Bis 1927 wurde der gesamte Schlick in der Elbe verklappt. Seit diesem Zeitpunkt werden die binnenseitigen Mengen verspült und ähnlich wie in Emden auf sumpfige und moorige Niederungsflächen beiderseits des Kanals aufgebracht. Die Ausnutzung der gesamten Baggermenge zur Aufschlickung von Ländereien war bisher nicht möglich, weil für das Durchschleusen und die Fahrt der Bagger vom Außenvorhafen nach den Spülstellen am Kanal zuviel Zeit von der eigentlichen Baggerung verloren ginge, so daß also bisher noch immer der Großteil der gebaggerten Schlickmassen in der Elbe verklappt werden mußte.

Die Spülflächen liegen beiderseits des Nord-Ostsee-Kanals, und zwar am nördlichen Ufer in der Burg-Kudenseer Niederung und am südlichen Ufer hauptsächlich zwischen km 5 und 12 des Kanals bis zu 3 km landeinwärts (Abb. 3). Vereinzelt konnten auch günstig zum Kanal gelegene Geest- und Kippflächen in weiterer Entfernung von den Schleusen überschllickt werden. Im ganzen wurden bisher in dieser Weise etwa 2000 ha, einige Flächen sogar mehrfach, überspült. Die Spülweiten betragen bis zu 4,5 km. In früheren Jahren wurde teilweise auch mit Eimerkettenbaggern, Schuten und Spülern gearbeitet. Im Durchschnitt werden 20 000 m³ flüssige Schlickmassen je Hektar aufgespült, was im trockenen Zustand eine etwa 25 cm starke Schlickdecke ergibt. Einzelne Flächen sind bis zu 50 cm aufgehöhht worden. Von den Interessenten wird ein Zuschuß gezahlt, der sich nach der aufgespülten Schlickmenge richtet und im Durchschnitt 50 bis 60 DM/ha beträgt. Die erzielten Erfolge können als hervorragend bezeichnet werden. Zur Zeit besteht bei den Bauern auf den Niederungsflächen südlich des Kanals, im Raume Ostermoor—Kudensee—Ecklak eine so starke Nachfrage nach Schlick, daß die Ansprüche mit den im Binnenhafen anfallenden Mengen erst in einigen Jahren gedeckt werden können. Mit ständigen weiteren Wünschen ist zu rechnen.



Abb. 3. Überslickungsfelder Kudensee am Nord-Ostsee-Kanal

Darüber hinaus bestehen beim Wasserbauamt Brunsbüttelkoog in Verbindung mit Wünschen der Landschaft Süderdithmarschen und des Sielverbandes Burg-Kudensee für die Zukunft und die Dauer von 25 bis 30 Jahren sehr bemerkenswerte Planungen, die die Ausnutzung der gesamten bei Brunsbüttelkoog anfallenden Schlickmengen zum Ziele haben. Es sollen also auch die großen Mengen aus den äußeren Vorhäfen, die bisher immer noch in der Elbe verklappt werden müssen, ausgenutzt werden. Dazu soll im Außenhafen der neuen Schleusen ein Spülerliegeplatz und daneben an Land ein Auffangbecken errichtet werden, von dem aus der vom Saugbagger ladungsweise eingespülte Schlick durch Rohrleitungen einem etwa 1 km entfernten Pumpwerk zufließt. Dieses soll die Masse 6 bis 9 km weit in die

Burg-Kudenseer Niederung drücken, die in einer Ausdehnung von rund 1800 ha verbessert und im Durchschnitt 1 m aufgehöhht werden soll, wobei mit wesentlichen Verbesserungen der Entwässerungsverhältnisse gerechnet wird. Für die Verteilung der Baggermassen in der Niederung ist, sobald der Fortschritt der Arbeiten es erfordert, ein zweites Zwischenpumpwerk vorgesehen, daß bei einer Druckweite von rund 8 km auch die äußersten Stellen dieses Gebietes erreichen soll (Abb. 4). Fernerhin ist von hier aus die Behandlung „kranker“ Böden der anschließenden Geestgebiete denkbar, wenn dazu zusätzliche Pumpanlagen kleineren Umfanges geschaffen werden oder der ausgetrocknete Schlick von günstig gelegenen Spülflächen abefahren wird. Die Anlagekosten der geplanten Einrichtungen sind mit 3 Millionen DM,

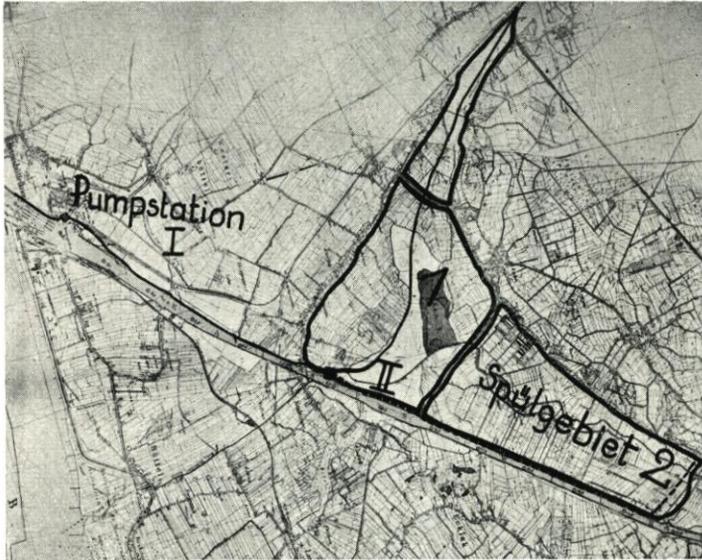


Abb. 4. Überschlickungsgebiete am Nord-Ostsee-Kanal

die jährlichen Betriebskosten mit 170 000 DM veranschlagt worden, wobei nur die Aufwendungen bis zum Ende der Spülrohrleitung berücksichtigt sind. Darüber hinaus sollen die Einrichtung der Spülfelder, die Entwässerungs- und Folgemaßnahmen von dem interessierten Sielverband getragen werden. Die Finanzierung dieses Projekts ist noch nicht gesichert, da die Beteiligung der einzelnen Interessentengruppen an dem Vorhaben noch eingehender Verhandlungen bedarf.

In der an Hamburg delegierten Stromstrecke der Elbe und in den hamburgischen Haf-

fenbecken werden jährlich rund 3 Millionen cbm Boden nach Schutenmaß gebaggert. In früheren Jahrzehnten bestand das Baggergut fast ausschließlich aus Sand, zum geringen Teil aus Ton und zum geringsten Teil aus Schlick, der hier natürlich anders zusammengesetzt ist als Seeschlick. Seitdem Neubaubaggerungen (erstmalige Sohlenvertiefungen) nicht mehr so häufig vorkommen, dagegen Unterhaltungsbaggerungen bei weitem überwiegen, ist der Sandanteil zurückgegangen, der Schlickanteil dagegen erheblich größer geworden. Schlick fällt hauptsächlich in den nicht durchströmten Hafenteilen an, er ist nicht einheitlich, je nach den Gewinnungsstellen verschieden zusammengesetzt und von den Abwässern stark beeinflusst.

Die Verwendung des Schlicks ergibt sich in Hamburg zwangsläufig. Die in der Elbniederung gelegenen Geländeflächen, die für Hafenerweiterungen und Industrieansiedlung benötigt werden, müssen mit dem gebaggerten Sand sturmflutfrei aufgehöhht werden. Weitere Spülfelder für Baggergut müssen im Landgebiet gesucht werden und sollen nach der Aufspülung intensiver landwirtschaftlich genutzt werden als vorher. Die Hafenerweiterungs- und Industrieflächen müssen mit Schlick schwach überspült werden, um die Oberfläche der Spülfelder gegen Sandverwehungen zu binden.

Für die Abdeckung der Spülflächen, die landwirtschaftlich genutzt werden sollen, wird der gewonnene Schlick, soweit er ausreichend rein und nicht stark mit Sand vermischt gebaggert wird, im allgemeinen im vollen Umfang verwendet. Die Schlickdecke wird nach grober Planierung der Spülfelder und Aufteilung in Beschlickungsflächen von je etwa 5000 qm

Größe, die durch Sanddämme eingefaßt werden, in 1 m Stärke aufgebracht, die im Laufe eines Jahres auf 0,5 m zusammenrocknet. Die überschlickten Spülfelder sind sehr fruchtbar.

Zur Aufhöhung der Flächen werden im Mittel 5 cbm Baggergut je m² gebraucht. Die Kosten betragen bis zu 15 DM/m² Spülfäche. Dieser Preis ist für Hafenerweiterungs- und Industriegelände erträglich, für landwirtschaftlich genutzte Flächen viel zu hoch. Vorläufig ist aber keine andere Lösung möglich, weil der Schlick zur Abdeckung aufgespülten Sandes restlos gebraucht wird. Zu untersuchen bleibt für die Zukunft die Frage, ob der gewonnene Sand zur Auflockerung zu schwerer Marschböden und der Schlick zur Überspülung anmooriger Niederungs- oder „kranker“ Geestböden zweckmäßiger und wirtschaftlich verwendet werden kann.

Der gegebene Überblick über die Versuche, die fehlgeschlagen sind, und über die Verfahren, die heute üblich sind, um den gebaggerten wertvollen Schlick nutzbringend zu verwerten, zeigt eindeutig den Fortschritt in den letzten Jahrzehnten. Er zeigt auch eindeutig, daß alle Versuche, Schlick zu trocknen und als Düngemittel zu verwenden, an ihrer Unwirtschaftlichkeit und zu hohen Transportkosten scheitern müssen. Nur der Weg, Schlick dorthin zu spülen, wo er zur Bodenverbesserung gebraucht wird, ist gangbar. In diesen Fällen sind die Erfolge einwandfrei erwiesen.

Die Kosten für das Baggern und Aufspülen von Schlick schwanken in gewissen Grenzen und sind abhängig von der Art und Größe des eingesetzten Baggergerätes, von der Stärke des Baggerschnittes, der Baggertiefe, der Konsistenz des Schlicks, der Länge des Schleppweges, der auch von den Tideströmungen beeinflusst wird, und von der Spülweite. Infolgedessen fallen auch die Kostenermittlungen der Ämter verschieden aus.

Der Preis für Baggern, Transport und Aufspülung von 1 cbm nassem Schlick (bei Baggerung durch Eimerkettenbagger und nicht durch Saugerbagger) liegt zur Zeit bei Hamburger Verhältnissen bei Schutenschleppwegen von wenigen Kilometern und mittlerer Spülweite von 1000 m bei 1,90 DM und steigt bei 12 km Schutenschleppweg bereits auf 2,40 DM. Hierin sind alle Nebenkosten, Geräteabschreibung und Gemeinkosten enthalten. Die Übernahme dieser Kosten wäre bei allen Maßnahmen der Schlickverwertung den Ämtern der Wasserbauverwaltung zuzumuten und müßte aus den Staatshaushalten gedeckt werden, da man sich auf den Standpunkt stellen sollte, daß das Verklappen des Schlicks nicht mehr zeitgemäß ist.

Damit ist die Grundlage für die Berechnung gegeben, welche weiteren, von den landwirtschaftlichen Interessenten zu tragenden Kosten entstehen dürfen, um eine geplante Maßnahme in wirtschaftlichen Grenzen zu halten. Daraus ergibt sich dann, in welchen Fällen ein Weitertransport mit Hilfe von Zwischenpumpwerken und Rohrleitungen noch möglich ist und welche verbesserungsbedürftigen Marsch- oder Geestflächen für die Überschlickung in Frage kommen.

Dieses Problem wird im folgenden Aufsatz behandelt.

Verwertung von Schlick in der Landwirtschaft¹⁾

Von Jens Iwersen †*)

Inhalt

1. Die Aufgabe	42
2. Vorkommen und Eigenschaften des Bagger-Schlicks im Bereich der deutschen Nordseehäfen	43
3. Die Melioration nährstoffarmer Geestböden durch Schlickzufuhr	46
a) Die geographische Lage der verbesserungsfähigen Geestböden	46
b) Die bisherigen Ansichten über die Wirkung der Schlickzufuhr auf Sandböden	49
c) Überschlickungsversuche auf der Geest bei Husum	54
4. Der Schlicktransport, seine Kosten und Finanzierung	56
5. Die absoluten und relativen Grenzen der Schlickverwertung	60
6. Folgerungen	64
7. Forderungen	65
8. Schriftenverzeichnis	66

1. Die Aufgabe

Genau genommen müßte das Thema „Das Problem der Schlickverwertung in der Landwirtschaft“ heißen. Es soll gezeigt werden, daß es in seinem Umfang ein Problem ist oder eine Summe von Teilproblemen, um deren praktische Lösung sich die Arbeitsgruppe Schlickverwertung im Küstenausschuß Nord- und Ostsee bemüht. Wir stecken immer noch in den Anfängen dieser Bemühungen.

Im vorangegangenen Aufsatz von Baudirektor Dr. KRESSNER sind bereits in großen Zügen die entscheidenden Fragen dargestellt, die sich vom wasserbaulichen Gesichtspunkt bei der Schlickbeseitigung beziehungsweise -verwertung ergeben, insbesondere ist auf Versuche und Verfahren hingewiesen, die bisher durchgeführt und zur Anwendung gekommen sind.

Im Folgenden beschränken wir uns auf die Erörterung des Problems vom landwirtschaftlichen Gesichtspunkt unter Herausstellung der folgenden drei wesentlichen Teilprobleme:

1. Die Schlickverwertung zum Zwecke der Ertragssicherung und Ertragssteigerung auf kranken oder doch verarmten, ertragsschwachen und -unsicheren landwirtschaftlichen Nutzböden.
2. Der Weg des Schlicks von der Anfallstelle bis zur Verwertung auf „kranken“ Geestböden.
3. Die Grenzen der Schlickverwertung in der Landwirtschaft, insbesondere auch im Vergleich mit anders gearteten landwirtschaftlichen Meliorationsmaßnahmen.

Aus den Erkenntnissen zu 1. bis 3. ergeben sich dann die Folgerungen und Forderungen aus den zur Zeit gegebenen maßgeblichen Umständen.

1) Anmerkung des Herausgebers: Das Manuskript des folgenden Aufsatzes hat der Verfasser, der am 1. Juli 1954 verstorbene Professor Dr. Jens Iwersen, unmittelbar vor seinem Tode fertiggestellt. So konnten einige darin enthaltene Unklarheiten nicht mehr mit ihm gemeinsam aufgeklärt werden. Dem unterzeichneten Leiter des Arbeitsausschusses sind jedoch die Gedankengänge von Herrn Professor Iwersen bekannt. Er glaubt, daß die von ihm verfaßten Fußnoten II bis V im Sinne von Professor Iwersen gehalten sind.

GAYE.

*) Vortrag, gehalten auf der 1. Arbeitstagung des Küstenausschusses am 23. 3. 1954 in Hannover.

2. Vorkommen und Eigenschaften des Bagger-Schlicks im Bereich der deutschen Nordseehäfen

Bei der landwirtschaftlichen Schlickverwertung interessieren zunächst der anfallende Schlick nach Menge, Zusammensetzung und Wert, sodann der „arme“ und „kranke“ Geestboden in seiner flächenmäßigen Ausdehnung und Lage zu den Schlickanfallstellen und darüber hinaus die in ihm wirksamen Minimumfaktoren.

Die Schlickanfall r ä u m e und die jährlich in der Deutschen Bucht anfallenden Schlickmengen, soweit sie jährlich durch Baggerung beseitigt beziehungsweise gewonnen werden müssen, sind in der nachstehenden Tabelle ersichtlich.

Tabelle 1
Der anfallende Baggerschlick in der Deutschen Bucht

Lfd. Nr.	Anfallraum	Anfallende Schlickmengen als	
		Naßschlick in cbm	stichfester Schlick in cbm
1	Emden — Außenhafen	1 200 000	400 000
2	Emden — Dockhafen	600 000	200 000
3	Leer	20 000	6 700
4	Norden	90 000	30 000
5	Bensersiel	90 000	30 000
6	Wilhelmshaven	100 000	33 300
7	Bremerhaven	2 500 000	800 000
8	Cuxhaven	400 000	133 000
9	Hamburg	400 000	133 000
10	Schulau	3 000	1 000
11	Glückstadt	40 000	13 000
12	Brunsbüttelkoog	4 000 000	1 330 000
13	Friedrichskoog	15 000	5 000
14	Tönning	15 000	5 000
15	Husum	60 000	20 000
insgesamt		9 533 000	3 140 000

Die Zusammensetzung des Schlicks ist naturgemäß örtlich verschieden. Sie wird bestimmt durch eine Summe verschiedenster Faktoren aus geologischer, hydrographischer, hydrologischer, biologischer, topographischer und meteorologischer Richtung. Um hierzu einen überschläglichen Einblick zu gewinnen, sei an folgenden drei Beispielen seine Zusammensetzung aufgezeigt.

Tabelle 2
Beispiel der Zusammensetzung des Schlicks bei Brunsbüttelkoog
(Stichprobe)

100 Teile der Bodentrockenmasse enthalten:

Verbrennliche Stoffe	11,96
Mineralstoffe (Asche)	88,04
— — —	
Stickstoff (N)	0,34
Kalk (CaO)	4,61
Kali (K ₂ O)	0,93
Phosphorsäure (P ₂ O ₅)	0,25
Reaktionszahl pH in Bariumchlorid	7,51
— — —	

Pflanzenschädliche Stoffe nicht festgestellt.

Tabelle 3

Beispiel der Zusammensetzung des Schlicks im Watt nördlich des Nordstrander Damms (Stichprobe in 10 cm Tiefe)

Gehalt an Wasser	84,86 %/o
Feste Bestandteile	15,14 %/o
In den festen Bestandteilen (15,14 = 100 %/o) sind:	
organische Substanz	18,49 %/o
mineralische Bestandteile	81,51 %/o
Das Körnungsverhältnis der mineralischen Substanz beträgt:	
< 0,02 mm ϕ = Ton	48,16 %/o
0,02—0,1 mm ϕ = Staub u. Mehlsand	47,09 %/o
0,1—0,2 mm ϕ = Feinsand	3,46 %/o
0,2—0,5 mm ϕ = Mittelsand	1,29 %/o
Im natürlichen Zustand enthält der Schlick:	
organische Substanz	2,8 %/o
M.. CO ₃ (Summe der austauschbaren Basen)	5 %/o
NaCl	22,7 %/oo
P ₂ O ₅ -Gehalt = Testzahl	2
K ₂ O-Gehalt in 100 g Boden =	> 40 mg
pH (H ₂ O)	7,72

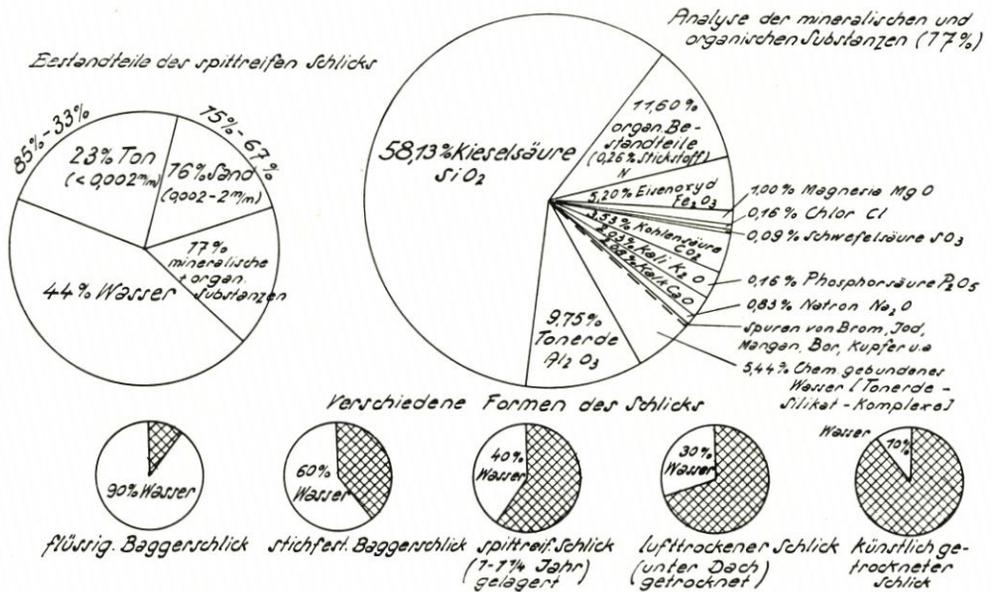


Abb. 1. Graphische Darstellung der verschiedenen Formen des Schlicks, der Bestandteile des spittreifen Schlicks und der spezifischen Aufteilung der mineralischen und organischen Substanzen (Wasserstraßenamt Emden)

Der unterschiedlichen Zusammensetzung entsprechend wird auch der Wert des Schlicks, zum Beispiel einer Einheit von 1 cbm Rauminhalt, mehr oder weniger stark schwanken.

Da der Schlick von Natur aus ein schlammiges, kalkhaltiges Gemenge von Ton, feinveteilten humosen Substanzen und feinkörnigen Schluffen und Sanden ist, liegt sein Wert zunächst in seinem Gehalt an wichtigen Pflanzennährstoffen, sodann aber auch besonders in den Ton-, Humus- und Tonhumuskomplexen, die er in sich einschließt.

Bei der Erfassung des aus seinem Nährstoffgehalt resultierenden Teilwertes kann es sich nur um ein optisches Bild, um einen überschläglichen Anhalt handeln, da die Löslichkeit der Nährstoffe beziehungsweise die Schnelligkeit ihrer Aktivierung im einzelnen nicht bekannt sind. In der Annahme, daß in 1 cbm spittreifem Schlick (mit 40 % Wassergehalt und einem Gewicht von 1250 kg) die Nährstoffmengen der nachstehenden Tabelle vorhanden sind, davon die Hälfte in befristeter Zeit pflanzenaufnehmbar ist und die im Frühjahr 1954 maßgeblichen Preise je kg Reinnährstoff frei Hof zum Ansatz kommen, ergibt sich nach

Tabelle 4

Art des Nährstoffes	Gehalt in kg		Wert in DM		Bemerkungen
	gesamt	von Pflanzen verwertbar	je kg	gesamt	
Stickstoff (N)	2,70	1,35	1,12	1,51	Kalkammonsalpeter
Phosphorsäure (P ₂ O ₅)	1,80	0,80	0,71	0,64	Thomasmehl
Kali (K ₂ O)	7,60	3,80	0,29	1,10	40%-Kalisalz
Kalk (CaCO ₃)	50,00	25,00	0,03	0,75	Kalkmergel

ein Nährstoffwert von 4 DM/cbm. Hierin ist der Wert der Spurenelemente und sonstiger chemischer Katalysatoren nicht enthalten.

Noch schwieriger ist aber der Teilwert zu erfassen, der sich aus den kolloidchemischen und bodenbildenden Wirkungen der Ton- und Humussubstanzen ergibt. Diese sind bekanntlich die eigentlichen Träger der Bodenfruchtbarkeit mit gleichzeitiger Gewähr für eine langsamfließende, nachhaltig wirksame Nährstoffquelle. In ihnen bewirken ausreichende Mengen unverwitterter noch voll gesunder, aktionsfähiger Sorptionskomplexe eine optimale Neuordnung sämtlicher dynamischer Vorgänge im Boden, das heißt der Art und Intensität der in diesem stattfindenden Stoff- und Energieumsetzungen, oder mit anderen Worten die Aktivierung eines gesunden chemisch-physikalisch-biologischen Geschehens im Boden bei gleichzeitiger Verbesserung seines Pufferungs-, also seines Abwehrvermögens gegen zunehmende Versäuerung. Die Quellungs- und Schrumpfungsfähigkeit der Ton- und Humusbestandteile wird entscheidend für eine günstigere Gestaltung des Wasserhaltevermögens und damit für die Ausschaltung des Minimumfaktors Wasser. Auch soll, nach Boas¹⁾ der hohe Gehalt des Schlicks an wirksamen Bakterien, die als Stickstoffsammler auftreten, nicht außer acht zu lassen sein.

Bei dem Versuch einer Bewertung dieser Ton-Humuskomponente des Schlicks als nachhaltig wirksamen Fruchtbarkeitsträger kommt man überschläglich zu einem mehrfachen Wert im Vergleich zum Teilwert der Nährstoffkomponente. Jedoch soll hier nur der gleiche Teilwert — also 4 DM/cbm — zum Ansatz kommen. So ergibt sich ein Gesamtwert von 8 DM/cbm²⁾ spittreifen Schlicks; das ist für die in den Schlickanfallstellen der Deutschen Bucht jährlich anfallende Menge von 3,14 Millionen cbm spittreifen Schlicks ein Jahreswert von rund 25 Millionen DM; wahrlich ein Objekt, das dazu zwingt, den Möglichkeiten einer volks- und betriebswirtschaftlich vertretbaren Verwertung dieser wertvollen Substanz bis zum letzten nachzugehen. Dabei muß Hauptaufgabe und Endziel sein, den Schlick als „Gesundungsstoff“ in erster Linie den armen und „kranken“ Geestböden unter Beachtung der Feststellungen von NIESCHLAG³⁾ in ausreichender und optimaler Menge zuzuführen.

¹⁾ „Vom Ödland zum Ackerland“, D. L. Presse, 73. Jg., Nr. 11.

²⁾ Bei 1250 kg/cbm = 12,5 dz/cbm = 0,64 DM ein Wertbetrag, der auch im Vergleich mit Stallmist bei 0,50 DM/dz ab Hof vertretbar erscheint.

³⁾ Nach NIESCHLAG (D. L. Presse, Jg. 73, Nr. 17) ist dabei allerdings zu bedenken, „daß die quellungs- und schrumpfungsfähigen Ton- und Humuskörper in gleicher Weise empfindlich gegen eine starke Austrocknung wie auch gegen hohe Säuregrade sind, und daß diese beiden Einwirkungen Veranlassung werden können, den Schlick verarmen zu lassen an wertbestimmenden Bestandteilen und auch die Quellungsseigenschaft der Tonhumussubstanz auf die Dauer zu vernichten“. Die Schrumpfung wird dann zur irreversiblen Eintrocknung.

3. Die Melioration nährstoffarmer Geestböden durch Schlickzufuhr

a) Die geographische Lage der verbesserungsfähigen Geestböden

Der „arme“ und „kranke“ Geestboden ist im engeren und weiteren Raum fast aller Schlickanfallstellen der Deutschen Bucht vorhanden. Sein Umfang und seine Eigenart mögen an dieser Stelle beispielhaft im Raum des Nord-Ostsee-Kanals in Schleswig-Holstein umrissen werden. Wie nachstehende Tabelle 5 aufzeigt, sind im Geestraum des Landesteils Schleswig — also nördlich des Kanals — insgesamt rund 107 000 ha verarmter und entarteter Geestflächen, einschließlich Heide sogar 113 000 ha schlickbedürftiger Flächen ermittelt⁴⁾. Läßt man die Flächen der Bodenwertgruppe mit 0—15 Ertragswertpunkten und die Heideflächen — die beide für Aufforstung in Frage kommen — mit rund 10 000 ha außer Ansatz, so bleibt eine schlickbedürftige Fläche von rund 103 000 ha der Bodenwertgruppe 16—30, also

Tabelle 5
Verarmte und kranke Geestflächen im Landesteil Schleswig

Gebiet	Verarmte und entartete Geestflächen ha	Bodenwertgruppe 0-15		Bodenwertgruppe 16-30		Bodenwertgruppe 0-30		Heide	Summe 1+5
		ohne Ortstein	mit Ortstein	ohne Ortstein	mit Ortstein	ohne Ortstein	mit Ortstein		
		ha	ha	ha	ha	ha	ha		
	1	2a	2b	3a	3b	(2a+3a) (2b+3b) 4a 4b		5	6
Kreis Südtondern	18 289	805	208	13 575	3 701	14 380	3 909	2 355	20 644
Kr. Husum (o. Halligen)	20 986	895	1 043	13 188	5 860	14 083	6 903	1 424	22 410
Kreis Eiderstedt	238	24	—	214	—	238	—	107	345
Landkreis Flensburg	31 293	792	409	22 397	7 695	23 189	8 104	422	31 715
Stadtkreis Flensburg	1 258	11	41	849	357	860	398	2	1 260
Kreis Schleswig	20 910	672	221	17 949	2 068	18 621	2 289	1 187	22 097
Kreis Eckernförde	6 147	338	54	5 036	719	5 374	773	281	6 428
Teilkreis Rendsb. (Nord)	7 907	698	252	5 688	1 269	6 386	1 521	381	8 288
Gesamt	107 028	4 235	2 228	78 896	21 669	83 131	23 897	6 159	113 187

der ausgesprochenen Brennerböden, allein nördlich des Kanals. Da vor und bei Brunsbüttelkoog jährlich 1 300 000 cbm spittreife Schlicks anfallen, ergibt sich zunächst theoretisch die Möglichkeit, bei 10 cm gleich 1000 cbm/ha Schlickauftrag jährlich rund 1300 ha Geestfläche boden- und ertragsmäßig zu sanieren, aus den Unsicherheiten unterhalb der Brennergrenze herauszuheben und „zuckerrübenfähig“ zu gestalten. Gleichzeitig würde die Wasserstraßenverwaltung für rund achtzig Jahre des Kopfzerbrechens über die Beseitigung des verkehrshindernden Schlickanfalls bei den Brunsbütteler Schleusen entoben sein.

Einer wirklichkeitsnäheren Betrachtung dient aber die Tabelle 6.

Diese erfaßt in den unmittelbar kanalbenachbarten Geestgemarkungen auf der Kanalstrecke Burg bis Rendsburg rund 20 000 ha schlickbedürftiger Geestfläche, die der Kanalverwaltung bei ebenfalls 1000 cbm/ha Aufschlickung die Möglichkeit fruchtbringender Schlickbeseitigung für rund sechzehn Jahre bietet.

⁴⁾ In Auswertung der Ergebnisse der Reichsbodenschätzung.

Tabelle 6

Übersicht der schlickbedürftigen Flächen in den Geestgemarkungen beiderseits des Kanals von Burg bis Rendsburg

Landwirtschaftliche Nutzfläche =		37 247 ha
davon:		
gesunde Böden	18 659 ha	
verarmte und kranke Böden	18 588 ha (= rund 50 %)	
Von den verarmten und kranken Böden entfallen auf:		
Marsch	28 ha	
Brennergeest	16 890 ha (davon mit Ortstein	2 180 ha)
minderwertige Moorflächen	1 670 ha (davon mit Ortstein	74 ha)
	<hr/>	<hr/>
	18 588 ha (davon mit Ortstein	2 254 ha)
Zu den verarmten und erkrankten Flächen mit kommen hinzu:		18 588 ha
	Heide	402 ha
	unkultivierte Moorflächen	1 586 ha
	Rethflächen	88 ha
	<hr/>	<hr/>
	schlickbedürftige Gesamtfläche	20 664 ha
	<hr/>	<hr/>

Und in einem noch engeren realen Rahmen kommen die Tabellen 7 und 8 den gegebenen Notwendigkeiten und Möglichkeiten näher:

Tabelle 7

Übersicht der schlickbedürftigen Flächen in den Geestgemarkungen beiderseits des Kanals von Burg bis Rendsburg innerhalb der 2-km-Zone (Schätzung)

Landwirtschaftliche Nutzfläche		19 500 ha
davon:		
gesunde Böden	10 000 ha	
verarmte und kranke Böden	9 500 ha (= rund 50 %)	
Von den verarmten und kranken Böden entfallen auf:		
Marsch	— ha	
Brennergeest	8 500 ha (davon mit Ortstein	1 000 ha)
minderwertige Moorflächen	1 000 ha (davon mit Ortstein	— ha)
	<hr/>	<hr/>
	9 500 ha (davon mit Ortstein	1 000 ha)
Zu den verarmten und erkrankten Flächen mit kommen hinzu:		9 500 ha
	Heide	150 ha
	unkultivierte Moorflächen	600 ha
	Rethflächen	50 ha
	<hr/>	<hr/>
	schlickbedürftige Gesamtfläche	10 300 ha
	<hr/>	<hr/>

Die 10 300 ha schlickbedürftiger Gesamtfläche im Bereich der beiderseitigen 2-km-Zone des Kanals bedeuten die Möglichkeit der Kanalschlickverwertung auf rund acht Jahre.

Bei einer Verkürzung der Entfernung des Subjektes von der Schlickanfallstelle auf 30 km geht die schlickbedürftige Geestfläche, wie Tabelle 8

Tabelle 8

Übersicht der schlickbedürftigen Flächen in den Geestgemarkungen beiderseits des Kanals von Burg bis Bornholt (innerhalb 30 km Entfernung von Brunsbüttelkoog)

Landwirtschaftliche Nutzfläche		9 561 ha
davon:		
gesunde Böden	5 579 ha	
verarmte und kranke Böden	3 982 ha (= rund 40 %)	
Von den verarmten und kranken Böden entfallen auf:		
Marsch	— ha	
Geest	3 672 ha (davon mit Ortstein	643 ha)
minderwertige Moorflächen	310 ha (davon mit Ortstein	2 ha)
	<u>3 982 ha (davon mit Ortstein</u>	<u>645 ha)</u>
Zu den verarmten und erkrankten Flächen mit kommen hinzu:		3 982 ha
	Heide	4 ha
	unkultivierte Moorflächen	— ha
	Rethflächen	— ha
	<u>schlickbedürftige Gesamtfläche</u>	<u>3 986 ha</u>

zeigt, auf insgesamt rund 4000 ha zurück, bietet von Brunsbüttelkoog aus also nur eine Verwertungsmöglichkeit für rund drei Jahre. Immerhin könnten in diesem Raum in einer beschränkten Frist Problematik und Verfahren des Gesamtobjektes in vollem Umfang praktisch überprüft und die Grenzen des Vertretbaren ermittelt werden.

Ergänzend möge kurz im kleineren Rahmen auch noch das Beispiel Husum aufgezeigt werden: Hier fallen jährlich (Tab. 1) etwa 20 000 cbm spittreifen Schlicks an. Die leichte, unter Bodenverwehungen leidende Geest beginnt in nur 3 km Entfernung vom Hafen und dehnt sich nach Norden und Osten aus. Bei 1000 cbm/ha könnten jährlich 20 ha in gesunde und ertragreichere Böden umgewandelt werden; eine in relativ günstiger Entfernung liegende 1000 ha umfassende schlickbedürftige Gesamtfläche könnte den Schlickanfall des Husumer Hafens auf fünfzig Jahre bestens verwerten.

Im weiteren Bereich der Deutschen Bucht ist die Entfernung der Geest von der jeweiligen Schlickanfallstelle örtlich ebenso verschieden wie jeweils der Umfang und die Höhenlage der schlickbedürftigen Geestflächen. Die nachstehende Abbildung 2 vermittelt eine Übersicht über die wichtigsten Schlickanfallstellen und überschläglich auch von deren Entfernung zu den benachbarten Geesträndern. Es wird notwendig und zweckmäßig sein, wie etwa im aufgezeigten Beispiel des Nord-Ostsee-Kanals, die einzelnen räumlichen Bereiche (Objekt und Subjekt) genauer zu erfassen und die Lage unter Beachtung der spezifischen örtlich-räumlichen Gegebenheiten in bezug auf eine bessere Schlickverwertung genauer zu prüfen.

Dabei ist grundlegend immer wieder zu bedenken, daß alle leichteren, also schlickbedürftigen Geestböden in dem gegebenen Zustand folgende Minimumfaktoren umfassen: ein verarmtes und entartetes Bodenprofil, die Vorherrschaft der Sandkomponente in der kulturtragenden Oberschicht, einen relativ sehr geringen Gehalt an Ton-, Humus- und Tonhumussubstanzen, dadurch Mangel an Sorptionskomplexen und Spurenelementen, strukturbauenden und -erhaltenden Quellungs- und Schrumpfungskörpern, geringeres Wasserspeicherungs- und -haltevermögen, unzulänglichen Nährstoffgehalt und geringe Absorptionskraft, fehlender Widerstand gegen Versäuerung und Bodenverwehungen, ungesundes chemisch-physikalisch-biologisches Geschehen und dadurch langsame und falsche Stoff- und Energieumsetzungen; durch alle diese ungünstigen Umstände zusammen unsichere Mittel- oder — nur zu oft — volle Fehlernten.



Zeichenerklärung:

- = Geestgebiete
- = über 100 000 cbm Schlickanfall jährlich
- = unter 100 000 cbm Schlickanfall jährlich
- Km** ← = Entfernung des Geestrandes von Schlickanfallstelle

Abb. 2. Die Lage und Entfernung ertragsarmer Geestgebiete und die Schlickanfallstellen an der deutschen Nordseeküste

b) Die bisherigen Ansichten über die Wirkung der Schlickzufuhr auf Sandböden

Wenn nun unter Beachtung der spezifischen Beziehungen hinsichtlich Schlick und Geestboden dem zur Erörterung stehenden Gesamtproblem nähergetreten wird, so zeichnen sich aus der Summe vieler zwei entscheidende Teilprobleme ab, von deren Klärung die Lösung des örtlichen Gesamtproblems abhängt:

1. die nachhaltige landwirtschaftliche Ertragswirkung vom privat- und volkswirtschaftlichen Blickpunkt und
2. die Verfahren zur Überwindung größerer Transportentfernungen (von der Anfall- bis zur Verwertungsstelle des Schlicks), ihre Kosten und ihre Finanzierung.

Die Wirkung der Schlickzufuhr auf Pflanzenwuchs und -ertrag der leichten Geestböden ist seit Anfang der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts immer wieder Gegenstand ein-

gehender Untersuchungen gewesen. Aus der in einer umfangreichen Literatur vorliegenden Fülle von Ergebnissen seien stichprobenweise folgende herausgegriffen:

Geheimrat FLEISCHER, der Pionier der landwirtschaftlichen Schlickverwertung im Raume Ostfriesland, erntete unter anderem 1882 auf schwach-lehmigem Sandboden bei 112 500 kg/ha (= rund 90 cbm/ha = 0,9 cm) Schlickauftrag⁵⁾ zuzüglich 80 kg K₂O + 60 kg P₂O₅ an Erbsen

	ohne Schlick kg	bei 90 cbm/ha Schlick kg	mehr dz	mehrfach
Körner	548	3789	3241	rund 7
Stroh	775	3219	2444	rund 4

und 1883 auf dem gleichen Feld bei gleicher zusätzlicher Zufuhr an K₂O und P₂O₅ an Winterroggen (nach Erbsen)

	ohne Schlick kg	bei 90 cbm/ha Schlick kg	mehr kg	mehrfach
Korn	1426	3328	1902	rund 2 ^{1/2}
Stroh	2732	5425	2688	rund 2

und 1884 an Kohlrüben (Steckrüben) auf dem gleichen Feld mit einer gleichmäßigen Grunddüngung von 825 dz/ha Gemisch von Rindvieh-, Pferde- und Schweinedüngung

	ohne Schlick kg	bei 90 cbm/ha Schlick kg	mehr kg	mehrfach
Rüben	362,25	585,25	223	rund 1,6

und 1885 an Sommerweizen auf dem gleichen Feld mit 150 kg/ha Kali und 125 kg/ha Phosphorsäurezufuhr

	ohne Schlick kg	bei 90 cbm/ha Schlick kg	mehr kg	mehrfach
Körner	275	1541	1266	rund 5,6
Stroh	1900	3161	1261	rund 1,7

Bei der Rentabilitätsberechnung dieses mehrjährigen Versuchs kam FLEISCHER zu folgenden Ergebnissen:

I. Kosten für Anschaffung und Transport von 112 500 kg = rund 90 cbm Schlick

mit Eisenbahn⁶⁾ 41 km von Bremerhaven =

126,90 Mark

Abladen, Transport nach dem Felde und Verteilen des Schlicks etwa

90,00 Mark

einmalige Gesamtaufwendung =

216,90 Mark

= 2,41 Mark/cbm

II. Dagegen stellt sich der Wert⁷⁾ der Mehrerträge wie folgt

1882 (Erbsen) 616 Mark

1883 (Roggen) 385 Mark

in vier Jahren = 1675 Mark

1884 (Kohlrüben) 446 Mark

1885 (Weizen) 228 Mark

III. Der Gewinn ist in diesen vier Jahren = 1458,10 Mark = rund 7,7facher Aufwand.

⁵⁾ Seeschlick aus 41 km Entfernung (Bremerhaven) mit 50% Feuchtigkeit und 50% festen Stoffen.

⁶⁾ 1883 betragen die Frachtkosten für 1 Waggon Schlick auf weite Strecken 10 Mark.

⁷⁾ Dabei hat FLEISCHER allerdings die mittelbare Ertragswirkung und den Wert des in den Versuchsjahren neben dem Schlick zugeführten Natur- und Handelsdüngers nicht in Rechnung gestellt.

Zu der Frage, wie lange die Wirkung des Schlicks dauert, bemerkt FLEISCHER: „Auf Sandboden und besandetem Moorboden konnte ein Nachlassen der Schlickwirkung während der Dauer der Versuche (4 bis längstens 8 Jahre) nicht bemerkt werden“ und zu der Frage „Wie groß sind die zweckmäßig aufzubringenden Schlickmengen?“: „Die Verwendung von 100 000 kg Schlick (= 80 cbm/ha = 0,8 cm) hatte unter allen Umständen eine sehr günstige Wirkung; ob man das Quantum steigern soll, hängt in erster Linie von den anzubauenden Früchten und von der Entfernung der Meliorationsfläche von dem Schlickgewinnungsort ab. Bei Ackerfrüchten und bei großer Nähe der Schlickquelle wird man ohne Gefahr für die Rentabilität des Unternehmens eine doppelt so große Schlickmenge — also 200 000 kg pro Hektar (= 160 cbm/ha = 1,6 cm) — verwenden können, für die Erzielung von Futterkräutern und bei größerer Entfernung der zu meliorierenden Ländereien vom Gewinnungsort aber wahrscheinlich besser tun, es bei 100 000 kg Schlick bewenden zu lassen und nach einer Reihe von Jahren die Melioration zu erneuern.“

Zu der bemerkenswerten Frage: „Zu welchen Früchten ist auf geschlickten Ländereien der höchste Reinertrag zu erwarten?“ bemerkt er: „Die Schlickmelioration macht sich auf Ackerflächen besser bezahlt als auf Wiesen, obwohl auch letztere in allen Fällen die Anwendung von Schlick lohnten, wo die Entfernung vom Schlickgewinnungsort nicht allzu groß ist. Unter den Ackerfrüchten sind es besonders die Leguminosen, welche gegen die Melioration sich dankbar erweisen. Auch die Beschlickung von nicht zu trocken belegenen Ödländereien (Moor- und Sandheiden) behufs Anbau von Klee und Gräsern erwies sich als höchst rentabel (rentabler als die Verwendung des Schlicks auf bestehenden Wiesen). Eine Beschlickung des Ackers bringt im Durchschnitt den dreifachen Gewinn gegenüber einer gleichartigen Wiese.“

Schließlich gibt er zu der Frage „Welche Bodenarten erweisen sich als besonders geeignet für die Verwendung von Schlick?“ folgendes sehr beachtliche Urteil ab: „Die für die Versuche benutzten Flächen gehörten ausnahmslos den leichteren Bodenarten an. Unter diesen wurden die besten Erfolge auf anheimem Sandboden in mittelfeuchter Lage erzielt. Aber auch Heidesandboden, soweit er nicht zu trocken lag, erwies sich dankbar gegen die Melioration; er erlangte dadurch die Fähigkeit, sehr annehmbare Erträge an Klee-Gras, Roggen und Kohlrüben zu bringen. In sehr trockener Lage lohnte Heidesandboden die Überschlickung nicht. — Auf abgetorfem, nach niederländischer Methode an der Oberfläche mit viel Sand vermischem Hochmoor zeigte sich noch im achten Jahre nach Ausführung der Melioration eine starke Wirkung.“

Nach meiner Kenntnis der Schlickwirkung ist es ebenso erstaunlich wie rätselhaft, daß mit so relativ kleinen Schlickgaben auf den bezeichneten leichten Böden Ertrags- und Rentabilitätswirkungen in der aufgezeigten Höhe und Nachhaltigkeit erzielt werden konnten.

Auch der im ostfriesischen Raum langjährig tätige Oberlandwirtschaftsrat ZEEB, Weener, äußert sich in seinen fünfzehnjährigen praktischen Erfahrungen (1908) über die Schlickwirkung auf leichten Sandböden (sogar 11. Klasse!) äußerst positiv, wenn er unter anderem berichtet:

„Auf Ödland (Sandheide) leistet Schlick ausgezeichnete unersetzliche Dienste. Normale⁸⁾ Schlickgaben wandeln Sanddünen — sterilen Sand — zu Wiesen und Weiden, die in der Umgebung ihresgleichen suchen. Besitzer mit früher 1 Kuh haben jetzt 4—5 Kühe und mehrere Rinder.“ — „In Ostfriesland ist einwandfrei noch nach Jahrzehnten eine Schlickwirkung vorhanden.“

Er führt die Wirkung des Schlicks hauptsächlich auf seine wasserhaltende Kraft zurück, weil dadurch ein besseres Durchhalten in Dürreperioden und damit ein Überwinden der Fehljahre bedingt wird.

„Grünlandflächen, bisher *Brenner*, bleiben nach einer Beschlickung saftig und grün; die Tiere weiden auch vorzugsweise auf den beschlickten Flächen.“

Geheimrat TACKE⁹⁾ (6) äußert sich auf Grund seiner Erfahrungen zur Wirkung des Seeschlicks in folgendem Sinne:

„Zahlreiche vergleichende Versuche hat schon vor langen Jahren die Moor-Versuchs-Station in Bremen über die Wirtschaftlichkeit der Schlickanwendungen ausgeführt. Es kamen je ha rund 80 cbm spittreifer Schlick zur Anwendung; die Kosten für 1 cbm betragen RM 1,60. Der Gesamtgewinn durch die Beschlickung im Vergleich zu den nichtbeschlickten im übrigen ausreichend gedüngten Flächen betrug bei fünfjähriger Dauer der Versuche nach Abzug der Beschlickungskosten bei Wiesen auf Hochmoor, Niedermoor und lehmigem Sandboden RM 142,— je ha, bei Ackerland auf schwach lehmigem

⁸⁾ Leider ist der Begriff „normal“ nicht durch Zahlen belegt.

⁹⁾ Früher — ebenso wie FLEISCHER — Direktor der Marsch- und Moorversuchsstation Bremen.

Sandboden RM 912,—. Unter Berücksichtigung der ungünstigen Ergebnisse betrug der Gesamtgewinn je Hektar:

bei Wiesen RM 114,—
bei Ackerland RM 351,—.

1 cbm Schlick brachte somit im Laufe der Beobachtungszeit ungünstigstenfalls einen Gewinn:

bei Wiesen von $\frac{114}{80} =$ rund RM 1,50,
bei Ackerland von $\frac{351}{80} =$ rund RM 4,40.

Die Nachwirkung des Schlicks ist auf den einzelnen Bodenarten verschieden, in günstigen Fällen konnte sie acht Jahre deutlich beobachtet werden, in anderen Fällen war sie von geringerer Dauer.“ — „Was die anzuwendende Menge angeht, so sind als geringste etwa 20 000 kg lufttrockenen Schlicks, etwa 16 cbm je Hektar entsprechend, anzusehen, unter günstigen Umständen kann jedoch die Menge auf 100 cbm (1 cm Auftrag) und mehr je Hektar mit Vorteil gesteigert werden.“ — „Namhafte landwirtschaftliche Praktiker schätzten den Wert des Schlicks auf dem Felde je Waggon von rund 8 cbm auf RM 20,— (= 2,50 RM/cbm), wobei für Fuhr- und Tagelohn bei 4 km Entfernung von der Bahn RM 9,— angesetzt sind, so daß der Wert auf der Bahnstation je cbm auf 11 : 8 = rd. RM 1,40 anzusetzen ist. Nach holländischen Berechnungen soll sich der Wert von 1 cbm Schlick frei Station auf RM 1,29 je Kubikmeter stellen.“ — „Die Kosten für den Transport — beanspruchen bei größerer Entfernung und schlechten Wegen eine gewaltige Bedeutung. Es legt den Gedanken nahe, daß sich etwa Gemeinden für die Abfuhr des Schlicks von der Bahn oder dem Schiff genossenschaftlich zusammenschließen und durch Anschaffung oder Anleihen von Feldbahnen — den Abtransport erleichtern und verbilligen.“ Im übrigen sieht TACKE die Schlickwirkung hauptsächlich in der Erhöhung des Wasserhaltungsvermögens des beschlickten Bodens durch den Tongehalt des Schlicks; ebenso auch in der Erhöhung des Absorptionsvermögens für Pflanzennährstoffe durch den erhöhten Wasser- und Humusgehalt. „Der Seeschlick entfaltet aber erst dann seine volle Wirkung, wenn daneben noch ausreichende Mengen künstlicher Düngemittel gegeben werden.“

Auch hier ist erstaunlich, mit welchen geringen Schlickmengen TACKE — auch im Maximum — rechnet und welche Gewinne diese geringen Mengen — besonders auf dem Acker — je Fläche und Schlickeinheit bewirkt haben.

Prof. BRÜNE¹⁰⁾ befaßt sich ebenfalls mit dem Schlickproblem [BRÜNE (1)] und kommt auf Grund seiner Untersuchungen, Versuche und Überlegungen zu ähnlichen Ergebnissen:

„Der spittreife Schlick (mit 50 % Wassergehalt) wiegt im Durchschnitt 1250 kg je cbm. Auf einen Eisenbahnwagen mit 20 t Ladefähigkeit gehen also 16 cbm. Davon ist die eine Hälfte Wasser und von der anderen bestehen zwei Drittel neben nicht unerheblichen Mengen (5,0—6,5 %) organischer Stoffe, zum Teil abgestorbener pflanzlicher und tierischer Organismen, überwiegend aus feinstem Sand und Ton sowie aus kohlenurem Kalk in feinsten Verteilung.“ — „Am dankbarsten für die Schlickmelioration sind alle leichten Acker- und Wiesenböden, also nicht abgetorfte oder abgetorfte Hochmoor, gleichviel ob letzteres besandet ist oder nicht, sowie schwachlehmige und anmoorige Sandböden. Wichtig ist dabei neben einer zweckmäßigen Regelung der Feuchtigkeitsverhältnisse eine sorgfältige Vermischung des Schlicks mit der Oberflächenschicht des Bodens.“ — „Um eine befriedigende Wirkung zu erzielen, sind auf 1 ha mindestens 200 dz (= 16 cbm) lufttrockener oder entsprechend mehr feuchter Schlick aufzubringen. Bei verkehrsgünstiger Lage des zu beschlickenden Landes und niedrigen Schlickpreisen (1,50 RM je cbm) kann die aufzubringende Schlickmenge aber beträchtlich gesteigert werden (bis 100 cbm je ha und mehr), ohne die Wirtschaftlichkeit der Melioration zu gefährden.“ — „Auch bei Grünländereien erzielt eine Beschlickung nach den seitens der Moor-Versuchsstation in Marcardsmoor gemachten Erfahrungen dann ihre beste Wirkung, wenn die Flächen umgebrochen und hinterher eine sorgfältige Beimischung des Schlicks zur Kulturschicht erfolgen kann.“ — „Die Frage, ob die beschlickten Flächen einer Beidüngung bedürfen, ist mit besonderer Sorgfalt geprüft worden. Es hat sich dabei gezeigt, daß der Schlick nur dann seine volle Wirkung ausübt, wenn die Flächen regelmäßig gedüngt werden. — Besonders bewährt hat sich die Anwendung mineralischer Düngemittel. Daneben ist jedoch die zeitweilige Zufuhr tierischen Düngers auf Ackerland, namentlich zu Hackfrüchten, anzuraten.“ — „Der Nutzen der Schlickdüngung ist an sich wohl niemals in Zweifel gezogen worden. Es hat sich aber stets um die Frage gehandelt, und das ist auch heute noch der Fall, ob die Kosten der Schlickbeschaffung im richtigen Verhältnis zu den erzielten Ertragssteigerungen stehen. Auf einwandfreie Versuche sich

¹⁰⁾ Ehemals Direktor der Moorversuchsstation Bremen.

stützende zahlenmäßige Ermittlungen liegen im Schrifttum nur vereinzelt vor. Die sicherste Unterlage bieten ohne Zweifel die bereits erwähnten Versuche, die FLEISCHER im ersten Jahrzehnt des Bestehens der Bremer Moor-Versuchsstation durchgeführt hat“ (siehe Seite 50). — „Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Schlickanwendung spielt ohne Frage die Dauer der Nachwirkung eine entscheidende Rolle. In günstigen Fällen konnte eine Nachwirkung bis zu 8 Jahren deutlich beobachtet werden. Praktische Landwirte schätzen sie z. T. noch erheblich höher. In jedem Falle wird die Dauer von der angewendeten Schlickmenge abhängig sein. Festzuhalten ist dabei, daß die Nutzwirkung des Seeschlicks weniger von chemischer als physikalischer Natur ist. Ohne Zweifel ist es nicht sowohl ein Düngemittel als vielmehr ein Bodenverbesserungsmittel.“ Auch BRÜNE betrachtet also wie seine Vorgänger das Schlickproblem bisher nur unter Anwendung verhältnismäßig kleiner Mengen.

Zu einer anderen Auffassung des Problems kommt NIESCHLAG (4, 5). Er sieht den Wert des Schlicks in erster Linie in den bedeutenden Sorptions-(Binde-)kräften, die in ihm enthalten sind und die nach Vermischung des Schlicks mit dem Subjekt diesem eine größere Bindekraft für Wasser, Nährstoffe, Spurenelemente und Wirkstoffe verleihen. Auch wird, bedingt durch die besonders hervorragende Schrumpf- und Quellfähigkeit des Schlicks, das Bodengefüge verbessert. Dabei ist aber die schon weiter oben erwähnte Empfindlichkeit der Ton- und Humuskörper gegen starke Austrocknung und hohe Säuregrade zu beachten, „die unvermeidlich zu ungünstigen Folgen führt, wenn, wie üblich, nur 1 oder 2 cm (100 oder 200 cbm/ha) Schlick auf oder in den meist trockenen zu meliorierenden Ödlandböden gebracht werden. Anders liegen die Dinge, wenn der Schlick in einen alten, wenn auch geringwertigen Boden gebracht wird.“ — „Wenn man die zahlreichen Schlickmeliorationen der letzten 100 Jahre überprüft, kommt man zu dem gleichen Ergebnis, wie eigene Versuche es auch gezeigt haben, daß die Wirkung der Überschlickung sehr stark von dem Umfang und von der überschlickten Bodenart abhängig ist. Gering ist im allgemeinen die Wirkung auf Böden, die in ihrer Zusammensetzung besonders stark vom Schlick abweichen, wie z. B. auf podsoligen Heidesand- und Moorböden Nordwestdeutschlands, sofern man nicht sehr bedeutende Schlickmengen anwendet.“ (Vgl. Gegensatz zu FLEISCHER usw.) „Die Schlickwirkung ist aber auf viele Jahrzehnte vorzüglich, wenn die Schlickauflage so groß ist, daß der überschlickte Boden hinsichtlich der Wasserführung eigengesetzlich wird; aber das ist im allgemeinen nur bei mindestens 30 cm (3000 cbm/ha) Schlickauflage erreicht.“ — „In Ödlandböden entspricht die Schlickwirkung in etwa der Tonmenge, die durch den Schlick zugeführt wird. 100 cbm Schlick = 110 t je ha bedeuten eine Überschlickungshöhe von 1 cm. Bei einer Krumentiefe von 20 cm und einer Anwendung von 200 cbm sind das 10 % Schlick, die in die Krume eingebracht werden. Da ein qualitätsreicher Nordseeschlick meist 40 % Ton enthält, wird der Tongehalt des Bodens durch eine derartige Überschlickung um etwa 4 % erhöht. — In der Reichsbodenschätzung wird ein Boden, der 40 % Ton enthält, bei guter Struktur mit etwa 100 Punkten bewertet. Ein reiner Schlickboden mit mindestens 1 m Auflage gibt demnach einen Hunderterboden. Die neu kultivierten Heidesande und -moore sind durchschnittlich mit etwa 20 Punkten zu bewerten. Der Boden eines Heidesandes kann demnach durch 10 % um etwa 8 Punkte verbessert werden.“ Hiernach kann durch 200 cbm/ha (= 2 cm) Schlickauflage ein zwanziger, d. h. ausgesprochener Brennerboden, auf einen achtundzwanziger, d. h. bis nahe an die Brennergrenze herangebracht werden oder 1 cm Schlickbeimengung bewirkt eine Steigerung des Bodenwertes um vier Ertragswertpunkte.

„Eigene Versuche und Beobachtungen in der Praxis haben gezeigt, daß der Schlick heute nicht mehr so sehr auf das Ödland gehört —, sondern in die intensivste Landwirtschaft, in den Feldgemüsebau und besser noch in den Gartenbau.“ „Zusammenfassend möchte ich zum Schlickproblem meine Meinung dahin zum Ausdruck bringen, daß die Verwendung des Schlicks für die Ödlandkultivierung heute auf Grund der veränderten Verhältnisse als überholt angesehen werden muß, daß der Schlick aber, und besonders der kalk- und humusreiche Nordseeschlick, ein ganz ausgezeichnetes Bodenverbesserungsmittel in Intensivbetrieben darstellt.“

Soweit NIESCHLAG. Hierzu möchte ich kurz vorweg bemerken, daß auf Grund meiner Versuche und Beobachtungen der Schlick in erster Linie für alle in landwirtschaftlicher Nutzung befindlichen leichten Geestböden mit verarmten und kranken Profilen in Frage kommt, die in den Bodenwertgruppen von 16—30 EWP¹¹⁾, also in der ausgesprochenen Brennerzone liegen, um diese Böden über die Brennergrenze, das heißt über 30 EWP hinweg- und damit aus den Ertragsunsicherheiten herauszubringen. Die Ödländereien sowie alle bisherigen landwirtschaftlichen Nutzböden unter 15 EWP sind — ohne Schlickzufuhr — aufzuforsten; Intensiv-

¹¹⁾ EWP = Ertragswertpunkte der Reichsbodenschätzung.

betriebe, insbesondere der Gartenbau, können den Schlick bei der Kompost-, Pflanz- und Vertopfungserdbebereitung ohne Zweifel bestens verwerten und sollen jede im engeren Raum gegebene Möglichkeit zu seiner Verwendung nutzen.

c) Überschlückungsversuche auf der Geest bei Husum

Der Verfasser ist dem Schlickproblem in einem größeren vierjährigen Tastversuch auf einem leichten Sandboden an der Westküste Schleswig-Holsteins nachgegangen. Die Forschungsfrage war: Wie wirkt Seeschlick in Stärken von 2,5 cm (250 cbm/ha) und 5 cm (500 cbm/ha) mit ausgesprochenem Sandboden gemischt auf Entwicklung und Ertrag bestimmter Nutzpflanzen? Das Körnungsverhältnis des Schlicks auf der einen Seite und des Sandbodens auf der anderen sowie ihre schwächere und stärkere Mischung in einer 15 cm tiefen Pflugfurche sind in nachstehender Abbildung dargestellt.

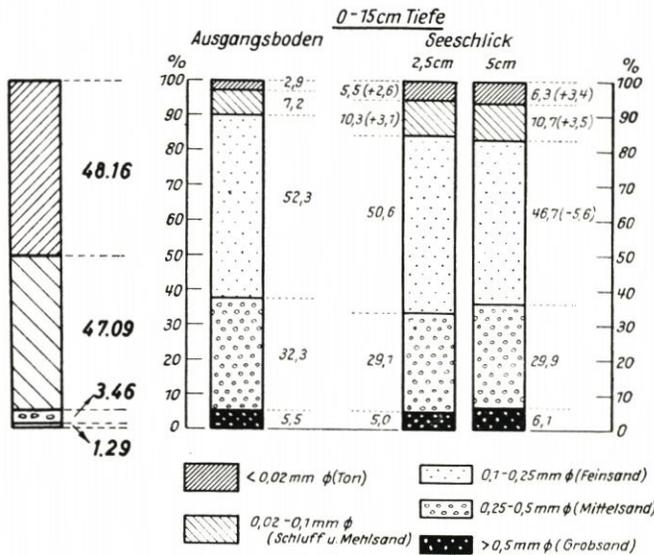


Abb. 3. Der Aufbau der Böden vor und nach der Verbesserung durch Seeschlick (links der Korngrößenbau des Schlicks) Durchmischung bis zu einer Tiefe von 15 cm

Danach steigt der Tongehalt des Ausgangsbodens in seiner Oberschicht von 2,9 % um 2,6 auf 5,5 % bei 2,5 cm und von 2,9 um 3,4 auf 6,3 % bei 5 cm Schlickzugabe. Aber auch andere wichtige Bodenfaktoren gestalten sich günstiger: So erhöht sich der Gehalt an organischer Substanz im Durchschnitt um 0,3 %; die Summe der austauschbaren Basen bei 2,5 cm Schlickzufuhr um 0,5 und bei 5 cm um 1,2 %; die Wasserkapazität im Durchschnitt um 2 bzw. 5 %; pH/KCl um 1,83 bzw. 2,05, pH/ H₂O um 2,30 bzw. 2,66 und der K₂O-Gehalt in 100 g Boden um 5 bzw. 11 mg.

Die Reaktion der angebauten Kulturpflanzen mag zunächst in einigen Wuchsbildern aufgezeigt werden.

Die Bilder (Abb. 4 bis 8) sprechen für sich; die Ertragswirkung ist ebenfalls beachtlich, wie die Abbildungen 9 bis 12 erkennen lassen.

So unverkennbar und eindeutig die positive Ertragswirkung und auch die Überlegenheit der größeren Schlickgabe festgestellt werden kann, so offensichtlich ist auch die Folgerung, daß bei den vorliegenden Bodenverhältnissen die optimale Schlickgabe mit 5 cm (500 cbm/ha) noch nicht erreicht ist. Die Dauer (Nachhaltigkeit) der Schlickwirkung konnte infolge des Krieges nicht weiter verfolgt werden.

Die absoluten Mehrerträge beliefen sich im Durchschnitt der vier Versuchsjahre bei Sommerhalmfrüchten auf 6,8, bei Winterhalmfrüchten auf 6,25, bei Kartoffeln auf 58,5 und bei Steckrüben auf 53,5 dz/ha. Auf einen Nenner gebracht, ergibt das — vorsichtig gerechnet — bei 5 cm (= 500 cbm/ha) Schlickzufuhr einen durchschnittlichen Mehrertrag von 6 dz/ha Kornwerten jährlich; das ist bei einem Verkaufswert von 40 DM/dz ein Mehr an Geldwert von 240 DM/ha.

Wird angenommen, daß bei einer Verdoppelung der Schlickzufuhr auf 10 cm (= 1000 cbm/ha) auch eine Verdoppelung des jährlichen Mehrertrages von 6 auf 12 dz/ha eintritt, so erhöht sich der jährliche Mehrwert in Geld auf 12 × 40 = 480 DM/ha, wobei auch noch zusätzlich eine längere Dauer der Schlickwirkung anzunehmen ist.



Abb. 4
Hafer „ohne Schlickzufuhr“:
Ungleichmäßiger lückiger Bestand mit
durchweg kürzeren, wenig bestockten
Einzelpflanzen

Bildarchiv Westküste,
Ldw. — a 1577,
Aufnahme: IWERSEN



Abb. 5
Hafer auf „5 cm Seeschlick“:
Sehr üppiger, gleichmäßiger, genügend
dichter, stark bestockter, breit- und dun-
kelblättriger Bestand

Bildarchiv Westküste,
Ldw. — a 1576,
Aufnahme: IWERSEN



Abb. 6
M a i s : Links „ohne Schlick“. Kurze
Pflanzen mit geringer Wuchsfreudigkeit;
rechts „5 cm Seeschlick“. Üppige, dun-
kelfarbige Maispflanzen

Bildarchiv Westküste,
Ldw. — a 1664,
Aufnahme: IWERSEN

*) Abbildungen 4 bis 8 aus Zeitschr. f. Acker- u. Pflanzenbau, Bd. 95, 1952; Verlag Paul Parey, Hamburg.

Abb. 7
Steckrüben: Links „ohne Schlick“. Kurz und feinblättrig; rechts „5 cm Seeschlick“. Üppig, hoch- und breitblättrig

Bildarchiv Westküste,
Ldw. — a 439,
Aufnahme: IWERSEN



Abb. 8
Kartoffeln: Im Vordergrund auf „5 cm Seeschlick“, Dunkelfarbiger Boden mit gleichmäßiger, mittlerer Staudenentwicklung; dahinter hellerer Boden mit geringerer Krautentwicklung

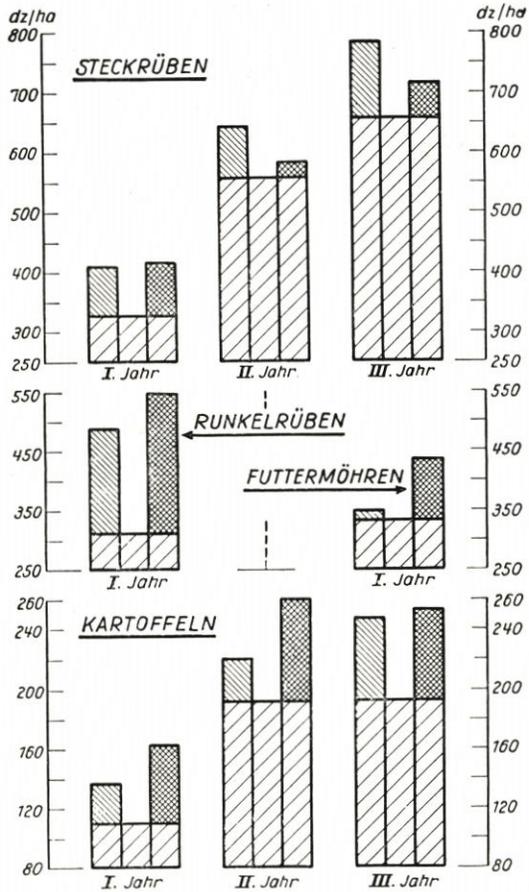
Bildarchiv Westküste,
Ldw. — a 615,
Aufnahme: IWERSEN



Vom volkswirtschaftlichen Blickpunkt würde eine Verwertung der jährlich anfallenden rund 3 Millionen cbm spittreifen Schlicks mit einer Schlickzufuhr von 1000 cbm/ha auf einer Fläche von 3000 ha einen Mehrertrag an Getreidewerten von $3000 \times 12 = 36\,000$ dz gleich einem Geldwert von $36\,000 \times 40 = 144\,000$ DM bedeuten; das wäre bei einem Kostenbetrag des Objekts von 25 Millionen DM eine Verzinsung von rund $5\frac{3}{4}\%$.

4. Der Schlicktransport, seine Kosten und Finanzierung

Wichtiger und entscheidender für die Verwirklichung einer planvollen, großzügigen Schlickverwertung ist aber noch die durchweg gegebene relativ große Entfernung der Schlick-anfallstellen zu den schlickbedürftigen Geestflächen. Damit rückt die Frage des zweckmäßigsten Verfahrens der Schlickbeförderung mit ihren Kosten und ihrer Finanzierung in den Vordergrund der Überlegungen. Wenn man dieser Frage in der Literatur oder in der gegenwärtigen Praxis nachgeht, stellt man immer wieder fest, daß eine Schlickverwertung auf der leichten Geest in nennenswertem Umfange an Verfahrensschwierigkeiten und zu hohen Kosten des Schlicktransportes scheitert.



Anordnung der Säulen:

- links: 2,5cm Schlick (Mehrertrag =)
- Mitte: ohne Schlick
- rechts: 5cm Schlick (Mehrertrag =)

Abb. 9. Hackfrüchte

KRESSNER (vgl. Aufsatz in diesem Heft) hat die zur Zeit maßgeblichen Verfahren der Schlickbeseitigung beziehungsweise -verwertung bereits umrissen: In Ostfriesland (Emden — Wilhelmshaven) wurde früher der für Bodenverbesserung vorgesehene Schlick durch Baggern gewonnen, auf bedeckte Flächen (Spülfelder) und von hier nach Austrocknung mit Schiff (billige Schiffsfrachten) oder Eisenbahn (niedrige Tarife) in die Nähe der Verbrauchergebiete gebracht, um von hier dann von interessierten Grundbesitzern mit Gespannen abgefahren zu werden. Infolge steigender Bagger-, Schiffs- und Bahnkosten ist dieses Verfahren zum Stillstand gekommen. Stattdessen ist von der Wasserbauverwaltung ein Bagger-Spülverfahren (zum Teil mit Zwischenpumpwerken) entwickelt, das in relativer Nähe

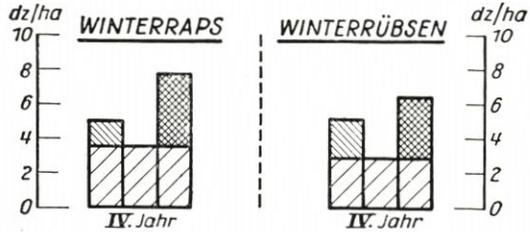


Abb. 10. Ölfrüchte

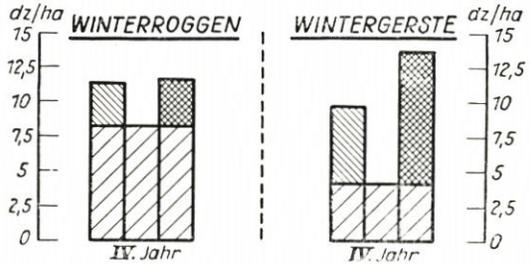


Abb. 11. Winterhalmfrüchte

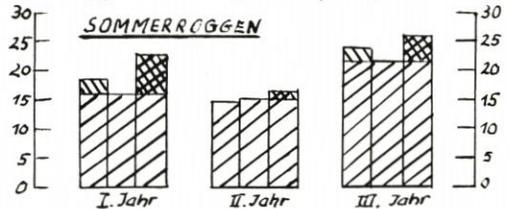
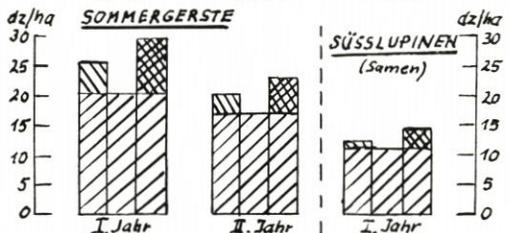


Abb. 12. Sommerhalmfrüchte (einschl. Lupinen)

der Anfallstellen zwar Neuland bzw. relatives Neuland schafft, dabei aber mit einem Meter und mehr Schlickauflage ungeheure Schlickmengen „verschwendet“. — Im Raum Bremerhaven kommt der anfallende Schlick im Bagger-Spülverfahren auf Watt-Spülfelder, von denen er bisher aber zur Hauptsache wieder in die Weser abfließt; der in Cuxhaven gebaggerte Schlick wird in der Elbe verklappt; in Hamburg wird der größte Teil im Bagger-Spülschuten-Spülverfahren für Hafen- und Industrie-, zum kleineren Teil auf besonderen Spülfeldern durchweg in 1 m Stärke für landwirtschaftliche Zwecke verwendet; in Brunsbüttelkoog schließlich wird 80 % der gebaggerten Schlickmenge in der Außenelbe verklappt, während 20 % im Spülverfahren auf benachbarten Niederungsgebieten zum Einsatz kommen; geplant ist ein erweitertes Spülverfahren mit zusätzlichen Spülerbecken und Zwischenpumpwerken in der Niederung, nicht auf der Geest.

Soweit zu übersehen ist, bleiben für die Schlickverwertung auf der leichten Geest zur Zeit folgende Verfahren zur Diskussion:

1. Das Bagger-Spülverfahren ohne und mit Zwischenpumpwerken;
2. das Bagger-Schlepper(Spülschuten)-Pump-Lkw.-Verfahren;
3. das Bagger-Schlepper(Spülschuten)-Spülverfahren.

Das Verfahren zu 1. kommt überall dort in Frage und ist auf seine Kosten und Finanzierung zu überprüfen, wo die schlickbedürftige Geest unmittelbar (zum Beispiel Husum) oder doch in einer im Spülverfahren zu erreichenden Nähe (zum Beispiel Bremerhaven) liegt; zu 2. wo weitere Entfernungen gegeben, aber auf dem Wasserwege zu überwinden sind, ein Spülverfahren aber nicht gestaltet werden kann und zu 3., wo ähnliche Verhältnisse wie zu 2. vorliegen, aber sich im Anschluß an den Transport auf dem Wasserwege ein neuzeitliches Spülsystem entwickeln läßt.

Regierungsaurat BECKER berichtet in seinen Erfahrungen über die Schlickverwertung im Bereiche des Wasser- und Schiffsamtes Emden: „Die Kosten der Schlickbaggerung und Aufspülung (in den nahe gelegenen Marsch- und Moorniederungen) betragen z. B. 1951 in Emden rund 1,25 DM je cbm Naßschlick, die sich etwa wie folgt zusammensetzen:

Betriebskosten für Baggerung und Transport zum Spüler	rd. 0,55 DM/cbm
Verzinsung und Abschreibung der Geräte	rd. 0,25 DM/cbm
Aufspülung (einschl. Arbeiten an Land und Kosten eines Zwischenpumpwerkes)	rd. 0,30 DM/cbm
Verzinsung und Abschreibung der Geräte und Rohrleitungen für die Aufspülung	rd. 0,15 DM/cbm
zusammen =	rd. 1,25 DM/cbm Naßschlick

Bei einem Verhältnis von Naßschlick zu spittreifem Schlick wie 3 zu 1 kostet mithin die Aufspülung und landwirtschaftliche Verwertung des Baggergutes im E m d e r R a u m $3 \cdot (0,30 + 0,15) = 1,35$ DM je cbm abgelagerten Schlick.“ Für die Wasserbauverwaltung bleiben dann $3 \cdot (0,55 + 0,25) = 2,40$ DM/cbm, die von dieser auf jeden Fall, d. h. auch bei einfacher Beseitigung ohne nutzbringende Verwendung des Schlicks, aufzubringen sind.

Beim Verfahren 2, nach dem der in Transportschuten gebaggerte Schlick durch Schlepper auf die jeweils vorgesehene Entfernung befördert und aus den Schuten in unmittelbar am Kanalrand vorbereitete Spülfelder gepumpt wird, würden beim Abfahren — nach der Ablagerung des Schlicks in den Spülfeldern (Spittreife) mit Lastkraftwagen an zusätzlichen Transportkosten nach KRESSNER in Hamburg (1952) auf 20 km Entfernung = 3,75 DM/cbm entfallen; nach meinen Feststellungen in Husum (privates Lkw.-Unternehmen 1953) für 1—5 km Transport rund 2,50 DM/cbm zuzüglich Ladearbeit (Handbetrieb) 1,50 DM je cbm, zusammen 4,— DM/cbm. Bei Einsatz eines Baggers für das Aufladen würden sich die Kosten voraussichtlich verringern und die Ladeleistung wesentlich steigern lassen. Das wäre auch notwendig, denn 4 DM/cbm zusätzliche Kosten für Landtransport sind nicht diskutabel. Bei solchen Preisen scheidet das Lkw.-Verfahren eindeutig aus; es sei denn, daß billigere und wirtschaftlich vertretbare Wege überprüft und gefunden werden, wie etwa ein genossenschaftliches

Lkw.-Unternehmen seitens interessierter Grundbesitzer einer Gemarkung oder privater Trecker-einsatz eines landwirtschaftlichen Betriebes in betriebswirtschaftlich arbeitsärmeren Jahreszeiten.

Zu dem dritten Verfahren — Bagger-Schlepper(Spülschuten)-Spülverfahren — hat Bau-direktor JENSEN von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel bereits 1952 nachstehende Kostenrechnung aufgestellt, wobei er annimmt, daß in einem Großversuch die in einem Jahre in der Binnenschleuse Brunsbüttelkoog anfallenden etwa 300 000 cbm Naßschlick un-mittelbar auf schlickbedürftige Geestflächen zu beiden Kanalseiten geschafft werden sollen. Seiner nun folgenden Berechnung liegen als weitere Annahmen zugrunde:

1. Beim Großversuch zu baggernde Menge: 300 000 cbm Schlick (Schutenmaß).
2. Schrumpfungsverhältnis des Baggerschlicks zu stichfestem Schlick wie 3 : 1, das heißt also Gesamtmenge des gewonnenen stichfesten Schlicks 100 000 cbm.
3. Transportentfernungen (ab i. M. km 2 Nord-Ostsee-Kanal Binnenhafen Brunsbüttelkoog):
 - a) 12 km,
 - b) 16 km,
 - c) 20 km,
 - d) 24 km,
 - e) 28 km.
4. Spülweite i. M. 1000 m.
5. Notwendige Geräte:
 - a) 1 Eimerketten-Schwimmbagger mit Dampfantrieb, Eimerinhalt 800 l, Baggertiefe 12—15 m, Be-triebsleistung 533 cbm/Std., Dauerleistung unter Berücksichtigung von Betriebsstörungen, Schiff-fahrt, schlechtem Wetter usw. 450 cbm/Std., Besetzung 11 Mann, Maschinenstärke 400 PS;
 - b) 12—20 Spülschuten je nach Transportentfernung. 400 cbm Inhalt, Besetzung 1 Mann;
 - c) 7—12 Dampfschlepper, je nach Transportentfernung. Maschinenstärke 300 PS, Besetzung 4 Mann;
 - d) 1 Spüler mit Dampfantrieb und 650 mm Rohrdurchmesser, Betriebsleistung und Besetzung wie beim Bagger, Maschinenstärke 1000 PS;
 - e) Spülleitungen: lichte Weite 650 mm, Länge 2000 m, Personalbedarf zum Verlegen und Bedienen des Spülfeldes 6 Mann.
6. Transportgeschwindigkeit i. M. 4 km/Std. mit 2 hintereinander gekoppelten Spülschuten.
7. Arbeitszeit: 16 Stunden (Doppelschicht).
8. Höhe der Mieten nach den geltenden Sätzen der Geräteliste für die Bauwirtschaft.
9. Personalkosten: einschl. aller Zulagen und Kosten für Außendienstentschädigungen je nach Art der Beschäftigung 400—500 DM/Monat.
10. Betriebsstoff für Bagger, Schlepper und Spüler: Kohle.
11. Betriebsstoffverbrauch i. M. 1 kg Kohle je PSh.
12. Betriebsstoffkosten: 70 DM/t Kohle + 10 % für Schmieröl, Putzwolle usw.
13. Leistung rd. 60 000 cbm stichfester Schlick/Monat.
14. Nebenkosten für den An- und Abtransport, Auf- und Abbau der Geräte. Zugrundegelegt werden hierfür 28 Arbeitstage für Miete und Geräte und für Personalkosten, letztere jedoch nur in 8-Stun-denschicht sowie Betriebsstoffkosten für 10 Tage, jedoch nur für die Schlepper und für 8-stündigen Betrieb.

Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich für das Baggern, für den Transport über 12 km Entfer-nung und für das Verspülen des Baggerguts bei rund 1000 m Spülrohrlänge ein Gesamtpreis von 2,40 DM je cbm Naßschlick beziehungsweise 7,20 DM je cbm stichfesten Schlicks.

Der Verwaltung entstehen für einen Kubikmeter stichfesten Schlicks z. Zt. nur 1,90 DM Selbst-kosten¹¹⁾.

Damit würde sich zusätzlich für den Transport des stichfesten Schlicks auf eine Entfernung von 12 km ein Preis ergeben von: $7,20 - 1,90 = 5,30$ DM/cbm.

Dieser Preis erhöht sich bei größeren Transportentfernungen um 18,8 DPf/km. Das ergibt folgende über die Selbstkosten der Verwaltung hinausgehende Preise:

12 km	5,30 DM/cbm stichfester Schlick
16 km	6,05 DM/cbm stichfester Schlick

¹¹⁾ In Brunsbüttelkoog wurde bisher der überwiegende Teil des gebaggerten Schlicks in nächster Nähe der Baggerstelle verklappt. Die Selbstkosten dieses „Naßschlicks“ betragen im Durchschnitt des Rechnungsjahres 1953: 0,38 DM/cbm. Bei einem Verhältnis von Naßschlick zu stichfestem Schlick wie 5 : 1 würde ein Kubikmeter stichfester Schlick in diesem Fall 1,90 DM kosten.

20 km	6,80 DM/cbm	stichfester Schlick
24 km	7,55 DM/cbm	stichfester Schlick
28 km	8,30 DM/cbm	stichfester Schlick.

Dieser Großversuch läßt sich in etwa zwei Monaten (reine Baggerzeit) und in rund drei Monaten einschließlich der Zeit für den An- und Abtransport der Geräte durchführen.

Falls man sich aber im Dauerbetrieb mit dem Schlick des Binnenhafens, d. h. etwa mit der Jahresmenge von 100 000 cbm stichfestem Schlick begnügen kann, dürften sich die obenstehenden Preise um 10—15 % senken lassen.

Bei 60 000 cbm spittreifen Schlicks monatlich lassen sich theoretisch also 720 000 cbm jährlich befördern und auch noch auf 2×2 km seitlich des Kanals aufspülen; bei im Mittel 10 cm Schlickauflage könnte also jährlich eine 720 ha umfassende Fläche leichten Geestbodens ertragssicher und zuckerrübenfähig gemacht werden.

Im übrigen gibt diese Berechnung eine handfeste Unterlage, dem Transportproblem vertiefend nachzugehen. Wenn zum Beispiel bei 24 km Entfernung, also bei Kanalstation 26, über die Selbstkosten der Verwaltung hinaus (1,90 DM/cbm) für 1 cbm spittreifen Schlicks 7,55 DM/cbm an Kosten entstehen, ist zu überlegen, ob nicht durch neue Verfahren eine Senkung zu erreichen und soweit nicht, wie die Aufbringung der Kosten zu verteilen ist. Wenn — nach JENSEN — im Dauerbetrieb eine Minderung um 10 % = 0,75 DM/cbm angenommen werden kann und die Kanalverwaltung an Selbstkosten wie in Emden 2,40 DM/cbm übernehmen würde, senkt sich der Preis von 7,55 um $(0,75 + 0,50) = 1,25$ auf 6,30 DM/cbm. Wenn dann noch, wie vorgeschlagen wird, die Transportkosten — in diesem Beispiel $24 \times 0,188 =$ rund 4,50 DM je cbm — von der öffentlichen Hand (Bund und Land) übernommen würden, verblieben für den Grundbesitzer 1,80 DM/cbm^{III)}. Doch wird auf dieses Problem noch näher eingegangen.

5. Die absoluten und relativen Grenzen der Schlickverwertung

Eine Festlegung der absoluten Grenzen der Verwertung des anfallenden Bagger-schlicks auf der schlickbedürftigen Geest ist zur Zeit sehr schwierig, wenn nicht unmöglich, weil noch zuviele unbekannte Faktoren zu beachten sind. Wenn man aber zur gegebenen Zeit eine solche vornehmen will und muß, kommt man auf keinen Fall an den Feststellungen vorbei, daß

1. der Schlick für die leichten Geestböden ein Bodenverbesserungsmittel ersten Grades bedeutet;
2. die Technik bereits Spülverfahren — mit Zwischenpumpwerken — entwickelt hat, die das Baggergut bis 9 km weit spülen;
3. der absolute Wert von 1 cbm spittreifem Schlick normaler Zusammensetzung nach meiner Auffassung mit mindestens acht DM angenommen werden kann;
4. der für den Grundbesitzer tragbare (relative) Wert vor 1914, d. h. bei einem Getreidewert von höchstens 20 DM/dz, mit 1,50 DM/cbm geschätzt wurde. Diesem Betrag entspräche zur Zeit bei im Mittel 40 DM/dz ein Wert von 3,— DM/cbm;
5. der Reichszuschuß 1938: 2,50 RM/cbm betrug;
6. die „Gestehungskosten“ von der Schlickanfallstelle bis einschließlicherspülung auf dem Geestgrundstück am Nord-Ostsee-Kanal zur Zeit auf 24 km Entfernung 7,55 DM/cbm betragen bei zusätzlich 1,90 DM/cbm Selbstkosten der Wasserstraßenverwaltung;
7. der Mehrertrag an Kulturfrüchten in Getreidewert bei 10 cm (1000 cbm/ha) Schlickauflage auf leichtem Geestboden mit 12 dz/ha angenommen werden kann, entsprechend einem höheren Rothertrag in Geldwert von $12 \times 40 = 480$ DM/ha;
8. die Kanalverwaltung 1938 für 17 ha überspülte grobsandige Kanalkippen statt 50 RM vor

III) Für den auf rund 1000 m Entfernung vom Kanal auf einem Geestgrundstück oder in einem Sammelbecken aufgespülten stichfesten Schlick. Der Transport von diesem Sammelbecken bis zur Verwendungsstelle wäre außerdem vom Grundbesitzer zu tragen (vgl. auch Absatz 6, b, 3).

der Überspülung nach derselben 3500 RM, das sind reichlich 200 RM/ha Mehrpacht erhielt bei 30 000 DM Gesamtkosten der Überspülung;

9. in Hamburg 5 cbm Baggergut je qm Spülfäche 15 DM kosten; das sind 150 000 DM/ha;
10. durch 1 cm (100 cbm/ha) Schlickauftrag eine nachhaltige Erhöhung des Bodenwertes um 3 EWP (NIESCHLAG 4 EWP!) angenommen werden kann; das ist bei 10 cm zum Beispiel eine Steigerung von 20 auf 50 EWP und bei einem Geldwert von 50 DM/EWP eine Wertsteigerung des Bodens von 1000 auf 2500 DM. Der ausgesprochene Brenner- wird zum Zuckerrübenboden;
11. der betriebswirtschaftliche Wert, der nicht nur in der Ertragssteigerung, sondern mehr noch in der Ertragssicherung und in den günstigen Wechselwirkungen im Rahmen des Gesamtbetriebes liegt, nicht generell, sondern nur in jedem Betrieb je nach Anteil der überschlickten Fläche individuell erfaßt werden kann;
12. der volkswirtschaftliche (agrar-, siedlungspolitische) Wert von dem Umfang der aufgeschlickten Flächen abhängig ist. Bei Verwertung von z. B. 9 Millionen cbm Naßschlick = 3 Millionen cbm spittreifem Schlick und 10 cm Schlickauflage könnte jährlich eine Erhöhung des Bodenwertes bei 3000 ha um je $30 \text{ EWP} \times 50 \text{ DM} = 4,5$ Millionen DM und bei 12 dz/ha Mehrertrag ein jährlicher Zuwachs an 36 000 dz Getreidewerten mit einem Geldwert von rund 1,44 Millionen DM erzielt werden.

Diese Feststellungen geben zu denken. Trotzdem sind sie zum Teil an sich schon mehr oder weniger problematisch, besonders aber, solange nicht Klarheit über eine größere Anzahl entscheidender unbekannter Umstände geschaffen ist, wie zum Beispiel unter anderem den nachhaltigen Mehrertrag, die Steigerung des Bodenwertes, die Verbilligung des Zubringerverfahrens, den Finanzierungsschlüssel und schließlich wesentliche psychologische Faktoren. Die Aufgaben der Arbeitsgruppe „Schlickverwertung“ liegen für die nächste Zeit vornehmlich in der Lösung dieser Unbekannten.

Eine Erleichterung dieser Aufgaben dürfte in einer vergleichenden Überprüfung der relativen Grenzen gegeben sein, wie sie in Tabelle 9 (S. 62) und 10 (S. 63) aufgezeigt wird.

In Tabelle 9 sind hier sechs bekannte Meliorationsgroßmaßnahmen in ihren Aufwendungen untereinander und zur theoretisch angenommenen Überschlickung der Kanal-Randgest in Vergleich gesetzt, wobei die Aufwendungen und Erträge je „Mehr an Ertragswertpunkten (EWP)“ als Generalnenner auftreten. Danach kann die Geestüberschlickung selbst bei einem Preis von 7,55 DM/cbm durchaus einen Vergleich aushalten zum Beispiel mit der gleichgelagerten Maßnahme „Kudensee“ und auch in etwa mit dem „Programm Nord“. Der Vergleich mit der „Watteindeichung Hindenburgdamm“ würde sich auch noch wesentlich zugunsten der Geestüberschlickung ändern, wenn die Aufwendungen für Besiedlung, Dränung und Kultivierung in die Vergleichsrechnung eingesetzt würden.

Auf jeden Fall zeigen die Vergleiche, daß eine Geestüberschlickung selbst bei größeren Entfernungen des Schlicktransportes und dadurch bedingten sehr hohen Aufwendungen je cbm Schlick ebenso gut verantwortet werden kann wie die Durchführung etwa einer Watteindeichung oder eines „Programms Nord“. Und aus dieser Feststellung ergibt sich für die Arbeitsgruppe die zusätzliche Verpflichtung, dem Problem der Schlickverwertung bis zum letzten nachzugehen.

In diesem Zusammenhang ist auch ein Vergleich der Kostenaufbringung beachtlich, wie ihn Tabelle 10 zeigt, denn aus ihm geht hervor, daß bei einer Beihilfe der öffentlichen Hand in Höhe von 4 DM/cbm = 53 % der Gesamtkosten die Geestüberschlickung etwa auf gleicher Linie mit „Programm Nord“ läge. Vergleichsweise wäre sogar die Forderung auf eine Beihilfe von 74 % wie bei Kudensee oder gar von 100 % wie bei der „Watteindeichung“ vertretbar.

Tabelle 9
 Kostenvergleich zwischen verschiedenen Meliorationsmaßnahmen (I)^{IV}
 (Generalnemer: Mehr an Ertragspunkten und Ertragswerten je ha)

Lfd. Nr.	Art und Ort der Maßnahme	Aufwendung je ha		Ertragswertpunkte (EWP)		Aufwendung je Mehr-EWP (8)		Erträge (Schätzung)		Bemerkung					
		Schlickauftrag cbm	Kosten DM	Kosten DM je cbm	vor	nach	Mehr	Erträge (Schätzung)	Mehr in dz		Mehr in DM				
								je ha	je EWP	je ha	je EWP				
1	Überschlickung Riepster Hammrich (Enden)	10 000	45 300 ^a	4,50	35	85	50	906,00	22	35	13,0	0,26	520,00	10,40	
2	Überschlickung Heppenser Groden (Wilhelmshaven)	6 000	18 000 ^b	3,00	—	70 ^c	70	rd. 257,00	—	30	30,0	0,43	1200,00	17,20	
3	Überschlickung Kudenseiederung (N.-O.-Kanal)	10 000	10 000 ^d	1,00	35	85	50	200,00	15	35	20,0	0,40	800,00	16,00	
4	Warteindeichung Hindenburgdam	—	15 000 ^e	—	—	80	80	187,50	—	35	35,0	0,44	1400,00	17,50	auf etwa 20 Jahre
5	Übersandung mit Blausand (alte Marschen)	400	500	1,45	68	72	4	145,00	30	34	4,0	1,00	160,00	40,00	
6	Meliorationen „Programm Nord“ (schlesw. Grenzgebiet) ^f	—	2 650	—	50 ^g	68 ^g	18	147,00	24	32	8,0	0,44	320,00	17,60	
7	Überschlickung Randgeest N.-O.-Kanal (neues Verfahren) ^h	1 000	7 550	7,55	20	50 ⁱ	30	252,00	14	26	12,0	0,40	480,00	16,00	
a	Davon 39 600 DM für Schildkaufbringung														
b	Davon 5 700 DM für Ausbau der Wege, Gewässer usw.														
c	Davon 15 000 DM für Aufbringung des Schlicks														
d	Davon 1 500 DM für nachf. Regelung des Wasserhaushalts														
e	Davon 1 500 DM für Neuanlagen von Straßen und Wegen														
f	Davon 1 200 DM für Spüldeiche (vom Verband)														
g	Davon 7 400 DM für Aufspülung														
h	Davon 1 400 DM für Wasserregelung, Verkehrserschließung, Folgemaßnahmen														
i	Davon Deichbau rd. 9 700 DM ohne Besiedlung, Entwässerung und Wege „ 5 300 DM Kultivierung, Dränage														

Tabelle 10

Kostenvergleich zwischen verschiedenen
Meliorationsmaßnahmen (II)

(Aufbringung der Kosten in %)

Lfd. Nr.	Art und Ort der Maßnahme	Kostenverteilung in %			Bemerkungen
		Eigenleistg.	Darlehen	Beihilfen	
1	2	3	4	5	6
1	Überschlickung Riepster Hammrich (Emden)	7,2	3,8	89,0 ^a	a Gesamtkosten Schlickaufbr. 39 600 + Folgemaßnahmen 700 40 300 (einschl. neues Graben- u. Wegesystem)
2	Überschlickung Heppenser Groden (Wilhelmshaven)	—	—	100	Finanzierung durch Bund und Land
3	Überschlickung Kudenseeniederung (N.-O.-Kanal)	14 ^a	12 ^b	74 ^c	a Entwässerung, Wege, Folge- maßnahmen b Spüldeiche c Aufspülung (Bund)
4	Watteindeichung Hindenburgdamm	—	—	100	Finanzierung durch Bund und Land
5	Übersandung mit Blausand (alte Marschen)	5	95	—	Jährliche Belastung je ha = 33 DM bei 3% Tilgung und 2 1/2% Zins
6	Meliorationen „Programm Nord“ (schlesw. Grenzgebiet)	16,8	28,5	54,7 ^a	a Bund und Land
7	Überschlickung Randgeest N.-O.-Kanal (neues Verfahren)	20	27	53 ^a	a Bund und Land 4 DM/cbm (s. Programm Nord)

IV) Anmerkung zu nebenstehender Tabelle 9. Bei einer eingehenden Überprüfung der Tabellen 9 und 10 hat sich herausgestellt, daß die dort angegebenen Zahlen zum Teil einer Berichtigung bedürfen und daher nicht vergleichsfähig sind. Das gilt insbesondere für die Zahlen der laufenden Nummern 3 und 7. Der verstorbene Verfasser hat seine Absicht, diese Tabellen selbst zu berichtigen, nicht mehr ausführen können.

Die in Spalte 4 der laufenden Nr. 1 angegebenen Kosten enthalten alle Aufwendungen für die Schlickaufspülung, für Nutzungsausfall, landwirtschaftliche Voraus- und Folgemaßnahmen, gestundete Beiträge, Steuern und Zinsvorleistungen, Landabgabe für Wege und Wasserläufe, Nutzungsentschädigungen für Rohrleitungen usw., Bau von Wirtschaftswegen, Vorflutarbeiten, Binnenentwässerung einschließlich Dränung, Bauwerke, Planung und Bauleitung, Organisation der Maßnahmen, Ersatzlandregelung, Beispielflächen, Umlegungsverfahren usw., Insgesamt.

Diese Kosten scheinen bei den laufenden Nummern 3 und 7 nicht sämtlich eingesetzt zu sein. Die Arbeitsgruppe „Schlickverwertung“ wird sich einer Überprüfung der Tabellen 9 und 10 besonders annehmen müssen.

Die Tabellen werden hier — trotz der erforderlichen Berichtigung — in ihrer ursprünglichen Fassung gebracht, um zu zeigen, welche Schlußfolgerungen der Verfasser im Auge hatte. Es kam ihm darauf an, nachzuweisen, daß die Schlickverwertung in der Landwirtschaft im Vergleich mit anderen Meliorations-Großmaßnahmen durchaus wirtschaftlich ist.

6. Folgerungen

Aus der Gesamtschau der bisherigen Ausführungen und überschläglichen Berechnungen sollen zunächst einige Folgerungen aus dem zur Zeit gegebenen Zustand gezogen werden, und zwar:

a) in wissenschaftlicher Richtung:

1. Die optimale Stärke der Schlickauflage ist für den leichten Geestboden mit EWP 16—30 noch nicht geklärt. Zu dieser Frage liegen bisher auch noch kaum Untersuchungen vor. In der Literatur finden sich große Gegensätze in der Auffassung, die sich von 1—30 cm (100—3000 cbm je ha) bewegen. Eine gründliche wissenschaftlich exakte Überprüfung ist dringlich.
2. Die Wirkung hinsichtlich Zeitdauer und Wirkungsgrad ist bisher nicht ausreichend untersucht. Diese Klärung ist ebenfalls dringlich, weil die Entscheidung über die tragbare Belastung bzw. die Höhe der betriebs- und privatwirtschaftlich vertretbaren Eigenleistung hiervon abhängig ist.
3. Das Verhalten der Feinfraktionen des Schlicks (Ton, Staub, Mehlsand) nach ihrer Mischung mit dem grobkörnigen Substrat des Subjektes (Fein- und Grobsand) bedarf hinsichtlich Quellung, Schrumpfung, Auswaschung, Verdichtung u. a. m. einer näheren Untersuchung.
4. Die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der Überschlickung eines bestimmten Prozentsatzes der betriebszugehörigen Nutzungsfläche sind in zahlreichen Geestbetrieben verschiedener Größenordnung zu ermitteln und daraufhin ist über die tragbare bzw. zumutbare Belastung zu entscheiden.

b) von praktischen Gesichtspunkten:

1. Die Schlickverwertung auf der leichten Geest z. B. der Kanalrandgemarkungen in größerer Entfernung ist und bleibt eine sehr problematische Angelegenheit, solange die Transportkosten den Preis je cbm zu hoch treiben. Zur Zeit scheint die Schlickbeförderung auf dem Wasserweg bis zu einer Entfernung von 26 km noch eben tragbar^{v)}.
2. Im Rahmen des Bagger-Spülschuten-Spülverfahrens sind die Transportkosten zu hoch. Von seiten der Wasserstraßenverwaltung muß nach neuen, billigeren Verfahren gesucht bzw. untersucht werden, wo und wie im vorgesehenen Verfahren eine Vereinfachung und Verbilligung erreicht werden kann.
3. Wie bereits dargelegt, scheidet die ergänzende Einschaltung eines Lkw.-Unternehmens zur Schlickbeförderung vom Spülfeld auf das Land zur Zeit wegen zu hoher Kosten aus. Es wird notwendig sein, zu überprüfen, ob auf dem Wege eines genossenschaftlichen Lkw.-Einsatzes der beteiligten Grundbesitzer eine lohnende Verbilligung möglich ist. Gleichzeitig ist an einigen praktischen Beispielen zu klären, unter welchen Voraussetzungen der private Treckerbesitzer bereit und in der Lage ist, sich den spittreifen Schlick von einem in erträglicher Nähe befindlichen Schlicklagerplatz in arbeitsärmeren Jahreszeiten selbst auf seine schlickbedürftigen Geestgrundstücke abzufahren (zum Beispiel 10 ha schlickbedürftige Geestfläche — zwanzig Jahre je $\frac{1}{2}$ ha — jährlich 500 cbm).
4. Dem Reichszuschuß von 2,50 RM/cbm vor dem letzten Kriege bei einem Getreidepreis von etwa im Mittel 20 RM/dz würde jetzt bei im Mittel 40 DM/dz Getreidepreis ein Zuschuß von 5 DM/cbm entsprechen.
5. Der an sich interessierte Besitzer leichten Geestbodens wird nach vorliegenden Erfahrungen nicht bereit sein, trotz der Erhöhung des Bodenwertes und des Mehrertrages z. B. einen

v) Unter den vorhergenannten Voraussetzungen.

Kredit von 2,30 DM/cbm mit zwanzigjähriger Laufzeit auf sich zu nehmen. Die zweckmäßigste Finanzierungsform ist hier noch zu suchen.

6. Die Übersicht und Einsicht über den Umfang beziehungsweise die Bedeutung des Problems fehlt auch auf den höheren und entscheidenden Ebenen staats- und agrarpolitischer sowie volks- und landwirtschaftlicher Linie. Die Tatsache des jährlichen Anfalls von rund 25 Millionen DM Substanzwerten bester Fruchtbarkeitsträger, deren Beseitigung unerlässlich ist, muß Anlaß sein, diese Einsicht zu wecken.

7. Forderungen

Aus diesen nur kurz skizzierten wesentlichsten Folgerungen ergeben sich nun — neben manchen anderen — in erster Linie folgende Forderungen:

- A. 1. Planmäßige Untersuchung und Überprüfung der am Kanalrand in verschiedener Stärke (1—30 cm) bereits überschlickten leichten Geestböden insbesondere auf Bodenstruktur, Durchwurzelung, Mikroleben, Pflanzenentwicklung und -ertrag.
2. Durchführung eines Großversuches am Nord-Ostsee-Kanal bei 24—26 km Entfernung im Bagger-Spülschuten-Spülverfahren (nach Vorschlag JENSEN) mit teilweiser Einschaltung der Lastkraftwagen-Landbeförderung.
Umfang des Versuches: 300 000 cbm Naßschlick = 100 000 cbm spittreifer Schlick = im Mittel 10 cm Schlickauflage = Überschlickung von 100 ha leichten Geestbodens mit Schlickstärken von 5—20 cm.
3. Zweck: Überprüfung sämtlicher Teilverfahren von der Schlickanfallstelle bis zur Verteilung und Mischung mit dem Geestboden bei gleichzeitiger Überprüfung neuer und billiger Teilverfahren einschließlich Organisation der Schlickabnehmer. Anschließend auch planmäßige Untersuchung der veränderten Bodeneigenschaften sowie der Entwicklung und Ertragsverhältnisse maßgeblicher landwirtschaftlicher Kulturpflanzen einschließlich der betriebswirtschaftlichen Auswirkung der Überschlickung.
4. Durchführung eines Kleinversuchs im Raume Husum mit einfachem Spülverfahren. Umfang: 60 000 cbm Naßschlick = 20 000 cbm spittreifer Schlick = 20 ha Überschlickungsfläche bei im Mittel 10 cm Schlickauflage. Zweck: wie zu 2.

An Hand der Versuche und Untersuchungen zu A. 1—3 müssen alle Teilprobleme aus der Gesamtschau auf lange Sicht durch gründliche Überprüfung bei der praktischen Durchführung geklärt werden.

Vordringliche Aufgabe der Arbeitsgruppe sei:

- B. 1. Einstellung einer praktisch und wissenschaftlich erfahrenen und geeigneten Persönlichkeit (Diplomlandwirt), die nur das Problem der Schlickverwertung bearbeitet, dieses aber nach allen in Frage kommenden Richtungen, insbesondere den bisherigen Verfahren und Erfahrungen nachgeht und die fehlenden praktischen und wissenschaftlichen Erkenntnisse an den Maßnahmen A. 1—3 und B. 4 erarbeitet.
2. Ausarbeitung einer Denkschrift (eines Bilanzberichtes) über die Entwicklung, die Lage und die für die Zukunft zu lösenden Fragen durch eine von der Arbeitsgruppe zu bestellende Sonderkommission, bestehend aus je einem Vertreter der Wasserstraßen-, der Wasserwirtschaftsverwaltung und der Landwirtschaft.
3. Vorlage dieser Denkschrift bei allen maßgeblichen Persönlichkeiten, die ein unmittelbares oder mittelbares Interesse an der Schlickverwertung haben, insbesondere den Bundes- und Landes-Verkehrs-, Landwirtschafts- und Finanzministerien.
4. Durchführung je eines genossenschaftlichen (oder Zweckverbandes-) und betriebswirtschaftlichen Organisationsversuchs für eine Versuchs- und Beispielsgemarkung auf der Geest bzw. in einem typischen Geestbetrieb in etwa einem Zehn- oder Zwanzig-Jahresplan mit dem Zweck wie zu B. 1., insbesondere aber zur Erfassung der psychologischen Teilprobleme bei den unmittelbar beteiligten Grundbesitzern.

5. Untersuchung aller gegebenen Möglichkeiten zur Herabminderung der Transportkosten einschließlich neuer Verfahren.

6. Klärung der äußersten Grenzen finanzieller Hilfestellung seitens der Wasserstraßenverwaltung, des Bundes und des jeweils unmittelbar interessierten Landes.

Es sei noch betont, daß das Problem der Schlickverwertung bis zu einem gewissen Grade gelöst werden kann, wenn die in den aufgezeigten Richtungen noch fehlenden Erkenntnisse gewonnen sind, das Gesamtproblem aus einer ressortbedingten Teilschau in eine umfassende Gesamtschau auf lange Sicht hineingestellt und in engster Zusammenarbeit aller Beteiligten angepackt wird und die maßgeblichen Persönlichkeiten des Bundes und der interessierten Länder für eine finanzielle Hilfestellung gewonnen werden.

Der Verfasser schließt mit einem Dank an seine Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe für Schlickverwertung und mit dem Schlußwort von Geheimrat Prof. Dr. TACKE, der schon vor vielen Jahren nach einer Erörterung des gleichen Problems dem Sinne nach aussprach: Eines aber ist sicher: Der in gewaltigen Mengen an der Nordseeküste anfallende Seeschlick stellt ohne jeden Zweifel ein äußerst wertvolles Hilfsmittel zur Verbesserung der Ertragsfähigkeit aller leichten Bodenarten dar. Seine Nutzbarmachung für diesen Zweck in größtem Ausmaße ist als eine öffentliche Aufgabe erster Ordnung anzusehen.

8. Schriftenverzeichnis

1. BRÜNE, Fr.: Die Nutzbarmachung des Seeschlicks in der Landwirtschaft. Ztschr. Pfl. Ernährung, Düngung u. Bodenkunde 37 (82) 3, 1954.
2. FLEISCHER, M.: Versuche über die Wirksamkeit des Seeschlicks auf verschiedenen Bodenarten. Mitt. Moorversuchsstation Bremen. Verlag Parey, Berlin 1886.
3. IWERSEN, J.: Zum Problem der Überschlickung leichter Geestböden. Ztschr. f. Acker- u. Pflanzenbau 95, H. 2, 1952.
4. NIESCHLAG, F.: Vom Ödland zum Ackerland. D. L. Presse 73, 11, 1950.
5. NIESCHLAG, F.: Schlick auf Ödland. D. L. Presse 73, 17, 1950.
6. TACKE, Br.: Beschaffenheit und Wirkung des Seeschlicks. „Die Weser“ XX, 1, 1941.

Allgemeine Bemerkungen zum Bilanzbericht „Wasserbauliche Hydrometrie“

Von Karl Lüders*)

Ein jeder von uns empfindet, daß auf all unserem Tun und Handeln der Zeitdruck lastet. Dieser Zeitnot ist seit etwa fünfzehn bis zwanzig Jahren bedauerlicherweise auch der an der Küste arbeitende Ingenieur verfallen. Wer hat oder wo findet man heute noch genügend Zeit für die sorgfältige Entwurfsaufstellung einer geplanten Baumaßnahme? In vielen Fällen muß man sich auf die mehr oder weniger vorhandene „Erfahrung“ verlassen, die wohl eine wertvolle Hilfe darstellt, die aber besonders im Seebau durchaus nicht immer ausreicht, die beste, wirtschaftlichste und wirkungsvollste Lösung der gestellten Aufgabe zu finden.

Wir müssen versuchen, uns eine gute und umfassende Kenntnis der wirkenden Naturkräfte durch systematische Beobachtungen und Messungen in der Natur zu verschaffen. Wenn wir also den Kampf gegen das Meer nicht mit „verbundenen Augen“, sondern „klar sehend“ führen wollen, dann müssen wir unsere seebaulichen Maßnahmen auf möglichst umfassende und sorgfältige wasserbauliche Messungsergebnisse gründen. Wegen der Bedeutung, die somit der „wasserbaulichen Hydrometrie“ im Seebau zukommt, ist im Küstenausschuß Nord- und Ostsee eine besondere Arbeitsgruppe gebildet worden, die sich mit allen Angelegenheiten der Wassermeßkunde zu befassen hat.

Die Arbeitsgruppe „Wasserbauliche Hydrometrie“ bearbeitete als erste Aufgabe einen Bilanzbericht über die gegenwärtig in Deutschland im Seebau gebräuchlichen Meßgeräte und Meßmethoden. Für die Aufstellung des Berichtes sind aus den siebzehn Mitgliedern der Arbeitsgruppe insgesamt zehn kleinere Arbeitskreise für die verschiedenen Meßgebiete gebildet worden.

Der Bilanzbericht umfaßt sechs Abschnitte, in denen folgende Arbeitsgebiete behandelt sind:

- Wasserstandsbeobachtung
- Wassertiefen-Messung
- Strömungsuntersuchung
- Untersuchung der Sand- und Sinkstoff-Bewegung
- Untersuchung der Wellen, des Seegangs und der Brandung, und
- Untersuchung der Temperatur, der Dichte und des Salzgehaltes des Meerwassers.

Die Einzelheiten des umfassenden Bilanzberichtes sollen an dieser Stelle nicht erörtert werden. Wir beschränken uns hier auf das wesentliche des Bilanzberichtes, und zwar auf die Forderungen, die wir auf Grund der bis heute gewonnenen Erfahrungen an die wasserbauliche Hydrometrie zu stellen haben.

Die bei der Wasserstandsbeobachtung verwendeten Meßgeräte (Pegel) zeigen im allgemeinen die Höhe mit ausreichender Genauigkeit an. Die Zeitaufzeichnung läßt dagegen noch manchen Wunsch offen. Besonders bei den auf Baken aufgestellten Schreibpegeln, die wegen ihrer Lage nicht täglich überwacht werden können, hört der Kampf mit dem Uhrwerk niemals auf. Die Forderung auf Gewährleistung einer ausreichend genauen Zeitaufzeichnung ist daher nachdrücklich zu stellen. Zwei Wege werden neuerdings zur Erfüllung dieser Forderung vorgeschlagen:

Man verbindet entweder das Pegelgerät mit einem Rundfunkempfänger, der das vom Rundfunk täglich gesendete Zeitzeichen auf der Pegeltrommel registriert, oder aber man überträgt über Kurzwellen die vom Pegelgerät angezeigten Wasserstandswerte auf ein an Land stehendes Schreibgerät, das einer ständigen Zeitkontrolle untersteht.

*) Vortrag, gehalten auf der 1. Arbeitstagung des Küstenausschusses am 23. 3. 1954 in Hannover.

Dieser zweite Vorschlag scheint der aussichtsreichere Weg zu sein, weil bei dieser Methode nicht nur die Zeit genau beobachtet werden kann, sondern auch jede Störung des auf der Bake stehenden Pegels sofort ersichtlich wird und schnellstens behoben werden kann.

Zur Messung der Wassertiefen ist zu sagen, daß heute in bezug auf die Gerätetechnik die von seiten des Seebaues zu stellenden Forderungen befriedigt sind. Auch die für die Peilungen notwendigen Ortungsgeräte und Ortungsverfahren entsprechen im großen und ganzen dem verlangten Grad der Genauigkeit. Dagegen sind die heutigen Verfahren der Wasserstandsbeschickung von Seelotungen im Tidegebiet noch nicht befriedigend. Zur Behebung dieses Mangels ist es notwendig, das Netz der ständigen Schreibpegel entsprechend zu verdichten und Hilfspegel aufzustellen, die im Vermessungsgebiet für die Dauer der Vermessung arbeiten.

Eine andere Forderung ist im Hinblick auf die Meßgenauigkeit zu stellen. Es fehlen bisher Untersuchungen über Fehlermaße von Lotungen und Ortungen. Diesem Mangel müßte in Zukunft abgeholfen werden, indem von den die Messungen ausführenden Stellen Vergleiche und Untersuchungen über die Größe der Fehler angestellt und bekanntgemacht werden.

Für Strömungsmessungen steht heute eine ziemlich große Auswahl von Meßgeräten zur Verfügung. Im Hinblick auf die sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Genauigkeit und Art der Untersuchung der Strömung ist die Vielzahl an Geräten nicht von Nachteil. Die Meßgeräte werden heute entweder von einem Meßschiff aus eingesetzt und bedient oder sie werden als selbstregistrierende Geräte ausgelegt. Beide Methoden haben ihre Vor- und Nachteile, worauf hier aber nicht näher eingegangen werden kann. Es sei jedoch auf einen Gesichtspunkt hingewiesen, der bei der Erörterung dieser Frage leicht übersehen wird: Je mehr die Meßgeräte selbstregistrierend eingerichtet werden, desto mehr verliert der „Beobachter“ seine wichtige Aufgabe des „Beobachtens“ der sich abspielenden Naturvorgänge. Und das ist der Nachteil bei dem Streben nach Selbstregistrierung der Meßgeräte. Denn erst aus dem Zusammenklang von Messung und Beobachtung läßt sich das Naturkräftespiel am ehesten erkennen.

Auf dem sehr schwierigen Forschungsgebiet der Sandwanderungs-Messungen stehen wir noch vollkommen im Anfang. Es klingt unglaubwürdig, daß wir heute noch vielfach keine klare Vorstellung haben, was wir eigentlich messen wollen. Der eine Forscher möchte den Weg des einzelnen Sandkornes auf dem Meeresboden verfolgen, der andere möchte aus der Veränderung der Morphologie des Meeresbodens auf die Sandbewegung schließen, der dritte versucht, die auf dem Meeresboden vor sich gehende Sandwanderung aus der Schwebstoff-Bewegung abzuleiten, der vierte versucht, aus der Beziehung zwischen Stromgeschwindigkeit und Sedimentzusammensetzung eine Größe für die Sandwanderung abzuleiten und so fort. Ein jeder erhält aus diesen Untersuchungen irgendwelche Maße und Werte, ob er aber die Werte erhält, die der Seebau-Ingenieur für seine Arbeiten benötigt, ist nicht sicher. Es wird noch eingehender Arbeit bedürfen, bis wir dem Problem der Sandwanderung auf dem Meeresboden vermessungstechnisch näher kommen.

Etwas einfacher und klarer ist die Frage der Schwebstoff-Untersuchungen. Gerätetechnisch sind diese Untersuchungen einigermaßen befriedigend gelöst. Zu den Bestrebungen, das Meßgerät möglichst nahe an den Meeresboden heranzubringen, sei erwähnt, daß man sich damit in die Gefahr begibt, aus dem Schwebstoff-Fänger eine Sandfalle werden zu lassen, die Momentfänge liefert. Mit solchen Augenblicks-Werten ist jedoch nicht viel anzufangen. Für die Sandwanderungs- wie für die Schwebstoff-Messung ist es erwünscht, Meßgeräte zu haben, die nicht Augenblickswerte liefern, sondern über eine bestimmte Zeit (etwa 5 bis 15 Minuten) summierend messen, weil sich der Sand wie der Schwebstoff in Wolken bewegt und daher Moment-Messungen leicht ein falsches Bild ergeben können.

Ferner sind unter anderem noch Meßgeräte für die Messung der Sandbewegung in der Brandungszone und Schwebstoff-Fänger für Messungen bei Sturmfluten auf den Watten erwünscht.

In den letzten beiden Kapiteln des Bilanzberichtes sind dann noch die Geräte und Meßmethoden für die Wellen-Bewegung, den Seegang und die Brandungs-Untersuchung und für die Temperatur-, Dichte- und Salzgehalts-Messungen behandelt.

Aus den Ergebnissen des Bilanzberichtes müssen abschließend drei Forderungen herausgestellt werden:

1. die Verbesserung und Weiterentwicklung der vorhandenen und die Entwicklung neuer Meßgeräte,
2. die Vereinheitlichung der Meßmethoden und
3. die Präzisierung der Fragestellung und Begriffe.

Während die Lösung der Gerätefrage in der Hauptsache dem einzelnen Forscher vorbehalten bleiben muß, ist die Vereinheitlichung der Meßverfahren und die Festlegung der Begriffe eine Gemeinschaftsarbeit, zu der die Arbeitsgruppe „Wasserbauliche Hydrometrie“ ihren Beitrag liefern wird.

Die Sturmflut vom 31. Januar/1. Februar 1953 in England

Die Sturmflut vom 31. Januar bis 1. Februar 1953 hat auch an der Ostküste Englands verheerenden Schaden angerichtet. Vom Humber bis zur Straße von Dover bestanden natürliche und künstliche Schutzwerke gegen Überschwemmungen in einer Länge von 1370 Meilen (2200 km). In diesen Schutzwerken gab es etwa 1200 Brüche mit der Folge, daß 160 000 acres Land (64 000 ha) überschwemmt wurden, über 300 Menschen das Leben verloren und 24 000 Häuser von den Fluten beschädigt wurden. Die öffentlichen Dienste wurden weitgehend unterbrochen, rund 200 wichtige Industrieanlagen überschwemmt und in einigen Fällen für mehrere Wochen stillgelegt. Die Verluste — ohne den Schaden an den Küstenschutzwerken — werden auf 30 Millionen Pfund Sterling geschätzt.

Zur Untersuchung der Ursachen der Sturmflut und der daraus zu ziehenden Folgerungen wurde am 28. April 1953 in England vom Staatsminister für Inneres, dem Staatsminister für Schottland, dem Minister für Wohnungswesen und Gemeindeverwaltung und dem Minister für Landwirtschaft und Fischerei eine Kommission unter Leitung von Lord Waverly zur Bearbeitung folgender Aufgaben einberufen:

- I. die Ursachen der jüngsten Sturmfluten und die Möglichkeiten einer Wiederkehr in Großbritannien zu untersuchen;
- II. zu erwägen, welche Sicherheitsgrenze für Küstenschutzwerke im Hinblick einerseits auf die geschätzten möglichen Gefahren und andererseits auf die Kosten von Schutzmaßnahmen angemessen und praktisch sein würde;
- III. zu erwägen, ob irgendwelche weiteren Maßnahmen — ein Warnsystem oder anderes — ergriffen werden sollten, um die Gefahr für Menschenleben und schweren Eigentumsschaden herabzusetzen;
- IV. die aus der Katastrophe zu ziehenden Lehren sowie die verwaltungsmäßige und finanzielle Verantwortung der verschiedenen für den Bau, die Unterhaltung und die bei Beschädigungen nötige Instandsetzung der Küstenschutzwerke in Betracht kommenden Körperschaften kritisch zu beurteilen und Empfehlungen zu unterbreiten.

Der Bericht (Report of the DEPARTMENTAL COMMITTEE ON COASTAL FLOODING) ist am 21. April 1954 erstattet worden und wird im folgenden mit Genehmigung von HER BRITANNIC MAJESTY'S STATIONERY OFFICE teils in auszugsweiser Übersetzung, teils in Zusammenfassung gebracht¹⁾.

Zu I. Die Ursachen der Sturmflut

Die Sturmflut wurde hervorgerufen durch das Zusammenwirken eines recht hohen, astronomisch bedingten Hochwassers mit einem sehr hohen Anstieg des Meeresspiegels, der sich vorwiegend aus den außerordentlich starken Winden über der Nordsee und ihren nördlichen Zugängen ergab. Beide Erscheinungen hatten in bezug auf ihre physikalische Entstehung keinen Zusammenhang miteinander. Ein derartiger, von der gewöhnlichen Tide unabhängiger Anstieg des Meeresspiegels wird seit 1928 in England als „surge“ bezeichnet. Die maximale „surge“-Höhe trat 3½ Stunden vor dem vorausberechneten Tidehochwasser auf. Die nördlichen Winde über den westlichen und mittleren Teilen der Nordsee trugen wesentlich zur Surge entlang der ganzen Ostküste Englands bei. Die Windstärke übertraf alle bisherigen Beobachtungen, und die Maximalhöhe der Surge entlang der Küste von Wash bis zur Themse lieferte mit über 2,70 m ebenfalls einen neuen Höchstwert für eine Surge, die so kurz vor dem Zeitpunkt des Tidehochwassers auftrat.

¹⁾ Für dieses freundliche Entgegenkommen sei auch an dieser Stelle bestens gedankt.

Irgendeine Periodizität für das Auftreten eines derartigen Zusammentreffens der Erscheinungen ist nicht nachzuweisen. Ein Zusammentreffen von Surge und Tide wie am 31. 1./1. 2. 1953 braucht für viele Jahre nicht wieder vorzukommen, kann aber schon im nächsten Winter auftreten.

Eine „Surge“ ist hauptsächlich die Folge starker Winde, die das Oberflächenwasser des Meeres vorwärtstreiben. Die sich ergebende Bewegung ist als „Winddrift“ bekannt. Infolge verschiedener Stärke der Winddrift auf verschiedenen Teilen des Meeres können sich eine Anhäufung von Wasser in einem bestimmten Gebiet oder in einem anderen eine Wasserabnahme einstellen. Solche Anhäufung tritt in Küstennähe auf, wenn die Winddrift auf eine Küste gerichtet ist, während sich eine Abnahme in Küstennähe dann ereignet, wenn die Winddrift von jener Küste weggerichtet ist. Unmittelbar vor der Surge vom Januar 1953 hatten die nördlichen Winde über dem westlichen und mittleren Teil der Nordsee eine Rekordstärke. Kleinere Wasseranhäufungen und -abnahmen können außerdem durch den Wechsel des Luftdruckes von einem Meeresteil zum anderen verursacht werden. Das Wasser wird aus einem Gebiet hohen Luftdruckes in ein Gebiet niedrigen Luftdruckes gedrängt. Die Zentren tiefen Luftdruckes, die sich südostwärts über die Nordsee hin verlagern, waren oft mit solchen Surges verbunden, wie es auch 1953 der Fall gewesen ist.

Wenn sich einmal eine Anhäufung oder Abnahme von Wasser in irgendeinem Gebiet ereignet hat, sei es als Folge der gezeitenerzeugenden oder der atmosphärischen Kräfte, pflanzt sie sich nach den gleichen Gesetzen der Mechanik fort. Beispielsweise wandert eine im nördlichen Teil der Nordsee entstandene Surge in den südlichen Teil und die Flußmündungen hinauf wie die Tide. Die Hochwasser sowohl der Gezeit als auch einer Surge brauchen etwa zwölf Stunden, um vom Nordosten Schottlands zur Themsemündung zu wandern. Infolge der Erdumdrehung wird das Wasser von den Gezeitenströmen und der Winddrift aus nach rechts abgelenkt, und deshalb sind beim Wandern der Hochwasser nach Süden die Wasserhöhen von Gezeitenwelle und Surge an der Ostküste Englands höher als anderswo. Gezeit und Surge werden teilweise von der Küste am Südende der Nordsee reflektiert, und bei der nördlichen Bewegungsrichtung treten die höchsten Wasserstände an der holländischen Küste auf. Demgemäß liegen die Hauptunterschiede zwischen Gezeiten und Surge darin, daß bei den Gezeiten Niedrigwasser und Hochwasser in Zeitabständen von etwas über sechs Stunden aufeinanderfolgen, wogegen es bei einer Surge keine derartige Periodizität in der Reihenfolge der Wasserstände gibt.

Die physikalischen Ursachen von Gezeiten und Surge sind völlig ohne Beziehung zueinander, so daß die größte eine Surge erzeugende Kraft zu jedem Zeitpunkt der Tide entstehen kann. Aber es ergibt sich zwischen beiden eine physikalische Wechselwirkung, so daß ihre Vereinigung keine einfache Überlagerung darstellt. Bei gleichbleibenden Bedingungen verändert sich der auf der Meeresoberfläche vom Wind erzeugte „Stau“ im umgekehrten Verhältnis zur Gesamt-Wassertiefe unter dem Wind, so daß der Stau der Wasseroberfläche bei Hochwasser etwas niedriger ist als bei Niedrigwasser. Ähnliche allgemeine Folgerungen ergeben sich aus einer Betrachtung der Reibungskräfte am Meeresboden. Die höchsten beobachteten Surges haben ihre größte Höhe (über 10 Fuß = 3,05 m) erreicht, wenn die Gezeiten näher zum Niedrigwasser als zum Hochwasser waren. Die höchsten Wasserstände werden sich ergeben, wenn das Maximum der Surge gerade zur Zeit des Hochwassers bei hoher Springtide eintritt. Es ergibt sich deshalb die Frage, ob es möglich ist, daß eine Surge, die der höchsten bisher aufgezeichneten gleich ist, zur selben Zeit wie das Hochwasser einer hohen Springtide auftreten kann. Das genaue Wesen der gegenseitigen Beeinflussung von Gezeit und Surge ist noch nicht völlig erkannt und deshalb einer der Punkte, an denen die Forschung sofort angesetzt werden sollte. Für den Augenblick kann nur angenommen werden, daß es möglich ist (wenn auch mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit), daß alle ungünstigsten Faktoren gleichzeitig eintreten können. Die Sturmflut vom Januar 1953 trat nicht bei Hochwasser auf und traf nicht mit den höchsten Springtiden zusammen. Die auf den Tidewasserstand aufgesetzte Surge hatte eine Maximalhöhe von etwa 9 Fuß (2,75 m), aber sie stellt nicht die höchste bisher aufgezeichnete Surge dar;

am höchsten war bisher jedoch die Gesamthöhe von Tide und Surge zusammen. Hätten alle widrigen Faktoren nebeneinander bestehen können — d. h. eine Surge größten Ausmaßes, aufgesetzt auf ein Hochwasser höchster Springtiden —, so hätte der Wasserstand um mehrere Fuß höher werden können, als er im Januar 1953 war. In jedem der unten in Tabelle I aufgeführten Fälle traten das Maximum der Surge und das Maximum der Tide zu verschiedenen Zeiten ein, so daß die Zahlen in der vierten Spalte nicht die Summe der entsprechenden Zahlen der Spalten 2 und 3 darstellen. Die Tabelle wurde von Commander Farquharson vom Hydrographic Department of the Admiralty aufgestellt und bezieht sich auf die Wasserstände von Sheerness oder Southend.

Tabelle I

Datum	Höchste Surgehöhe		Höchste Hochwasserhöhe über NN (Newlyn)		Höchster erreichter Wasserstand über NN (Newlyn)	
	in Fuß / in m		in Fuß / in m		in Fuß / in m	
November 1897	7,0	2,14	8,2	2,50	13,6	4,15
Januar 1928	5,4	1,65	8,3	2,53	13,6	4,15
Februar 1938	6,5	1,98	7,7	2,35	13,7	4,18
März 1949	7,5	2,29	8,1	2,47	13,8	4,21
Januar 1953	8,5	2,60	8,3	2,53	15,4	4,70

Seit mehr als hundert Jahren ist ein stetes Anwachsen der höchsten Wasserstände bei außergewöhnlichen Stürmen und eine zunehmende Häufigkeit solcher Wasserstände zu verzeichnen. Die Tabelle II — aus derselben Quelle — bezieht sich ebenfalls auf Wasserstände bei Sheerness oder Southend.

Tabelle II

Zeitraum	Höhen über NN (Newlyn)		
	11 3,55	12 3,66	13 3,96 m
Häufigkeit			
1820—1839	6	1	0
1839—1858	6	2	0
1858—1877	Aufzeichnungen fehlen		
1877—1896	15	1	0
1896—1915	16	4	1
1915—1934	12	2	1
1934—1953	39	9	4

Es kann mit Sicherheit behauptet werden, daß die zunehmende Häufigkeit bestimmt nicht die Folge irgendeiner merkbaren Veränderung der Gezeiten selbst ist. Ein Teil dieser in der Tabelle aufgezeigten Zunahmen ist die Folge eines steten Anstiegs des mittleren Wasserstandes in bezug zum Land an den Küsten Süd- und Südostenglands; dieser Anstieg beträgt etwa 1 Fuß (0,305 m) in hundert Jahren. Das reicht jedoch nicht aus, die im Januar 1953 erreichten Wasserstände zu erklären, die sich aus den außergewöhnlichen Umständen ergaben.

Bei gleicher Verteilung und Folge der Winde und Luftdrucke wäre die Katastrophe noch schlimmer gewesen, wenn

1. der Zeitpunkt der maximalen Höhe der Surge näher am Zeitpunkt des astronomischen Tidehochwassers gelegen hätte oder
2. das astronomische Tidehochwasser ebenso hoch gewesen wäre, wie es vierzehn Tage vorher und hinterher war; oder
3. die Flüsse mehr Oberwasser geführt hätten.

Die Gefahr für die Küstenschutzwerke ist nicht auf den durch Zusammenwirken von Tide und Surge erzeugten Hochwasserstand allein begrenzt. Die für Surges günstigen meteorologischen Verhältnisse sind geeignet, große Wellen zu erzeugen, und die Wirkung solcher Wellen auf die Schutzwerke kann katastrophal sein. Wellen an der Ostküste sollen Höhen von mehr als 16 Fuß (4,88 m) erreicht haben. Prallen die Wellen gegen eine Wand, so verursacht der Aufprall einen großen Druck auf die Wand; für die Ostküste sind Drucke bis zu zwei oder gar drei Tonnen je Quadratfuß geschätzt worden. Das Wasser steigt höher als die Kämme auf See, und Spritzer erreichen eine noch größere Höhe, so daß sie weit über die Wand geschleudert werden können. Es ist erwiesen, daß 1953 ein großer Teil der Beschädigungen an den Schutzwerken durch Wellenstoß verursacht wurde. Die Wirkung des Wellenstoßes ist deshalb ein wichtiger Faktor, der beim Entwurf von Küstenschutzwerken berücksichtigt werden sollte.

Der ozeanographische Unterausschuß, bestehend aus den Herren J. PROUDTMAN, G. M. B. DOBSON, C. C. INGLIS und J. A. STEERS hat für die Untersuchung und Voraussage von Surges folgende Empfehlungen gegeben:

A. Aufstellung von Tidepegeln in

Aberdeen	Immingham	Leith
Lowestoft	Tyne entrance	Harwich

für die Durchführung des Sturmflutwarndienstes.

Diese Pegel sollten so ausgebildet werden, daß sie die höchsten und niedrigsten Wasserstände anzeigen und selbst bei schwersten Stürmen betriebssicher bleiben. Der Höhenmaßstab sollte nicht geringer sein als 1 : 48 und der Zeitmaßstab nicht kleiner als 12,6 mm für eine Stunde.

B. Aufstellung von 32 weiteren Pegeln an den Küsten Englands sowie — im Falle des Einverständnisses der maßgebenden Stellen — von fünf Pegeln an den Küsten Irlands zum Zwecke der ozeanographischen Forschung.

C. Die Durchführung der nachstehenden Forschungen:

1. Analyse der Tideaufzeichnungen für diejenigen Stationen, bei denen stündliche Ablesungen für den Warndienst erforderlich sind.
2. Forschen nach empirischen Formeln, nach denen Surges an den unter A. genannten und weiteren Pegeln so weit wie möglich vorausgesagt werden können.
3. Untersuchungen der Surge-Schwingungen, die bei den genannten Pegeln vorkommen, um ihre Beziehung zum Zeitpunkt und zur Höhe der maximalen Surge zu finden.
4. Untersuchungen der Wechselwirkung zwischen Tide und Surge.
5. Forschen nach Formeln, die es ermöglichen, vom Atlantischen Ozean hereinflaufende Surges, wie sie in Aberdeen gemessen werden, aus meteorologischen Daten vorauszusagen.
6. Durchführung von Untersuchungen an Surges im Englischen Kanal, Bristolkanal und in der Irischen See, ähnlich denjenigen, die bereits für Surges in der Nordsee durchgeführt wurden.
7. Art, Umfang und Gang der Reaktion der Meeresoberfläche auf Winde verschiedener

Stärke, Dauer und Streichlänge sowie die Veränderung langer Wellen und Surges im flachen Wasser.

8. Untersuchung der freien und erzwungenen Schwingungen, die in der Nordsee möglich sind.

„Wir empfehlen, daß die Untersuchung der Punkte 1 bis 6 vom Liverpool Observatory and Tidal Institute und die der Punkte 7 und 8 vom National Institute of Oceanography durchgeführt werden, und zwar in allen Fällen unter Fühlungnahme mit dem Meteorological Office.“

Zu II. Küstenschutz

In England gehört zum Verantwortungsbereich

- a) der River Boards (Flußämter) der Schutz niedrig gelegener Ländereien gegen Überschwemmungen,
- b) der Küstenschutzbehörden der Schutz von Städten und Dörfern, welche über HHThw liegen, sowie die Verhütung von Erosion.

Die Ausgaben für das zu schützende Eigentum müssen durch den zu ziehenden Nutzen gerechtfertigt sein. Die Bauart der Schutzwerke soll den landschaftlichen Reiz der Wasserkante berücksichtigen, die den Gemeinden Einkünfte bringt.

Der Küstenschutz gliedert sich in natürlichen Schutz durch Dünen und Strand und in solchen durch künstliche Bauwerke (Deiche, Strandmauern, Buhnen usw.).

Der natürliche Schutz durch Dünen kann durch künstliche Anpflanzung von Gräsern, Sträuchern und Bäumen verstärkt werden. Der meist aus Kies bestehende Strand kann gegen Abtrag oder zur Förderung des Anwachsens durch ausgedehnte Buhnensysteme beeinflusst werden, deren Erfolg von den örtlichen Verhältnissen, den Winden, den Tideströmungen, der Brandung, der Art und Wanderung des Strand- und Unterwassermaterials, der Länge, dem Abstand, der Bauweise der Buhnen abhängt, wobei auch die Lee-Erosion eine wesentliche Rolle spielt.

Es wird offen anerkannt, daß die Wirkungsweise solcher Buhnensysteme noch äußerst komplex ist und daß es regelmäßiger Messungen durch die Flußämter und Küstenschutzbehörden bedarf, um in gemeinsamer Arbeit mit dem Hydraulic Research, den Universitätsinstituten und anderen Körperschaften dieses Problem zu lösen.

In Anerkennung der von den Ingenieuren empfohlenen technischen Ausführung des Küstenschutzes gibt die Kommission lediglich folgende Empfehlungen:

Die Herstellung bzw. Wiederherstellung von zweiten Verteidigungslinien sowie von Querdeichen, wodurch die Überflutung gefährdeter Niederungen beschränkt werden kann.

Die Schaffung von baulichen Anlagen, die es gestatten, bei Sturmfluten in die Niederungen eingedrungene Wassermengen (durch Überschwappen von Wellen oder durch Deichbrüche) bei Niedrigwasser schnellstens wieder abzuführen.

Die Herstellung von Überlaufpoldern an der Küste oder in den Unterläufen der Flüsse, um Überschwemmungen wertvollen Eigentums in den Oberläufen zu verhüten.

Die Anlage ausreichender Zuwegungen zu den Verteidigungsanlagen.

An gewissen Orten muß das Risiko einer Überflutung in Kauf genommen werden, da der Geldaufwand für eine Erhöhung der Verteidigungsanlagen in keinem Verhältnis zu dem Wert des zu schützenden Eigentums steht oder die Beschaffenheit des Untergrundes keine zusätzliche Belastung verträgt. In diesen Fällen sollte durch Versuche festgestellt werden, ob eine Abdeckung der Außen- und Innenböschungen sowie der Krone von Deichen durch Asphaltbeton als zweckmäßig anzusehen ist.

Zum Schluß dieses Abschnittes wird ausdrücklich darauf hingewiesen, daß eine vernünftige

Koordinierung der Küstenforschung durch Schaffung ständiger beratender Ausschüsse erwogen werden sollte. Vorgeschlagen werden zwei Ausschüsse, der eine zur Erfassung der ozeanographischen und meteorologischen Forschungen und der zweite zur Erfassung der mit der Verbesserung der Küstenverteidigung beschäftigten Forschung. In diesem Zusammenhang wird erwähnt, daß nach Mitteilung von Dr. VAN VEEN, dem Hoofdingenieur des Rijkswaterstaat, ähnliche Forschungen in den Niederlanden durchgeführt werden. Die Berichterstatter sind der Ansicht, daß aus einer engen Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern, Ingenieuren und Regierungen auf beiden Seiten der Nordsee ein großer Nutzen erwachsen würde.

Sicherheit

Die Sturmflut vom 31. Januar/1. Februar 1953 ist bisher die höchste bekannte Sturmflut an der Südostküste Englands gewesen. Aus der Tabelle II (auf Seite 72) ist ferner zu entnehmen, daß die Höhe und die Häufigkeit der Sturmfluten seit etwa 125 Jahren zugenommen hat. Die Kommission schlägt im Hinblick auf diese beiden Tatsachen vor, den Küstenschutz allgemein auf den am 31. 1./1. 2. 1953 erreichten Wasserstand (Hochwasser plus Surge) auszurichten. Jedoch sollten bei der praktischen Anwendung dieser Norm die jeweilige Örtlichkeit wie die Lage, die Gestalt und Richtung der Küste, die wellenbildende Strecke der wahrscheinlichsten Sturmrichtung, die Höhe und Neigung des Strandes, die Wassertiefe an der Küste und andere örtliche Gegebenheiten berücksichtigt werden.

Das höchste Schutzmaß sollte dort angewendet werden, wo eine Überschwemmung zu schwerem Schaden an Eigentum von hohem Wert führen würde, wie bei wertvollen Industrieanlagen oder Wohngebieten, oder wo ein großes Gebiet hochwertigen Ackerlandes betroffen würde. Für andere Gebiete, wo der zu schützende Eigentumswert eine derart große Ausgabe nicht ausreichend rechtfertigt, sollte die Norm gelten, die vor der Januar-Sturmflut 1953 nach vernünftigen Erwägungen für angemessen gehalten wurde.

Diese Vorschläge schließen nicht aus, daß dort, wo das zu schützende Eigentum von außergewöhnlichem Wert ist, eine noch höhere Norm angewandt wird. Doch sollte jeder, der solch höhere Norm fordert, billigerweise selbst dafür bezahlen. Wo der Wert des zu schützenden Gebietes auffallend unter dem allgemeinen Durchschnitt liegt, ist die Möglichkeit einer niedrigeren Norm nicht auszuschließen. Zerstörte Schutzwerke sollten aber auf jeden Fall in der früheren Höhe wiederhergestellt werden, um „jeden Bruch im Vertrauen der Öffentlichkeit zu vermeiden“.

Zu III. Warndienst

Da die Sturmflut vom 31. 1./1. 2. 1953 nur die Ostküste Englands betroffen hat, wird empfohlen, den Warndienst gegenwärtig auf den Osten Englands zwischen Northumberland und Kent zu beschränken, aber gleichzeitig zu untersuchen, ob im Englischen Kanal, im Bristol-Kanal und in der Irischen See Surges auftreten können, die eine Ausdehnung des Warndienstes auf die Küsten dieser Gebiete erforderlich machen.

In der Annahme, daß eine Surge während der Nipptide vernachlässigt werden könnte, hat der nach der Sturmflut eingerichtete Warndienst nur während der Springtide gearbeitet. Da jedoch an gewissen Stellen der Ostküste der Höhenunterschied zwischen Spring- und Nipp-tide gering ist, so daß eine Surge auch während der Nippzeit Schaden anrichten kann, sollte der Warndienst in Zukunft unabhängig von der Art der Tide arbeiten. Abnorm hohe Wasserstände sind zwischen dem 15. September und dem 30. April am wahrscheinlichsten.

Die Meteorologen können die für eine Surge günstigen Bedingungen voraussagen, aber sie können nicht angeben, welche Höhe die Surge erreichen wird. Dies können nur die Hydro-

graphen sagen, indem sie ihre vorausberechneten Tidehöhen mit den tatsächlichen Wasserständen vergleichen, die von den Hafenmeistern gemeldet werden. Es ist klar, daß die beiden Arbeitsvorgänge, der meteorologische und der hydrographische, miteinander verbunden werden müssen.

Da das Meteorologische Institut (C.F.O. = Central Forecasting Office in Dunstable) und der Gezeitendienst (Tidal Branch of the Hydrographic Department in Cricklewood) an verschiedenen Orten liegen und das Wetteramt über die nötigen Nachrichtenmittel verfügt, wird vorgeschlagen, daß die Zusammenfassung der meteorologischen und hydrographischen Untersuchungen während der ganzen Warnzeit beim C.F.O. liegt und ein Beamter des Gezeitendienstes sich mit dem erforderlichen Arbeitsstab für die Dauer der Warnperiode in Dunstable befindet. Während dieser Zeit müßten auch Leute zum Ablesen der für den Warndienst vorgeschlagenen Pegel zur Verfügung stehen, die bei Tag und Nacht innerhalb von drei Stunden bereit sein müssen.

Aus den Pegelaufzeichnungen geht hervor, daß die Scheitel vieler Surges mit etwa der gleichen Geschwindigkeit südwärts entlang der Ostküste von Großbritannien wandern wie der Scheitel der astronomischen Tide. Diese Tatsache stimmt mit der theoretischen Aussage überein, nach der die in einem bestimmten Bereich infolge der atmosphärischen Verhältnisse entstandene Surge zu einer Welle wird, die nach den gleichen Gesetzen fortschreitet wie eine Tidewelle. Aber die andauernde Wirkung der Winde beeinflußt die entstehende Surge während ihres Fortschreitens, so daß sowohl ihre Höhe, als auch der Zeitpunkt ihres Auftretens verändert werden können.

Als ein Ergebnis der Untersuchung früherer Surges hat der verstorbene Dr. CORKAN vom Liverpool Observatory and Tidal Institute empirische Regeln entwickelt, die es ermöglichen, eine ungefähre Voraussage für den Zeitpunkt und die Höhe einer Surge vor der Themsemündung auf Grund folgender Faktoren zu machen:

1. Beobachtung oder Vorhersage früherer Winde über dem Nordteil der Nordsee,
2. Vorhersage über Winde und Luftdrucke über dem südlichen Teil der Nordsee und
3. Pegelaufzeichnungen von der Ostküste Schottlands.

Diese Regeln sind in mancherlei Hinsicht sicher unvollständig, aber die ausführlicheren Untersuchungen, die vorher empfohlen worden sind, dürften sie vervollständigen.

Zusammenfassend wird für den Warndienst an der Ostküste Englands unter anderem Folgendes empfohlen:

a) Auf Grund der Berichte der Hafenmeister und der meteorologischen Informationen sollten Wasserstandsvoraussagen von dem Hydrographen im C.F.O. vorgenommen werden.

b) Jedes Flußamt sollte unter Fühlungnahme mit anderen interessierten Stellen unter Auswertung seiner Ortskenntnis entscheiden, bei welchem Wasserstand es die Informationen des C.F.O. benötigt. Wenn dieser Stand wahrscheinlich erreicht wird, sollte das Flußamt benachrichtigt werden. Die Meldung sollte in regelmäßigen Zeitabständen mit den neuesten Vorhersagen wiederholt werden.

c) Zur selben Zeit, zu der die Meldung an die Flußämter gesandt wird, sollte sie auch der Kreispolizei übermittelt werden.

d) Die Kreispolizei sollte nach Empfang einer Meldung vom C.F.O. diese an die örtlichen Behörden und andere Stellen weitergeben.

e) Allen telefonisch gegebenen Sturmflutwarnungen der Polizei, der Flußämter, der Hafenbehörden und örtlichen Stellen sollte ein lokaler Vorrang gegeben werden.

f) Das Flußamt sollte die Information unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse auswerten und, wenn es für ratsam erachtet wird, die Polizei unterrichten, daß nach Ansicht des Flußamtes eine öffentliche Warnung auszugeben ist.

g) Örtliche Regelungen sollten in jedem Flußamtsbezirk unter Fühlungnahme mit der Polizei und den zuständigen Ortsbehörden im voraus ausgearbeitet werden.

h) Eine Veröffentlichung von Sturmwarnungen durch den Rundfunk wird abgelehnt, da eine Warnung im allgemeinen nur für gewisse Teile des Landes erforderlich sein, eine Warnung über den Rundfunk aber das ganze Land erreichen und dieses unnötig beunruhigen würde. Außerdem würde eine Nachtwarnung des Rundfunks unwirksam sein, da die Empfangsgeräte dann abgeschaltet zu sein pflegen.

Der umfangreiche Bericht, der im übrigen auf zahlreiche Einzelfragen der Organisation des Küstenschutzes und auf die Notwendigkeit stärkerer Zusammenfassung der zuständigen Behörden eingeht, ist unterzeichnet von den Herren:

WAVERLEY (Chairman).
G. M. B. DOBSON.
Donald FERGUSON.
R. D. GWYTHYR.
C. C. INGLIS.
R. G. LEACH.
Baisl NEVEN-SPENCE.
J. PROUDMAN.
A. S. QUARTERMAINE.
DE RAMSEY.
J. A. STEERS.
Miles THOMAS.
J. C. WRIGLEY.
T. YATES.

H. H. BROWNE.
J. E. MAHER.
(Secretaries).
21. April 1954.

Was lehrt uns die Holland-Sturmflut 1953 ¹⁾

Von Gerhard Tomczak

Inhalt

1. Die Schäden	78
2. Die Wasserstände	79
3. Die Wetterlage	82
4. Die beobachteten meteorologischen Extremwerte	86
5. Der Aufbau der Sturmflut in der Nordsee	87
6. Die Ursachen der Deichbrüche	90
7. Voraussage der Sturmfluthöhen	91
8. Möglichkeit hoher Wasserstände an der deutschen Nordseeküste	92
9. Sturmfluten im Dezember 1954	93
10. Schriftenverzeichnis	94

1. Die Schäden

Während frühere Generationen von Naturkatastrophen in anderen Ländern oft erst sehr verspätet oder auch gar nicht hörten, erfahren wir heute infolge der modernen Nachrichtentechnik auch von den entferntesten Ereignissen in kurzer Zeit. An Hand von Augenzeugenberichten oder Reportagen werden unsere Sinne fast allwöchentlich mit neuen Eindrücken von schweren Schäden belastet, die durch Erdbeben, Taifune, Hurricane, Wolkenbrüche, Lawinen und manches andere mehr überall in der Welt hervorgerufen werden. Das einzelne, in der Öffentlichkeit zunächst als „Sensation“ empfundene Ereignis tritt dadurch schnell wieder hinter anderem zurück. Ich möchte deshalb die von dem sogenannten „Holland-Orkan“ hervorgerufenen Schäden und Verluste in wenigen Zahlen in unsere Erinnerung zurückrufen. Bevor der Orkan in der Nacht vom 31. Januar zum 1. Februar 1953 die Küsten der südwestlichen Nordsee erreichte, hatte er schon eine schwere Schiffskatastrophe im Seegebiet zwischen Schottland und Irland verursacht. Das Eisenbahnfährschiff „Princess Victoria“ (2700 BRT) hatte kurze Zeit nach dem Auslaufen aus dem schottischen Hafen in schwerer See durch Wassereinbruch Schlagseite bekommen und war nach mehrstündigem verzweifelten Kampf der Mannschaft gesunken, ohne daß es den zu Hilfe geeilten Schiffen gelungen war, eine größere Zahl von Passagieren zu retten. 128 Menschen fanden den Tod in der See. Auf seinem weiteren Weg zur Nordsee verursachte der Orkan dann in den ausgedehnten Wäldern Schottlands einen Forstschaden von einem bis dahin nie dagewesenen Ausmaß. Etwa 30 % des Baumbestandes Schottlands wurden vernichtet. In dem dann auf das Gebiet der Nordsee übergreifenden Sturm gingen weiter mehrere Fischdampfer und Küstenfahrzeuge verloren. Und schließlich trat darauf an den Küsten von Südostengland, Belgien und Holland die Sturmflutkatastrophe ein, mit der wir uns an dieser Stelle noch einmal näher befassen wollen.

Abbildung 1 (vgl. S. 179 und Abb. 16 u. 17) gibt noch einmal einen Überblick über die in Holland von der Überschwemmung betroffenen Gebiete. Vierhundert Deichbrüche, davon 38 schwerwiegende Durchbrüche durch die Küstenbefestigungen, sind darin eingezeichnet. Einige von ih-

¹⁾ Vortrag, gehalten am 18. 3. 1955 in Husum anlässlich einer Veranstaltung des Bundes der Wasser- und Kulturbauingenieure, Bezirksgruppe Husum.

Die Abbildungen 1—18 wurden den im Literaturverzeichnis angegebenen Veröffentlichungen entnommen. Für Abb. 21 stellte das Seewetteramt Hamburg des Deutschen Wetterdienstes freundlicherweise Arbeitswetterkarten zur Verfügung.

nen, die teils erst nach Wochen geschlossen werden konnten, rissen den Boden bis in große Tiefen fort. Der schwerste Bruch, auf der Insel Schouwen-Duiveland gelegen, erreichte eine Breite von 300 m und eine Tiefe von 35 m. Die Größe des auf Abbildung 1 dunkel eingezeichneten überströmten Landes betrug 160 000 ha; davon waren 130 000 ha wertvoller Kulturboden. Als im Jahre 1916 die Deiche in Nordholland brachen, waren es „nur“ 25 000 ha gewesen, die überflutet wurden; und selbst bei der historisch bekannten St. Elisabethsflut im Jahre 1421 sollen es nur 45 000 ha gewesen sein. Bei der Größe des 1953 überschwemmten Gebietes, das Vierfache dessen von 1421, möchte einem die Zahl der Toten, die in Holland etwa 1800 betrug, fast gering erscheinen. Aber wer hätte geglaubt, daß eine solche Zahl bei dem Stand der modernen Technik und Nachrichtenmittel überhaupt noch möglich ist? Die Zahl ist für unsere Verhältnisse erschreckend hoch und wesentlich wohl darauf zurückzuführen, daß die Menschen ahnungslos im Schlaf von dem eindringenden Wasser überrascht wurden. Die Menschen waren zu sicher geworden hinter den Deichen. Der Warn- und Schutzdienst hatte offenbar nicht die Schlagkraft, die er bei ständiger Bereitschaft hätte haben müssen. Die Verluste an Vieh betragen mehrere Zehntausend; ebenso wurden Zehntausende von Wohnungen zerstört oder schwerstens beschädigt. 600 000 Menschen mußten vorübergehend ausgesiedelt werden, 75 000 von ihnen auf längere Zeit.

In England betrug die Zahl der Toten etwa 300. Dort wurden 60 000 ha, in Belgien 10 000 ha überflutet. Gas- und Elektrizitätswerke wurden außer Betrieb gesetzt, der Schienen- und Straßenverkehr empfindlich lahmgelegt. Großer Schaden entstand vor allem in England durch Überschwemmung mehrerer industrieller Betriebe, darunter zweier im Bau befindlicher Ölraffinerien, und in Belgien im Hafen von Antwerpen, wo das Wasser 85 cm über die Kaimauern gestiegen war und in den Lagerschuppen gestapelte Waren vernichtete oder beschädigte.

Wir wollen uns nun der Betrachtung der Sturmflut im einzelnen zuwenden. Dabei sei zunächst ein Überblick über die an der holländischen Küste aufgetretenen Sturmfluthöhen gegeben, anschließend die meteorologische Situation erörtert, die zu dieser Sturmflut führte, und schließlich soll versucht werden, einige Schlußfolgerungen für unsere Lage an den Küsten der Deutschen Bucht zu ziehen.

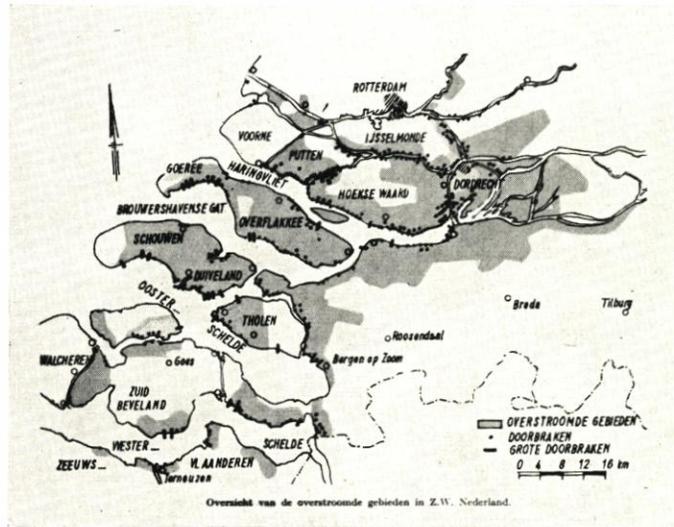


Abb. 1. Übersicht über das von der Überschwemmung betroffene Gebiet an der holländischen Küste
[Aus: MARIS (3)]

2. Die Wasserstände

Abbildung 2 zeigt einige Wasserstandskurven, und zwar von Vlissingen und Hoek van Holland. Die dicke Kurve gibt jeweils den beobachteten Wasserstandsverlauf wieder, die darunter befindliche dünne Linie zeigt den berechneten Gezeitenverlauf. Im unteren Bildteil verläuft die sogenannte „Windstaukurve“. Sie ist aus der Differenz von vorausberechnetem

und beobachtetem Wasserstand gewonnen worden. Die genannten beiden Orte wurden gewählt, weil sie ganz verschiedene Gezeitenkurven, dennoch aber völlig ähnliche Windstaukurven aufweisen. In Vlissingen tritt ein Springtidenhub von 4 bis 4,50 m auf. Nach dem Mittaghochwasser am 31. Januar verläuft die Ebbe noch normal. Allerdings tritt das Niedrigwasser bereits etwa 1,50 m erhöht ein. Während der nun folgenden Flut vergrößert sich der Windstau laufend und erreicht etwa zwei Stunden vor Hochwasser seinen größten Wert mit 3,10 m. Zur Hochwasserzeit hat er wieder auf 2,60 m abgenommen. Bei Hoek van Holland sieht die Wasserstandskurve dagegen ganz anders aus. Der nur schwache Tidefall von etwa 1,50 m, den man nach den Vorausberechnungen erwarten mußte, wird am Nachmittag des 31. Januar schon von dem in der südwestlichen Nordsee aufgestauten Wasser überdeckt. Der maximale Stau tritt infolgedessen hier zur Niedrigwasserzeit mit 3,30 m ein, nimmt danach allerdings nur wenig ab, so daß ein Sturmflutwasserstand von 3,85 m NAP beobachtet wird. Bei so verschiedenartigem Verlauf des Wasserstandes bei beiden Orten ist die Ähnlichkeit der Windstaukurven überraschend. Beginnend etwa gegen 6 Uhr am 31. Januar steigen sie achtzehn Stunden lang ziemlich gleichmäßig an und gehen erst nach anderthalb Tagen wieder auf Null zurück. Gerade diese Ähnlichkeit aber liefert den ersten Hinweis dafür — und die Betrachtung der Wetterlage wird es uns später bestätigen —, daß diese Sturmflut *im Ganzen* einen normalen Verlauf zeigte, wenn sie auch zu ungewöhnlich hohen Wasserstandswerten führte. Alle Versuche, die Sturmflut durch ein Seebeben, eine Bore, eine Flutwelle oder anders zu erklären, wie es insbesondere unmittelbar nach der

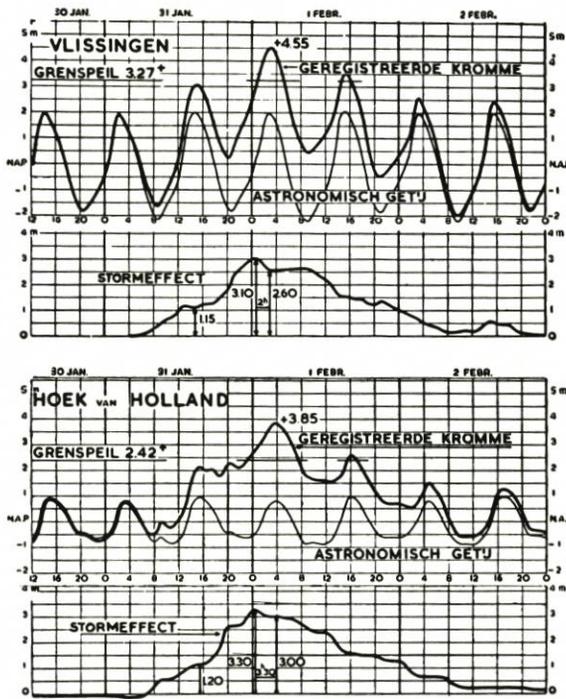


Abb. 2. Wasserstandskurven von Vlissingen und Hoek van Holland vom 30. Januar bis 2. Februar 1953
[Aus WEMELSFELDER (10)]

Sturmflut selbst in wissenschaftlichen Zeitschriften geschah, sind nicht haltbar.

Einen Überblick über den Verlauf des Wasserstandes entlang der ganzen niederländischen Küste beim Sturmfluthöchststand in der Nacht vom 31. Januar zum 1. Februar vermittelt Abbildung 3. Betrachten wir, um den richtigen Maßstab zu erhalten, zunächst die unterste Linie. Sie gibt die jeweilige Lage des mittleren Hochwassers (MThw) bei den angegebenen Orten wieder. Entsprechend dem großen Tidenhub von 4 m, liegt es im Westen des Landes, bei Vlissingen, verhältnismäßig hoch, nimmt dann nach Osten hin bis Den Helder ziemlich regelmäßig ab und steigt an den Küsten des Wattenmeeres mit zunehmendem Tidenhub wieder an. Die weiteren Linien stellen Häufigkeitswerte dar. Sie geben an, wie oft die entsprechenden Wasserstände in den vergangenen Jahrzehnten durchschnittlich im Jahr beobachtet wurden, beziehungsweise wahrscheinlich beobachtet worden wären, wenn die Registrierungen lange genug zurückreichen würden. Die Linie des sogenannten „Grenspeil“²⁾ mit der Häufigkeit 0,5 besagt also, daß dieser

²⁾ Durch Vereinbarung zwischen den holländischen Wasserbaubehörden und Hydrographen stellt dieser Wert für jeden Ort die Sturmflutgrenze („Grenspeil“) dar. Er variiert von Ort zu Ort, und zwar etwa zwischen 1,80 und 2,20 m über MThw.

gegen ganz anders aus. Der nur schwache Tidefall von etwa 1,50 m, den man nach den Vorausberechnungen erwarten mußte, wird am Nachmittag des 31. Januar schon von dem in der südwestlichen Nordsee aufgestauten Wasser überdeckt. Der maximale Stau tritt infolgedessen hier zur Niedrigwasserzeit mit 3,30 m ein, nimmt danach allerdings nur wenig ab, so daß ein Sturmflutwasserstand von 3,85 m NAP beobachtet wird. Bei so verschiedenartigem Verlauf des Wasserstandes bei beiden Orten ist die Ähnlichkeit der Windstaukurven überraschend. Beginnend etwa gegen 6 Uhr am 31. Januar steigen sie achtzehn Stunden lang ziemlich gleichmäßig an und gehen erst nach anderthalb Tagen wieder auf Null zurück. Gerade diese Ähnlichkeit aber liefert den ersten Hinweis dafür — und die Betrachtung der Wetterlage wird es uns später bestätigen —, daß diese Sturmflut *im Ganzen* einen normalen Verlauf zeigte, wenn sie auch zu ungewöhnlich hohen Wasserstandswerten führte. Alle Versuche, die Sturmflut durch ein Seebeben, eine Bore, eine Flutwelle oder anders zu erklären, wie es insbesondere unmittelbar nach der

Wasserstand durchschnittlich einmal alle zwei Jahre auftritt. Betrachten wir nun den Verlauf der Sturmflutwasserstände entlang der Küste (die dicke Linie in Abb. 3), so sehen wir, daß von Vlissingen bis Den Helder die Linie des *Grenspeil* um nahezu den gleichen Betrag von etwa 1,75 m überschritten wird. Weiter nach Osten hin sind mehrere Linien eingetragen. Die obere bezeichnet den Verlauf des Wasserstandes entlang der Festlandsküste, beginnend bei Den Oever am Abschlußdamm des IJsselmeeres bis hin zum Dollart. Die untere, gestrichelte Kurve entspricht den Stationen an der Südseite der westfriesischen Inseln. Die dazwischenliegende Kurve wurde für die Seeseite der Inseln entworfen. Man sieht, daß bis zum Abschlußdamm an der Festlandsküste der Wasserstand ebenfalls noch etwa 1,75 m über der Sturmflutgrenze liegt. Die Nordseeküste der vorgelagerten Inseln weist aber auch hier schon weniger hohe Wasserstände auf, ein Zeichen dafür, daß der Windstau auf dem flachen Wattenvorland noch erhöht worden ist. Östlich von Den Oever verläuft die Wasserstandslinie vom 1. Februar dann zur Linie des *Grenspeil* geneigt: die Sturmflut erreichte immer geringere Höhen. Im Dollart schließlich kann nach der Definition von einer Sturmflut gar nicht mehr gesprochen werden. Wie die Häufigkeitslinien 0.01 und 0.001 andeuten, entspricht die Wasserstandslinie vom 1. Februar im Katastrophengebiet etwa einer Wahrscheinlichkeit von einmal in 400 bis 600 Jahren. Die aus früheren Jahren bekannten Höchstwerte von 1825, 1894 und 1906 liegen heute bei einer durchschnittlichen Häufigkeit von einmal in 100 Jahren. Betrachten wir in Abbildung 4 in ähnlicher Weise noch kurz den Windstau entlang der holländischen Küste, und zwar für das Hochwasser I (HW I) am 31. Januar mittags, das Hochwasser II (HW II) in der Nacht zum 1. Februar und das darauffolgende, mit Hochwas-

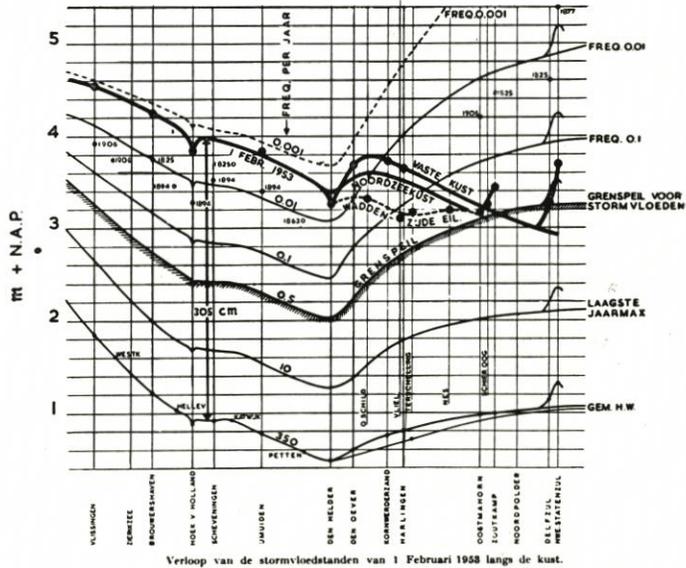


Abb. 3. Übersicht über die entlang der holländischen Küste beobachteten Wasserstände beim Sturmfluthochwasser [Aus: WEMELSFELDER (10)]

Het verloop van de opzet van HW I, HW II en HW III en van het maximale stormeffect. Wie die Häufigkeitslinien 0.01 und 0.001 andeuten, entspricht die Wasserstandslinie vom 1. Februar im Katastrophengebiet etwa einer Wahrscheinlichkeit von einmal in 400 bis 600 Jahren. Die aus früheren Jahren bekannten Höchstwerte von 1825, 1894 und 1906 liegen heute bei einer durchschnittlichen Häufigkeit von einmal in 100 Jahren. Betrachten wir in Abbildung 4 in ähnlicher Weise noch kurz den Windstau entlang der holländischen Küste, und zwar für das Hochwasser I (HW I) am 31. Januar mittags, das Hochwasser II (HW II) in der Nacht zum 1. Februar und das darauffolgende, mit Hochwas-

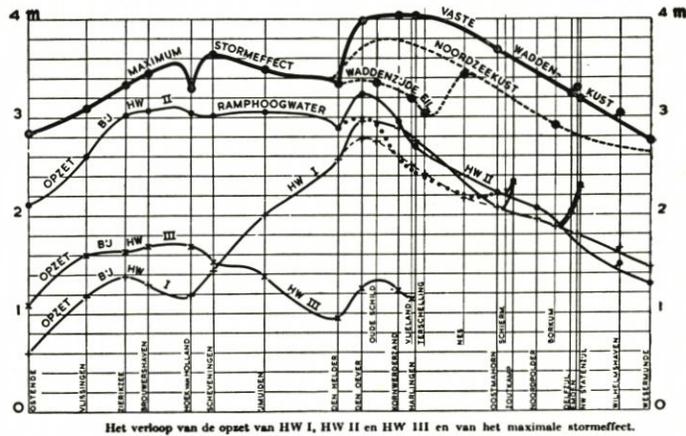


Abb. 4. Übersicht über die entlang der holländischen Küste beobachteten Windstauwerte während der Sturmfluten vom 31. Januar und 1. Februar 1953 [Aus: WEMELSFELDER (10)]

ser III (HW III) bezeichnete Mittagshochwasser. Im nordöstlichen Teil Hollands weisen das erste und das zweite Hochwasser gleichmäßig denselben Stau auf. Im Katastrophengebiet stellte das Mittagshochwasser am 31. Januar dagegen nur die Vorbereitung für den extremen Stau beim Nachthochwasser dar; der Windstau bei Hochwasser liegt dabei nur wenig unter dem maximal beobachteten Stau (40 bis 60 cm), während von Den Helder an ostwärts der maximale Stau 1 bis 1,50 m mehr betrug als zur Hochwasserzeit beobachtet wurde. Damit möchte ich den Überblick über die beobachteten Wasserstände zunächst beschließen und mich der Betrachtung der Sturmflutwetterlage zuwenden.

3. Die Wetterlage

Wir wollen dabei das Orkantief nicht nur auf seinem Weg über die Nordsee, in die es am 31. Januar vormittags eintrat, zurückverfolgen, sondern noch auf den Atlantischen Ozean hinaus, wo wir gewissermaßen seine Geburtsstunde miterleben können. In Abbildung 5 wollen

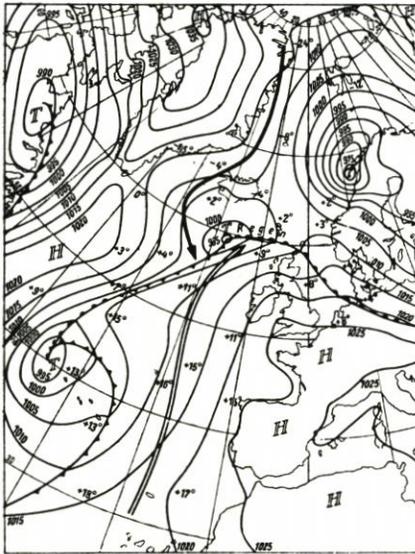


Abb. 5. Wetterlage vom 30. Januar 1953,
01 Uhr M.E.Z.

[Aus: RODEWALD (4)]

wir die Wetterlage am 30. Januar 01 Uhr morgens auf dem nördlichen Atlantik betrachten. Wir erkennen südlich von Island ein noch flaches Tief von 995 mb, das offenbar im Warmsektor des Tiefs bei den Azoren als sogenannte „Warmfrontwelle“ entstanden ist. 24 Stunden vorher war es auf der Wetterkarte noch nicht zu sehen. Das Azorentief lag damals noch etwa 8° nördlicher. Entsprechend der Strömung im Warmsektor hätte es eigentlich einen östlichen Kurs nehmen müssen. Durch den starken, einseitigen Druckgradienten auf seiner Rückseite war es aber nach Süden abgedrängt worden. Nur einem Teiltief war es gewissermaßen gelungen, der Strömung im Warmsektor zu folgen, eben jener in der Karte sichtbaren Welle bei etwa 60° N und 19° W. Wir können diesen Vorgang recht genau rekonstruieren, weil er gerade in der Nähe des dort stationierten Wetterschiffes „Weather Explorer“ vor sich ging. Die Druckregistrierung dieses Schiffes zeigt, daß anfänglich mit diesem neu entstandenen Tief gar nichts Besonderes los ist. Solche Warmfrontwellen beziehen ihre Energie fast immer einseitig aus dem Warmsektor. Sie laufen zwar meist sehr schnell, erschöpfen ihren Energievorrat aber bald und verlieren dann an Bedeutung. Etwas Ähnliches wäre wohl auch mit

unserem Tief hier geschehen. Betrachten wir nun aber die Wetterkarte. Darin sind zwei Pfeile eingezeichnet. Der eine, innerhalb des Warmsektors, kommt von Süden und zeigt an, daß die Vorderseite der Zyklone mit subtropischer Warmluft gespeist wurde, die im Ausgangspunkt Temperaturen von 18° aufweist. Der andere Pfeil aber macht deutlich, daß es dem Tief zum Zeitpunkt unserer Wetterkarte offenbar gelungen ist, den Kaltluftstrom anzuzapfen, der durch das Hoch über Grönland und das vor Nordnorwegen liegende Tief nach Süden gelenkt wird. Die Temperaturen im Ursprungsgebiet dieser Kaltluft liegen bei -24°. Auch nach ihrem langen Weg über das wärmere Wasser hat sich die Luft in der Nähe des Tiefs erst bis auf wenige Grade über Null erwärmt und weist damit immer noch einen Temperaturunterschied von 10° und mehr gegenüber der subtropischen Warmluft auf der Vorderseite der Zyklone auf. Unter dem Einfluß dieser gegensätzlich temperierten Luftmassen erhält nun das nach Osten ziehende Tief genügend Energie, um sich immer kräftiger zu verwirbeln. Dabei verliert es aber gleichzeitig seine hohe Zuggeschwindigkeit. Abbildung 6 zeigt die Wettersituation 24 Stunden später, am

31. Januar 01 Uhr. Das Tief hat sich inzwischen um 20 mb, auf 975 mb, vertieft. Es ist östlich gezogen und hat nur noch eine Geschwindigkeit von 30 km/h. Die Kaltluft ist jetzt bereits weit nach Süden vorgestoßen und engt den Warmsektor erheblich ein. Die Zufuhr frischer Warmluft aus subtropischen Gebieten hört auf. Damit ist das Tief auch schon bald auf dem Höhepunkt seiner Entwicklung angekommen. Wenig später erreicht es bei den Orkneys mit einem Kerndruck von 968 mb seinen tiefsten Wert. Auf seinem weiteren Weg durch die Nordsee vertieft es sich dann nicht mehr. Dafür treten aber zwei andere Ereignisse ein, die das Tief nun gerade für die südwestliche Nordsee so gefährlich werden ließen. Eines erkennen wir schon auf unserer Karte. Das über Grönland befindliche Hoch hat sich mit einem vom Westen heranwandernden Hoch verbunden und stößt nun rasch nach Osten vor, und zwar mit einer mittleren Geschwindigkeit von 50 km/h. Es gewinnt gegenüber dem nur mit 30 km/h ziehenden Tief damit laufend an Boden. Das Druckgefälle auf der Westseite des Tiefs hat bereits auf der Karte von 01 Uhr ein ungewöhnliches Ausmaß angenommen. Es steigert sich durch das rasche Vordringen des Hochdruckgebietes von Stunde zu Stunde. Abbildung 7 zeigt das Tief drei Stunden später bei den Orkneys auf dem Höhepunkt seiner Entwicklung. Die Kaltfront ist bis in die nördliche und mittlere Nordsee vorgedrungen. Hinter ihr hat der Wind zwar von SSW über SW auf etwa WNW gedreht, hat gleichzeitig aber zunächst wieder abgenommen. Das Feuerschiff S2, das den Kaltfrontdurchgang etwas später, gegen 07 Uhr, registrierte, meldete vorher SSW-Wind Stärke 9 und hinter der Front zunächst WNW 7—8. Die Kaltfront selbst bedeutete also, wie so häufig bei Sturmfluten übrigens, nicht die entscheidende Gefahr. Das eigentlich gefähr-

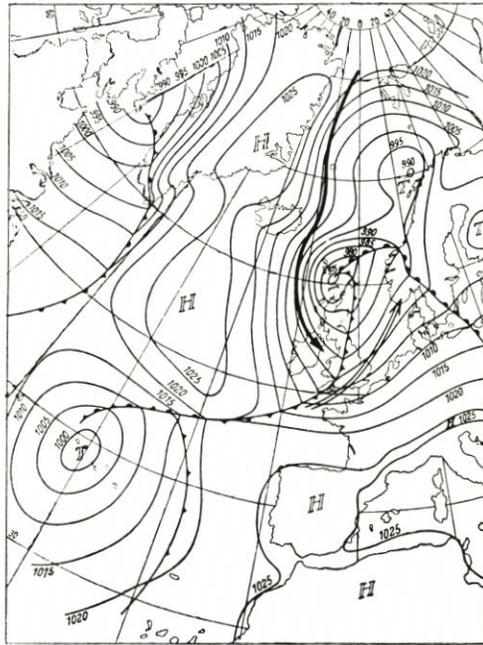


Abb. 6. Wetterlage vom 31. Januar 1953, 01 Uhr M.E.Z.

[Aus: RODEWALD (4)]

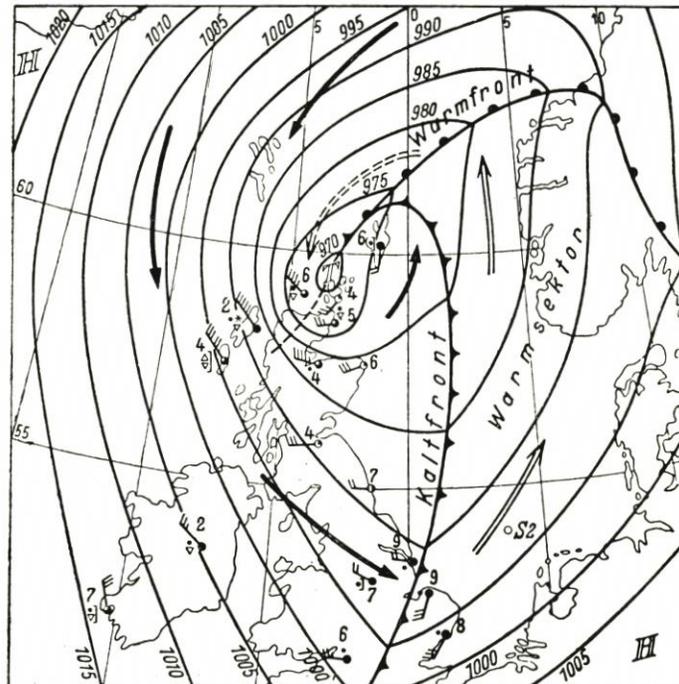


Abb. 7. Wetterlage vom 31. Januar 1953, 04 Uhr M.E.Z.

[Aus: RODEWALD (4)]

liche Gebiet liegt noch weiter westlich in der Zone des sogenannten „Tiefdrucktroges“. Dieser ist in der Karte als gestrichelte Linie eingetragen. Hier, im Gebiet des schärfsten Druckgradienten, dreht der Wind endgültig auf NW und NNW und erreicht dabei gleichzeitig volle Orkanstärke, 12 Bft. Um zu zeigen, wie ein solcher Trog entsteht, müßte man eigentlich auf Höhenwetterkarten zurückgreifen. Wenn wir uns hier um der Einfachheit willen auf die Betrachtung von Bodenwetterkarten beschränken, so dürfte die hier gezeigte Karte am ehesten eine Vorstellung von den Vorgängen vermitteln, die zu einem Tiefdrucktroge führen. Es handelt sich dabei sowohl um

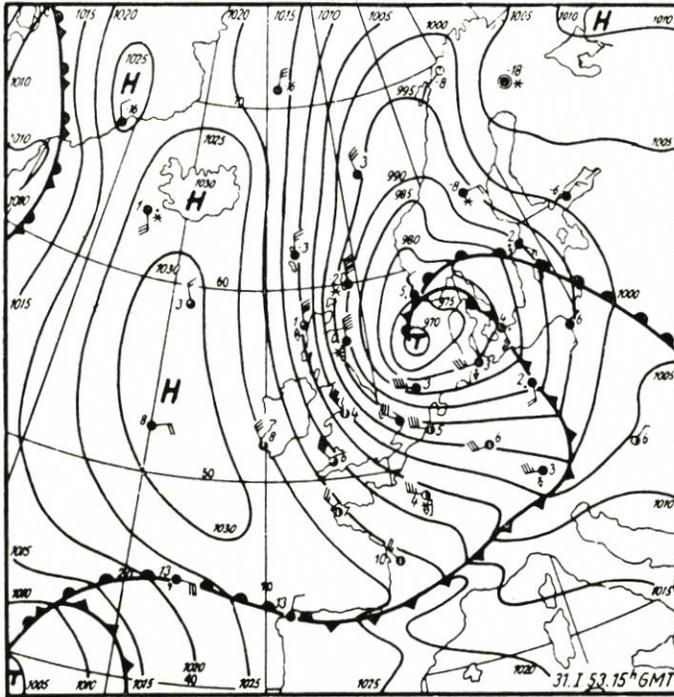


Abb. 8. Wetterlage vom 31. Januar 1953, 16 Uhr M.E.Z.
[Aus: KRUHL (2)]

zum Beispiel auch nachgewiesen werden, daß die Sturmflut vom 9./10. Februar 1949, die an der Westküste Schleswig-Holsteins einen maximalen Stau bei Niedrigwasser von 5,70 m hervorrief, der Wirkung eines solchen Tiefdrucktroges zuzuschreiben war (9). Im Falle des Holland-Orkans war die Trogbildung aber besonders verhängnisvoll. Sie bedeutete praktisch eine Zurückverlegung des Orkanfeldes nach Westen bei nur langsamer Gesamtverlagerung der Zyklone nach Osten, gleichzeitig aber schnellem Nachstoßen des Hochs von Westen her. Eine zweite, gerade für die südliche Nordsee entscheidende Folge des Trogdruckfalles war, daß die Zugrichtung der Zyklone sich änderte. Auf Grund des Druckfalles im Warmsektor hätte sie eigentlich nach Osten weiterziehen müssen. Mit der Ausbildung des Troges gewinnt aber der Trogdruckfall südöstlich des Tiefkernes die Oberhand. Er beträgt 04 Uhr zum Beispiel in Schottland und bei den Orkneys 9 mb in drei Stunden. Dadurch wird das Tief nach Südosten umgelenkt und zieht zunächst in Richtung auf die Westküste Dänemarks. Abbildung 8 zeigt die Wetterlage zwölf Stunden später, am 31. Januar 16 Uhr.

An dieser Stelle möge eine Bemerkung zur Frage der Sturmflutvorhersage eingeflochten werden. Sowohl beim niederländischen als auch bei unserem deutschen Sturmflutwarndienst liegen hinreichende Unterlagen vor, um bei bekanntem Ablauf des Wettergeschehens eine zuverlässige Vorhersage des Wasserstandes zur Hochwasserzeit zu machen. Als am 31. Januar der Sturmflut-

dynamische als auch thermische Vorgänge. Das Divergieren, das heißt das Auseinanderströmen der Luft, das in der Nähe des Tiefkernes im Gebiet hinter der Kaltfront an der Auffächerung der Isobaren erkenntlich ist, führt zu einem Druckfall südöstlich des Kernes, wo durch das Auseinanderströmen der Luftmassen gewissermaßen ein Loch entsteht. Weiter wird dieser Druckfall verstärkt in dem Augenblick, wo die in der Höhe inzwischen um den Tiefkern herumgeholtte Warmluft mit einströmt. Der doppelt gestrichelte Pfeil im Bild soll diesen Vorgang kennzeichnen. Solche Trogbildungen finden wir bei jeder energiereichen Zyklone. Sie sind auch im Hinblick auf Sturmfluten die besonders zu fürchtenden Windfelder der Sturmflutzyklonen. In einer besonderen Untersuchung konnte

warndienst des Deutschen Hydrographischen Instituts um 17.20 Uhr, also acht Stunden vor Eintritt des Hochwassers in Cuxhaven, die Gefahr einer schweren Sturmflut für die Küsten der Deutschen Bucht ankündigte, lag die hier abgebildete Karte (Abb. 8) noch nicht vor. Die Vorhersage wurde auf Grund der 13-Uhr-Wetterkarte ausgegeben, die etwa gegen 16.30 Uhr beim Meteorologen fertig ausgezeichnet vorlag. Bekanntlich lag das Tief um 04 Uhr bei den Orkneys und sollte ohne die Einwirkung des Trogdruckfalles in östlicher Richtung weiterziehen. Mit dem Hinaustreten auf die Nordsee entzieht sich die weitere Entwicklung des Tiefdruckkerns aber der direkten Beobachtung. Es muß versucht werden, aus dem Gesamtbild der Wetterentwicklung sowie an Hand der Beobachtungen der jeweiligen Küstenstationen die weitere Zugrichtung, Vertiefung oder Auffüllung des Tiefs und seine weitere Zuggeschwindigkeit zu erkunden. Nach den vorliegenden Unterlagen wurde mit einem Abschnen des Tiefs nach Südosten gerechnet und seine Lage für den 1. Februar morgens über Südschweden angenommen. In diesem Falle hätte während der Nacht die ganze Nordsee unter schwerem Nordweststurm gestanden. Betrachten wir nun die Karte von 16 Uhr. Die Lage des Kerns mit 970 mb ist darin bei nachträglicher, sehr sorgfältiger Analyse und der aus dem weiteren Wetterablauf bekannten Zugrichtung als gesichert anzusehen. Vom Standpunkt der Vorhersage am Nachmittag des 31. Januar sind aber nur einige Luftdruckwerte für die 975-mb-Isobare bekannt. Der Tiefkern selbst entzieht sich noch der unmittelbaren Beobachtung. Erst drei Stunden später (Abb. 9) gestatten die Beobachtungen einiger Feuerschiffe eine genauere Festlegung. Hier ist nun der schon bei den Orkneys begonnene Prozeß in seinem Endstadium zu erkennen: der Trogdruckfall hat zur Abspaltung eines selbständigen Tiefdruckkerns geführt, und zwar südlich von der bisherigen Zugrichtung des Tiefs. Das alte Tief ist im Skagerrak noch zu erkennen, verliert seine Selbständigkeit nun aber sehr schnell. Auf der nächsten Karte (Abb. 10), die die Darstellung der Wetterlage abschließen soll, sehen wir noch das Trogtief, das jetzt, gerade zur Hochwasserzeit in der Deutschen Bucht, genau über der Elbmündung liegt. Das ist

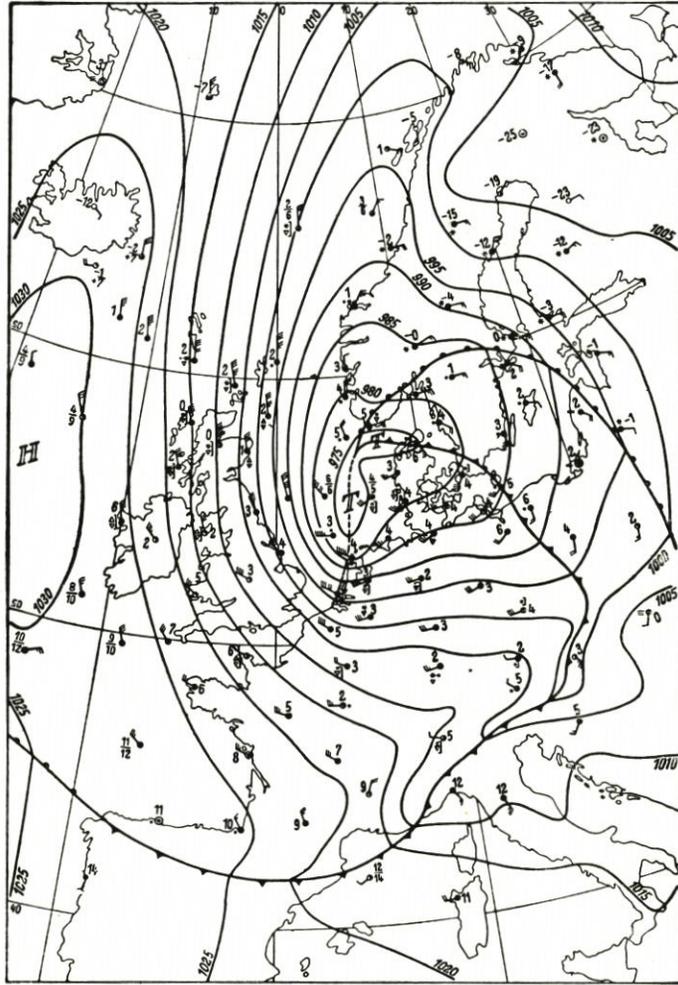


Abb. 9. Wetterlage vom 31. Januar 1953, 19 Uhr M.E.Z.

[Aus: RODEWALD (4)]

[Aus: RODEWALD (4)]

der Grund, warum unsere deutsche Nordseeküste in jener Nacht von einer schweren Sturmflut verschont blieb. Durch diese für uns so günstige Entwicklung erhöhte sich für die südwestliche Nordsee die Gefahr jedoch abermals. Das Gebiet des tiefen Druckes war durch diese Tiefabsplattung erneut gewissermaßen nach Westen zurückverlegt worden — es hätte ja eigentlich schon über Südschweden sein müssen —, während das Hoch mit 1030 mb schon unmittelbar vor der irisch-schottischen Küste angelangt ist.

4. Die beobachteten meteorologischen Extremwerte

Aus der Kenntnis der Wetterentwicklung läßt sich nunmehr erklären, warum gerade dieser Sturm einen so verhängnisvollen Einfluß auf die Nordsee haben konnte. Die beobachteten Wind-

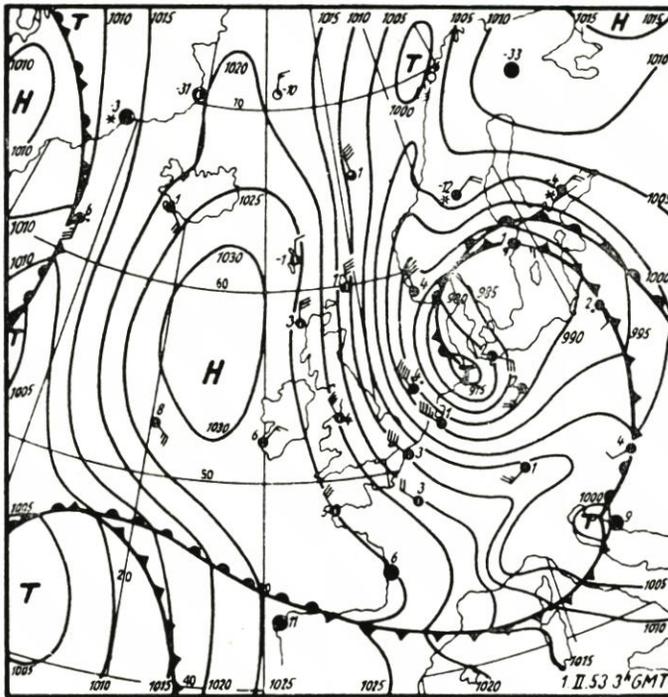


Abb. 10. Wetterlage vom 1. Februar 1953, 04 Uhr M.E.Z.
[Aus: KRUHL (2)]

geschwindigkeiten an der holländischen Küste stellten ja keineswegs bisher noch nie beobachtete Extremwerte dar. Man kann aus jüngster Zeit leicht auf einen Sturm verweisen, der zum Teil beträchtlich höhere Geschwindigkeiten, ebenfalls aus dem Nordwestquadranten, aufwies: der Sturm vom 1. März 1949. Damals wurde eine mittlere maximale Windgeschwindigkeit von 29,5 m/sec gegenüber „nur“ 25 m/sec 1953 und eine entsprechende mittlere Böengeschwindigkeit von maximal 38,5 m/sec gegen wiederum „nur“ 34 m/sec 1953 gemessen. Nicht in bezug auf die Windgeschwindigkeiten stellt der Orkan vom Februar 1953 für die holländische Küste etwas Außergewöhnliches dar, sondern in bezug auf die Dauer. Seit Beginn systematischer meteorologischer Beobachtungen in den Niederlanden im Jahre 1898 hatte noch kein Sturm mit Windstärke 9 oder mehr länger als zwölf Stunden gedauert. Im Februar 1953 dauerte, wie in der Abbildung 11 noch einmal dargestellt ist, ein solcher Sturm im gesamten westlichen Gebiet der Nordsee bis hinauf zu den Färöern vierundzwanzig Stunden und im begrenzten Seegebiet der südwestlichen Nordsee sogar dreißig Stunden an. Das ist der eigentliche „Rekord“ dieses Orkans. Er ist allein dem geschilderten Gegeneinanderwirken des einerseits rasch vom Atlantik nach Osten vordringenden Hochdruckgebietes und der ständigen Rückwärtsverlagerung neuer Druckfallgebiete nach Westen zuzuschreiben, einer Entwicklung, die in den ersten Stunden des 31. Januar mit dem Einsetzen des außerordentlich kräftigen Trogdruckfalles über Schottland begann. Das zeigt sehr eindrucksvoll auch die linke Darstellung der Abbildung 11, in der die zeitliche Verschiebung des Orkangebietes mit Windstärke 10 oder mehr erkennbar ist. Zunächst verlagert es sich rasch nach ESE (vgl. die Lage der Linien für 30. 1. 18 Uhr und 31. 1. 18 Uhr). Vom 31. Januar 18 Uhr an, wo bereits die gesamte westliche Nordsee erfaßt ist, wandert es aber nicht weiter nach Osten, sondern konzentriert sich allmählich im-

der holländischen Küste stellten ja keineswegs bisher noch nie beobachtete Extremwerte dar. Man kann aus jüngster Zeit leicht auf einen Sturm verweisen, der zum Teil beträchtlich höhere Geschwindigkeiten, ebenfalls aus dem Nordwestquadranten, aufwies: der Sturm vom 1. März 1949. Damals wurde eine mittlere maximale Windgeschwindigkeit von 29,5 m/sec gegenüber „nur“ 25 m/sec 1953 und eine entsprechende mittlere Böengeschwindigkeit von maximal 38,5 m/sec gegen wiederum „nur“ 34 m/sec 1953 gemessen. Nicht in bezug auf die Windgeschwindigkeiten stellt der Orkan vom Februar 1953 für die holländische Küste etwas Außergewöhnliches dar, sondern in bezug auf die Dauer. Seit Beginn systematischer meteorologischer Beobachtungen in den Niederlanden im Jahre

mer stärker auf das Gebiet der südwestlichen Nordsee. Auch wenn man die Wetterkarten im einzelnen (Abb. 5 bis Abb. 10) gar nicht kennt, kann man an Hand dieser beiden Darstellungen über die Verbreitung und Dauer des Sturmes unschwer erkennen, daß ein solcher Sturm aus NNW eine äußerst bedrohliche Lage für die holländische Küste darstellen muß. Es ergibt sich daraus auch deutlich, daß der beobachtete maximale Wasserstand nicht aus einer „Sturmflutwelle“ oder dergleichen hervorgegangen sein kann, sondern den Endzustand einer allmählich sich einstellenden Neigung der gesamten Oberfläche der Nordsee darstellen muß. Durch den Orkan wurde in der gesamten Nordsee eine südliche Strömung hervorgerufen, die beim Auftreffen auf die Küsten der südwestlichen Nordsee einen Anstau und damit ein Steigen des Wasserstandes hervorrief. Jede so erzeugte Höhenänderung der Lage des Meeresspiegels bewirkt aber in einer festen Meerestiefe, beziehungsweise am Meeresboden, ein Druckgefälle und dadurch einen Gradientenstrom, der von Land nach See gerichtet ist. Im Gleichgewicht der Kräfte wird die Oberflächenströmung, die zu weiterem Anstau an der Küste führen würde, durch das in der Tiefe abströmende Wasser ausgeglichen. Bei der langen Dauer des Orkans kann man damit rechnen, daß bei der Sturmflut im Februar 1953 vor der holländischen Küste dieser Gleichgewichtszustand erreicht war.

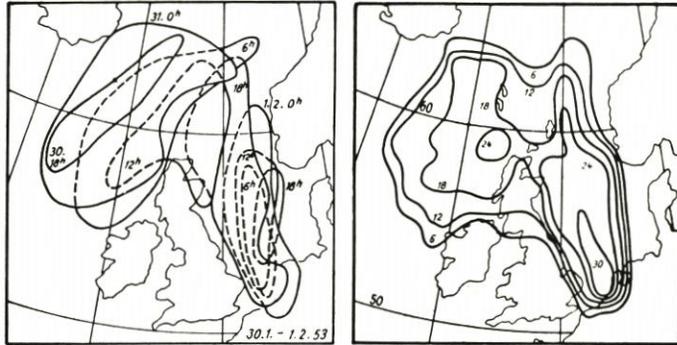
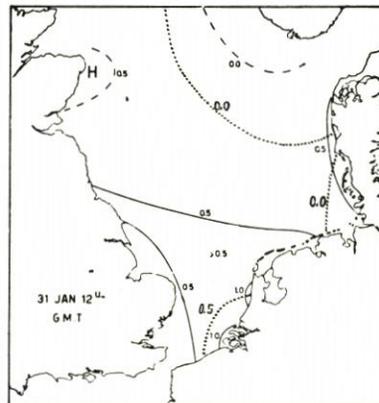


Abb. 11. Übersicht über die Ausdehnung der Orkangebiete und die Dauer des Sturmes in der Zeit vom 30. Januar bis 1. Februar 1953 [Aus: KRUHL (2)]

5. Der Aufbau der Sturmflut in der Nordsee

Zwei ausländische Ozeanographen, der Niederländer GROEN und der Engländer ROSSITER, haben versucht, den allmählichen Aufbau der Sturmflut und ihr Abklingen an Hand der Wasserstandsbeobachtungen aller Anliegerstaaten der Nordsee darzustellen. Die Abbildungen 12 bis 15 zeigen einige der von GROEN entworfenen Karten mit „Linien gleichen Windstaus“. In jede zweite Karte ist mit gepunkteten Linien die entsprechende Darstellung ROSSITERS eingezeichnet. So sehr beide in Einzelheiten manchmal voneinander abweichen, so geben sie im Prinzip doch das gleiche Bild. Am 31. Januar 12 Uhr (Abb. 12) ist der bei den einzelnen Küstenorten festgestellte Windstau offenbar noch stark örtlich bedingt. Hier differieren beide



Nevenstaande figuren laten de verdeling van het windeffect over de Noordzee zien voor een aantal tijdstippen tijdens de stormvloed. De lijnen zijn lijnen van gelijk wind-effect, d.w.z. gelijke verhoging van het waterpeil door de wind; de getallen zijn aantallen meters verhoging.

Abb. 12. Windstauverteilung am 31. Januar, 13 Uhr M.E.Z. Hinweis für die Abb. 12 bis 15. Die Neigung der Meeresoberfläche der Nordsee vom 31. Januar bis 2. Februar, dargestellt durch „Linien gleichen Windstaus“

[Aus: GROEN (1) und ROSSITER (5) GROEN - - - - ROSSITER]

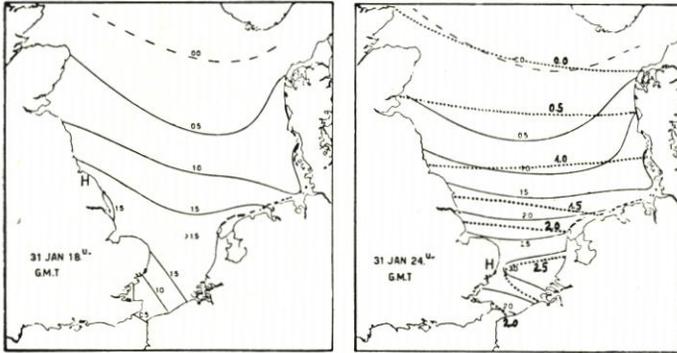


Abb. 13. Windstauverteilung am 31. Januar 1953, 19 Uhr, und 1. Februar 1953, 01 Uhr M.E.Z.

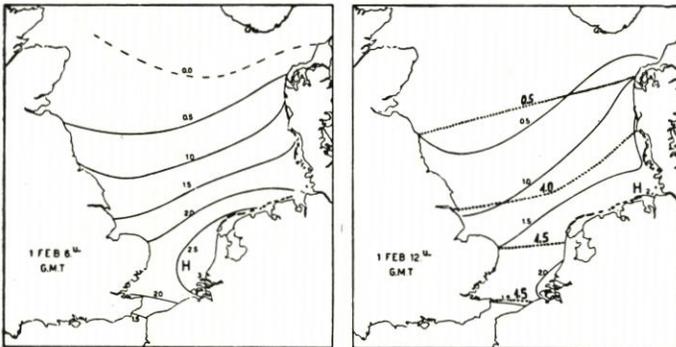


Abb. 14. Windstauverteilung am 1. Februar 1953, 07 und 13 Uhr M.E.Z.

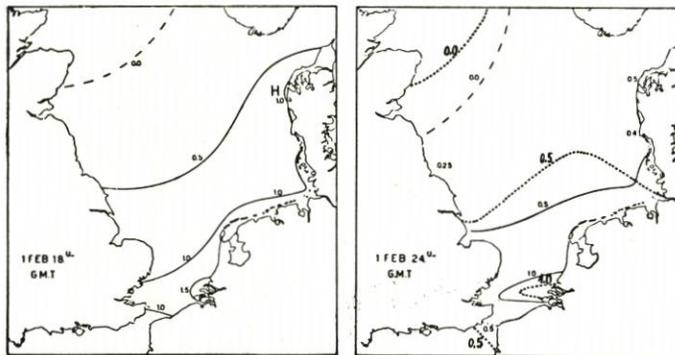


Abb. 15. Windstauverteilung am 1. Februar 1953, 19 Uhr, und 2. Februar 1953, 01 Uhr M.E.Z.

der Oberfläche durchgesetzt hat. Die Linien gleichen Windstaus verlaufen jetzt von Südwesten nach Nordosten, deutlicher noch sechs Stunden später, um 12 Uhr. Noch immer aber befindet sich das Maximum des Staus vor der südwestholländischen Küste. Die letzten beiden Darstellungen vom Abend des 1. Februar (Abb. 15) zeigen die weitere Rückkehr zu normalen Verhältnissen. Es ist offensichtlich, daß solche Entwürfe mit „Linien gleichen Windstaus“ einen recht guten

Auffassungen; es handelt sich zunächst aber um nur geringe Beträge des Windstaus. Am 31. Januar 18 Uhr (Abb. 13) entwickelt sich bereits der allmähliche Anstieg der Meeresoberfläche von Norden nach Süden. Um 00 Uhr, etwa zur Zeit des Katastrophenhochwassers vor der holländischen Küste, sehen wir das Maximum mit 2,50 beziehungsweise 3,00 m im Seegebiet der Hoofden. Weiter zum Kanal hin nimmt der Windstau wieder ab, weil dieser wie ein „Sicherheitsventil“ wirkt und einen nicht unerheblichen Teil des von Norden herangeführten Wassers aufnimmt. Die ursprünglich von Nordwesten nach Südosten verlaufenden Linien sind jetzt west-östlich gerichtet. Infolge der ablenkenden Kraft der Erdrotation werden alle Strömungen im Meere nach rechts abgelenkt. Am 31. Januar 18 Uhr setzt die Strömung also anscheinend noch nach Süden, da sie zur englischen Küste hin abgelenkt worden ist. Sechs Stunden später ist dagegen der Höchststand und ein Stillstand der Strömung eingetreten. Weitere sechs Stunden später (Abb. 14) hat der Ausstrom begonnen. Über der Nordsee herrscht zwar noch immer Nordsturm. Dieser ist aber inzwischen auf Windstärken von 9 bis 10 Bft zurückgegangen. Damit ist der Gleichgewichtszustand zwischen Oberflächen- und Tiefenströmung so gestört, daß der Ausstrom sich auch an

Einblick in den Mechanismus dieser Sturmflut in der gesamten Nordsee vermitteln können.

Es muß allerdings einschränkend darauf hingewiesen werden, daß diese Darstellungen nur als erste Versuche gewertet werden dürfen, da sie eigentlich mit unzulänglichen Beobachtungen unternommen werden. Es liegen ja nur Küstenbeobachtungen vor. Es sei auf die eingangs gezeigte Darstellung des Verlaufs des Wasserstandes an der holländischen Küste (Abb. 3 und 4) verwiesen. Dort waren für das Gebiet des Wattenmeeres drei Linien eingezeichnet worden, für die Festlandsküste und die Watt- und Seeseite der vorgelagerten Inseln. Es war daraus zu entnehmen, daß bis zu 25 % des an der Festlandsküste beobachteten Staus dem Einfluß der flachen Wattgebiete zugeschrieben werden mußten. In einer eigenen Veröffentlichung (8) wurde schon darauf hingewiesen, daß besonders an Küsten mit ausgedehnten Flachwassergebieten nicht ohne weiteres aus dem dort beobachteten Windstau auf den Stau im freien Seegebiet geschlossen werden darf. Zur Erläuterung dienen die Abbildungen 16 und 17 aus der damaligen Untersuchung. Damals während eines Wintermonats im Gebiet der inneren Deutschen Bucht sechs Hochsee-

pegel ausgelegt. Aus den Wasserstandsbeobachtungen dieser Zeit wurde der Gezeitenanteil eliminiert und den so verbleibenden Kurven die Windstauwerte von 3 zu 3 Stunden entnommen. Diese ergaben dann zusammen mit denen mehrerer Küstenorte und einiger vorgeschobener Pegelstationen (Rotesand-Leuchtturm, Mellum-Plate, Neuwerk und andere) ein verhältnismäßig engmaschiges Netz für synoptische Windstaukarten. Eine solche Karte für den Fall eines steifen auflandigen Windes, im Mittel Beaufort 6, zeigt Abbildung 16. Die Karte enthält Linien gleichen Windstaus von 10 cm. Nur einige Meilen von der schleswig-holsteinischen Küste entfernt ist der Windstau auf etwa 60 % des Betrages an der Küste selbst ab-

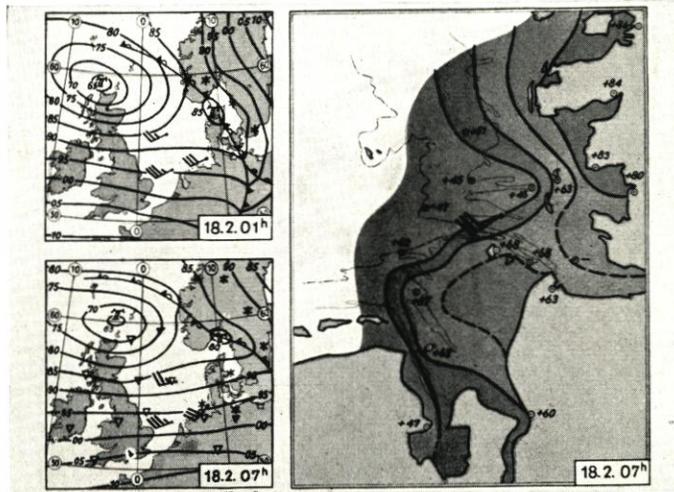


Abb. 16. Windstauverteilung bei auflandigem Wind und einheitlichem Windfeld

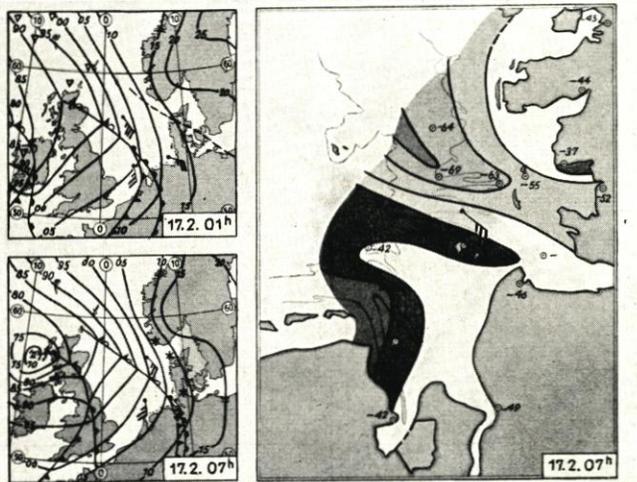


Abb. 17. Windstauverteilung bei ablandigem Wind und uneinheitlichem Windfeld

Anmerkung: Abb. 16 und 17. Neigung der Meeresoberfläche in der Deutschen Bucht als Folge der Einwirkung des Windes, dargestellt durch „Linien gleichen Windstaus“

gesunken, während dagegen die ausgedehnten Bänke und Sände vor der Küste des Landes Wursten großflächig nahezu die gleichen Werte aufweisen. Dieses Bild entspricht, wie die danebenstehende Wetterkarte (Abb. 16) erkennen läßt, einem ziemlich gleichmäßigen Strömungsfeld des Windes. Ein zweites Beispiel soll die Wirkung eines uneinheitlichen, diesmal ablandigen Windfeldes aufzeigen (Abb. 17). Man sieht, wie sich die Uneinheitlichkeit des Windfeldes in einer merkwürdigen Deformation der Meeresoberfläche widerspiegelt, in der sich anscheinend eine Art Trog in Richtung der auf der Wetterkarte erkenntlichen Front ausgebildet hat. So sehr solche Entwürfe also für die gesamte Nordsee eine Vorstellung vom Sturmflutmechanismus vermitteln können, müssen sie doch mit Kritik und Vorsicht betrachtet werden. Daß sie den wirklichen Zustand der Nordsee annähernd richtig erfassen, geht daraus hervor, daß auch Rechnungen ähnliche Bilder ergeben, wie einige Vorträge während der Sturmfluttagung der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik im September vorigen Jahres in Rom zeigten.

6. Die Ursachen der Deichbrüche

Fassen wir zusammen, was sich aus dem Wetterablauf und den Aufzeichnungen der Wasserstände über die Ursache der Sturmflutkatastrophe in Holland aussagen läßt: ein normalerweise

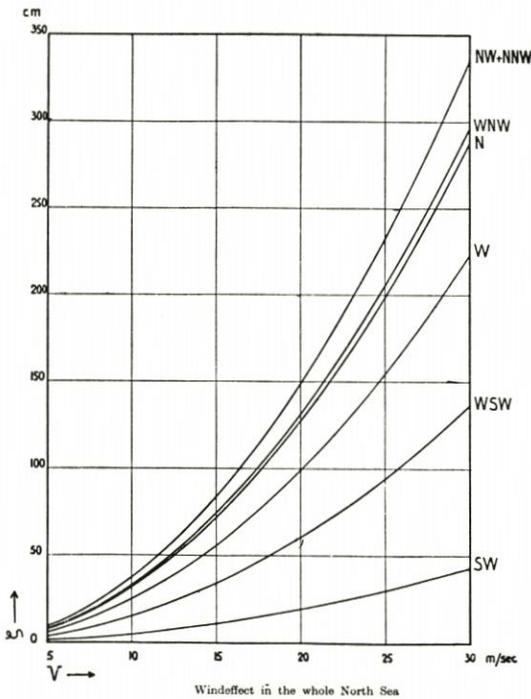


Abb. 18. Beziehung zwischen Windrichtung, Windstärke und Windstau, berechnet für Hoek van Holland [Aus: SCHALKWIJK (6)]

NNW-Wind ergibt danach bei 30 m/sec einen Windstau von etwa 340 cm. Tatsächlich beobachtet wurden 328 cm, also etwas weniger, was durchaus dem entlastenden Einfluß der Straße von Dover zugeschrieben werden kann. Der einem solchen Windstau entsprechende Wasserstand

schnelllaufendes und kurzlebige Tief, das als sogenannte „Warmfrontwelle“ entstand und den für winterliche Verhältnisse völlig „normalen“ Kerndruck von 968 mb erreichte, bewirkte einen Orkan von bisher noch nicht beobachteter Dauer, da sein stark ausgeprägter Trogdrukfall einem rasch nach Osten vordringenden Hochdruckgebiet immer neuen Widerstand entgegengesetzte und dadurch den Luftdruckgradienten laufend verschärfte oder aufrechterhielt. Dieser langdauernde Orkan, der über der gesamten Nordsee bis hinauf in das Gebiet des Nordmeeres einheitlich wütete, bewirkte eine Neigung der Meeresoberfläche in der gesamten Nordsee von Norden nach Süden³⁾. Die beobachtete Neigung der Meeresoberfläche entspricht den Vorstellungen, die wir für den Mechanismus einer Sturmflut im Gleichgewichtszustand der wirksamen Kräfte haben. Die für die aufgetretenen Windstärken von 30 m/sec = 11 Bft bei NNW-Winden zu erwartenden Höhen des Wasserstandes wurden tatsächlich beobachtet. Abbildung 18 gibt auf Grund von Unterlagen des niederländischen Sturmflutwarndienstes eine Darstellung zur Voraussage des Wasserstandes, die für Hoek van Holland entworfen wurde.

³⁾ Es sei hier erinnert, daß bei örtlicher Windstille in Cuxhaven noch ein Stau von 1,40 m und bei ablandigen Winden in Husum ein solcher von 1,33 m beobachtet wurde.

reichte vielerorts bereits aus, insbesondere an den weiter landeinwärts gelegenen niedrigeren Deichen, diese zu überspülen und dabei die Binnenseite so stark auszukolken, daß ein Teil der Deichbrüche allein daraus zu erklären ist. Der über der gesamten Nordsee tobende Orkan warf nun aber auch einen Seegang von bisher selten erreichtem Ausmaß auf. Die auf freier See beobachteten Wellenhöhen betragen in der nördlichen und mittleren Nordsee nach englischen Angaben bis zu 9 m bei gleichzeitig verhältnismäßig kurzen Perioden von 8 bis 10 Sekunden. Beim Feuerschiff S 2 und vor der holländischen Küste wurden Höhen von 6 bis 7 m bei ähnlichen Wellenperioden gemessen. Es kann kein Zweifel darüber sein, daß dieser Seegang sich bei dem hohen Wasserstand in den weiten Meeresarmen zwischen den südwestholländischen Inseln tief in die Meeresarme hinein fortpflanzte und dort durch Reflektion, Beugung und Brandung eine Kreuzsee von sicherlich ungewöhnlichem Ausmaß hervorgerufen hat. Deshalb kann man, was dem ersten Augenschein zunächst zu widersprechen schien, den Seegang auch für viele der Deichbrüche verantwortlich machen, die an den leeseitigen Deichstrecken entstanden sind.

7. Voraussage der Sturmfluthöhen

Damit wir nicht nur einen unverbindlichen Rückblick auf eine Katastrophe getan haben, die in ihren Auswirkungen wohl kaum jemand vorherzusagen gewagt hätte, sollen abschließend die beiden „Rekorde“ dieser Sturmflut, nämlich die beobachteten Sturmfluthöhen und die extreme Dauer des Sturmes, noch einmal kurz daraufhin untersucht werden, ob man eigentlich mit ihnen hatte rechnen müssen und ob solche „Rekorde“ nicht auch an den Küsten der Deutschen Bucht zu erwarten sind. So sehr in der Öffentlichkeit, auch in Fachkreisen übrigens, ursprünglich die Meinung vertreten wurde, es habe sich bei dieser Sturmflut um ein unvorhergesehenes, einmaliges Naturereignis gehandelt, haben wir beim deutschen Sturmflutwarndienst vom ersten Tage an den Standpunkt vertreten, daß zwar dieser Sturm sicher ein seltenes Ereignis bedeutete, im Zusammenhang mit ihm aber mit den aufgetretenen Wasserständen durchaus gerechnet werden mußte. Die inzwischen von vielen Seiten dazu veröffentlichten Untersuchungen haben diese Meinung bestätigt.

Die Untersuchungen über den bei verschiedenen Windstärken und -richtungen an der holländischen Küste zu erwartenden Windstau lagen seit 1946 in der soeben gezeigten Form vor. Auch schon vorher aber deuteten die Unterlagen auf die Möglichkeit solcher hohen Wasserstände hin. Außerdem war der niederländische Ingenieur WEMELSFELDER mit Methoden, die durch die Wahrscheinlichkeitstheorie gestützt wurden, schon 1939 zu dem Ergebnis gekommen, daß mit der freilich geringen Wahrscheinlichkeit von 2 bis 3 ‰, das heißt durchschnittlich einmal in 400 Jahren, Wasserstände, wie sie 1953 beobachtet wurden, an der holländischen Küste zu erwarten sind. Die vor dem 2. Weltkrieg von der niederländischen Regierung eingesetzte Sturmflutkommission hatte sich diesem Ergebnis angeschlossen und die Forderung erhoben, die Deiche um 1 bis 2 m zu erhöhen oder aber die Meeresarme durch Dämme ganz von der See abzuschließen. Es ist bekannt, daß bei einer solchen Maßnahme gleichzeitig Fortschritte im Kampf gegen die Versalzung der niederländischen Marschen erzielt werden könnten. Der Krieg bedeutete für alle diese Projekte eine Zwangspause. Einige im Krieg durchgeführte Deichbauten wurden allerdings gleich auf das neue Bestick gebracht. Nach dem Krieg hat man die Pläne zwar wieder aufgenommen, aber wegen verschiedener finanzieller und rechtlicher Schwierigkeiten und offenbar wohl auch unter dem Eindruck der an sich geringen Wahrscheinlichkeit von 2 bis 3 Promille nicht mit der wünschenswerten und notwendigen Intensität. Wir können jedenfalls feststellen: die Sturmflut vom 1. Februar 1953 in Holland hat die auf statistischen und theoretischen Rechnungen und Überlegungen fußenden Voraussagen eines möglicherweise so hohen Wasserstandes bestätigt. Fragen wir also: welche Wasserstände wären nach den entsprechenden Unterlagen an den Küsten der Deutschen Bucht zu erwarten?

8. Möglichkeit hoher Wasserstände an der deutschen Nordseeküste

Abbildung 19 zeigt die Abhängigkeit des Windstaus von der Windgeschwindigkeit und Windrichtung für drei Orte der deutschen Nordseeküste: Emden, Cuxhaven und Husum. Diese Darstellung, die im Deutschen Hydrographischen Institut als Unterlage für den Sturmflutwarn-dienst erarbeitet wurde, ist allerdings noch nicht als eine endgültige zu betrachten. Die Verar-beitung eines größeren Zahlenmaterials unter neuartigen Gesichtspunkten ist im Gange. Die hier gezeigte Darstellung läßt erkennen, daß von den drei Orten Husum am meisten gefährdet ist, wahrscheinlich wohl durch seine Lage am Ende des von Hever und Aue gebildeten „Trichters“. Einer Windgeschwindigkeit von 30 m/sec = 11 Bft würde hier ein Windstau von 4.15 m ent-sprechen⁴⁾. Im Anschluß an die Untersuchungen von WE-MELSFELDER hat Dipl.-Ing. HUNDT ebenfalls langjährige Beobachtungsreihen von Was-serständen, und zwar von mehreren Orten der West-küste Schleswig-Holsteins, statistisch bearbeitet. Wie dem Manuskript dank des Entgegenkommens von Herrn HUNDT⁵⁾ entnommen wer-den konnte, hat er für Husum einen „maßgebenden Sturmflutwasserstand“, für den die Wahrscheinlichkeit einmal in hundert Jahren gilt, von 5,90 m NN = 4,40 m über MThw angege-ben. Dieser Wert liegt abso-lut in der gleichen Größen-ordnung wie für West-sturm Stärke 11 angegebene

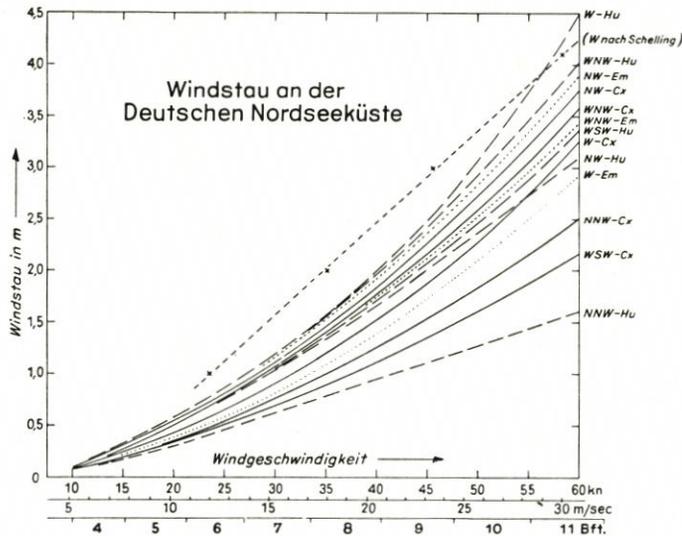


Abb. 19. Beziehung zwischen Windrichtung, Windstärke und Windstau, berechnet für Emden, Cuxhaven und Husum

Windstauwert von 4,15 m. Man wird auf Grund der Erfahrungen bei der Hollandsturmflut damit zweifellos gut tun, diesen Wert ernsthaft in die Überlegungen einzubeziehen.

Das Auftreten der genannten Sturmfluthöhen ist freilich an das Auftreten entsprechender Windgeschwindigkeiten gebunden, die außerdem lange genug andauern müssen. Die Frage nach der Möglichkeit solcher Wasserstände schließt damit automatisch die nach der Möglichkeit entsprechender Wetterlagen ein. Auf dem Gebiet der Meteorologie sind die ineinandergreifenden Elemente, die das Wettergeschehen bestimmen, insbesondere infolge der dreidimensionalen Kombinationsmöglichkeiten aber so vielfältig, die vorliegenden Beobachtungsreihen dagegen so kurz, daß jeder verantwortungsbewußte Meteorologe sich scheuen wird, konkrete Aussagen über die Eintrittswahrscheinlichkeit einer solchen Wetterlage zu machen. Immerhin: keiner wird ernsthaft bezweifeln, daß nicht rein modellmäßig eine Lage denkbar ist, bei der über der gesamten Nordsee ein Orkan aus W bis NW von genügend langer Dauer herrschen würde.

⁴⁾ In der Darstellung ist die von SCHELLING (7) in seiner Untersuchung über die Sturmfluten an der schleswig-holsteinischen Westküste entworfene Bezugsgerade mit eingetragen. Den Punkt von 4,10 m hat SCHELLING aus der Sturmflut von 1825 rekonstruiert.

⁵⁾ Siehe Seite 99 und 147 in diesem Heft.

wird hier ein Windstau von 4.15 m entsprechen⁴⁾. Im Anschluß an die Untersuchungen von WE-MELSFELDER hat Dipl.-Ing. HUNDT ebenfalls langjährige Beobachtungsreihen von Was-serständen, und zwar von mehreren Orten der West-küste Schleswig-Holsteins, statistisch bearbeitet. Wie dem Manuskript dank des Entgegenkommens von Herrn HUNDT⁵⁾ entnommen wer-den konnte, hat er für Husum einen „maßgebenden Sturmflutwasserstand“, für den die Wahrscheinlichkeit einmal in hundert Jahren gilt, von 5,90 m NN = 4,40 m über MThw angege-ben. Dieser Wert liegt abso-lut in der gleichen Größen-ordnung wie für West-sturm Stärke 11 angegebene

9. Sturmfluten im Dezember 1954

Daß eine ähnlich gefährliche Wetterentwicklung wie 1953 in der westlichen Nordsee jederzeit auch in der östlichen Nordsee eintreten kann, unterliegt jedenfalls keinem Zweifel. Als Beispiel seien zum Abschluß noch zwei Abbildungen von den Dezembersturmfluten des vergangenen Jahres gezeigt. Bekanntlich verliefen die Tage vor dem Weihnachtsfest außerordentlich sturmreich. Abbildung 20 zeigt zunächst die Wasserstandskurve von Cuxhaven vom 20. bis 24. Dezember 1954. Die beobachteten Wasserstände liegen mehrere Tage lang zum Teil beträchtlich, durchschnittlich aber 1 bis 2 m über den astronomisch bedingten. Der Sturmflut am 22. Dezember waren bereits eine solche am 21. Dezember und außerdem zwei weitere hohe Tiden vorausgegangen. Nach kurzer Beruhigung bei nur einer Tide trat dann am 23. Dezember erneut eine gefährliche Situation ein, die eine Warnung vor einer „schweren Sturmflut“ erforderlich machte. Im unteren Teil der Abbildung sind jeweils wieder Windstaukurven aufgetragen. Die graugetönte Fläche einschließlich der Gebiete, in denen die Schraffur von links oben nach rechts unten verläuft, gibt den berechneten Windstau wieder, der der Windrichtung und Windstärke über der mittleren und südlichen Nordsee entspricht. Der Windstau wurde allerdings für die gesamte Zeit

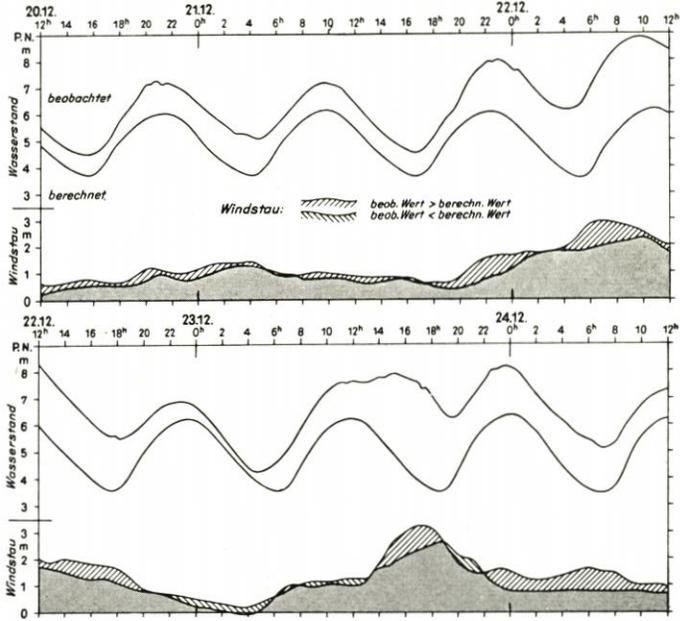


Abb. 20. Sturmfluten in Cuxhaven vom 20. bis 24. Dezember 1954

nur mit den für Hochwasser geltenden Unterlagen berechnet. Es ist bekannt, daß bei gleicher Windrichtung und -stärke der Windstau bei NW größer ist als bei HW. Die Differenzen zwischen beobachtetem und berechnetem Windstau erklären sich zum großen Teil allein hieraus. Zum Teil spielen, wie etwa am 24. Dezember, auch Trägheitserscheinungen eine Rolle.

Ohne weiter auf Einzelheiten dabei einzugehen, soll durch den hier möglichen Vergleich zwischen beobachtetem und berechnetem Windstau lediglich gezeigt werden, wie weitgehend wir heute in der Lage sind, bei bekannter Wetterlage den Windstau zu bestimmen. Unsicherheiten der Sturmflutvorhersage sind also im wesentlichen dadurch bedingt, daß gerade bei schweren Gefahrensituationen die Wetterentwicklung nicht mit der Exaktheit vorhergesagt werden kann, die für eine absolute Sicherheit der Windstauvorhersagen gefordert werden muß.

Abbildung 21 zeigt die Wetterentwicklung im entscheidenden Stadium am 23. Dezember. Wir erkennen, daß ein Tief um 10 Uhr vor Jütland liegt. Beachtlich ist bereits der Kerndruck dieses Tiefs: 955 mb! Wie ungewöhnlich ein solcher Druck ist, läßt sich daran erkennen, daß die bei uns üblichen Barographen Drucke von weniger als 955 mb gar nicht mehr registrieren. Die Abbildung 21 zeigt weiter, daß auch dieses Tief einen Tiefdrucktrogl aufweist, der gestrichelt angedeutet ist. Südlich vom Kern befindet sich der Trogl Druckfall⁶⁾.

⁶⁾ Die zweistelligen Zahlen in den folgenden Wetterkarten geben die Druckänderung der letzten drei Stunden in Zehntel Millibar an. Die dicken, aufrecht stehenden Zahlen bedeuten dabei Druckfall, die dünnen Zahlen Druckanstieg.

Die Unsicherheit der meteorologischen Situation war in diesem Fall dadurch gegeben, daß, weil keine Meldungen vom Seegebiet vorlagen, nicht bekannt war, ob der Trogdruckfall sich noch weiter auf See hin ausdehnte oder ob er mit den Falltendenzen über Dänemark und Schleswig-Holstein abschloß. Man wird zugeben, daß man vom Standpunkt der Sturmflutwarnung bei einer solchen *gefährlichen* Situation mit dem ungünstigen Falle rechnen mußte, für den übrigens auch die Meteorologen selbst eintraten, nämlich für eine mindestens noch zeitweise Fortsetzung des Druckfalles nach See hinaus. In diesem Fall aber wäre mit einer ähnlichen Verschärfung des Gradienten wie beim Holland-Orkan zu rechnen gewesen. Die Windstärken wären über der gesamten südlichen und mittleren Nordsee im Mittel auf Windstärke 10 bis 11 gegangen, und zwar mindestens sechs Stunden vor Hochwasserzeit! Die rechte Karte zeigt die

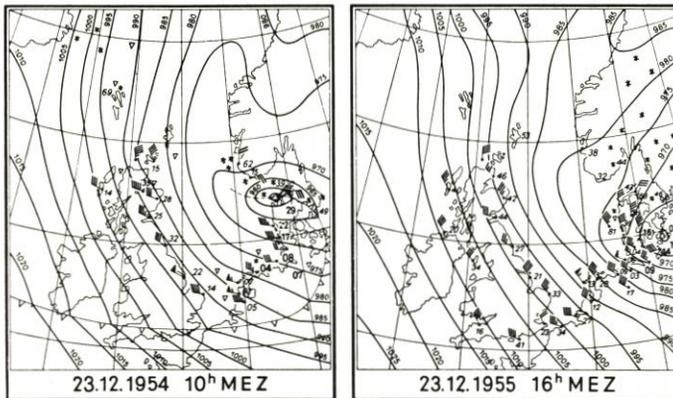


Abb. 21. Wetterlage bei der Sturmflut vom 23. Dezember 1954 an der deutschen Nordseeküste

Wetterlage sechs Stunden später, um 16 Uhr. Hier ist inzwischen klar zu erkennen, daß der Trogdruckfall sich nicht mehr über See hin fort-pflanzt. Ein Schiff vor der dänischen Küste meldet bereits einen Druckanstieg von 8,1 mb in drei Stunden. Der Druckfall dagegen ist schon stark nach Südost abgedrängt. Die größte Gefahr ist damit vorüber. Dennoch treten vereinzelt noch Windstärken von 11 Bft auf. Im Mittel herrschten über See allerdings nur 9 bis 10 Bft. Das Hochwasser in der Nacht zum 24. Dezember tritt entsprechend niedriger ein, wenn es auch noch immer einen Windstau von maximal 2,21 m zeigt und selbst an der schleswig-holsteinischen Westküste trotz der Winddrehung auf NNW bis N noch Höhen von 1,80 m über MThw (Büsum) eintraten.

Auf dieses Beispiel aus jüngster Zeit sei abschließend aufmerksam gemacht, weil es ein Hinweis darauf sein kann, daß wir jederzeit an unseren Küsten mit gefährlichen Wetterentwicklungen rechnen müssen, die es ratsam erscheinen lassen, sich nicht auf bisher beobachtete Höchstwerte des Wasserstandes zu verlassen, sondern die durch Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen und die Berechnungen des Sturmflutwarndienstes als möglich angegebenen Windstauwerte ernsthaft zu berücksichtigen.

10. Schriftenverzeichnis

1. GROEN, P.: Analyse van het verloop der waterstanden langs de kusten der noordzee tijdens de stormvloed van 1953. Kon. Nederl. Meteorol. Inst., Meteorol. Rapport, 1e Vervolg, Mei (Abb. 12 bis 15), 1954.
2. KRÜHL, H.: Zur Dynamik polarer Kaltluftausbrüche am Beispiel des Holland-Orkans vom 30. 1. bis 1. 2. 1953. Ann. d. Meteorol. 6. Jg., H. 3/4 (Abb. 8, 10, 11), 1953/54.
3. MARIS, A. G.: De overstromingsramp 31 januari — 1 februari 1953. De Ingenieur, 65, Nr. 31 (Abb. 1), 1953.
4. RODEWALD, M.: Der große Nordseesturm vom 31. Januar und 1. Februar 1953. Die Naturwissenschaften, Jg. 40 (Abb. 5 bis 7, 9), 1953.
5. ROSSITER, J. R.: The North Sea storm surge of 31 January and 1 February 1953. Philos. Transact. Roy. Soc. London, Ser. A., No. 915, 1954.

6. SCHALKWIJK, W. F.: A contribution to the study of storm surges on the Dutch Coast. Kon. Nederl. Meteor. Inst., Mededelingen en Verhandelingen, Serie B, Deel I, No. 7, De Bilt (Abb. 18), 1947.
7. SCHELLING, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein. „Die Küste“ I, H. 1, 1952.
8. TOMCZAK, G.: Die Einwirkung des Windes auf den mittleren Wasserstand der Deutschen Bucht vom 15. Februar bis 6. März 1951. Dtsch. Hydrogr. Ztschr. 6, H. 1 (Abb. 16, 17), 1953.
9. TOMCZAK, G.: Die Sturmfluten vom 9. und 10. Februar 1949 an der deutschen Nordseeküste. Dtsch. Hydrogr. Ztschr. 3, H. 3/4, 1950.
10. WEMELSFELDER, P. J.: De overstromingsramp 31 januari — 1 februari 1953. Waterstanden. De Ingenieur 65, Nr. 33 (Abb. 2 bis 4), 1953.

Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste*)

Mit Berücksichtigung der Hollandsturmflut vom 1. Februar 1953

Von Claus Hundt

Inhalt

I. Allgemeine Vorbemerkungen	96
II. Der maßgebende Sturmflutwasserstand	98
1. Abkürzungen und Begriffe	98
2. „Höchstmögliche“ Sturmflutwasserstände nach Untersuchungen vor dem 1. Februar 1953	99
3. Einige Verfahren zur Ermittlung kritischer Sturmflutwasserstände	100
a) Physikalisches Verfahren	100
b) Einfaches Bezugsverfahren	100
c) Kombiniertes Bezugsverfahren	102
d) Häufigkeitsverfahren	102
4. Berücksichtigung raumbedingter und säkularer Wasserstandsänderungen	107
5. Raumbedingte Wasserstandsänderungen	107
a) Änderung des Mitteltidehochwassers in Husum	107
b) Änderung der Sturmflutwasserstände in Husum	109
c) Änderung des Mitteltidehochwassers in Tönning, Büsum, Cuxhaven und Glückstadt	110
d) Änderung der Sturmflutwasserstände in Tönning, Büsum, Cuxhaven und Glückstadt	111
6. Säkulare Wasserstandsänderung	112
7. Beschickung früherer Sturmflutwasserstände auf den heutigen und zukünftigen Gewässerzustand	114
8. Richtwerte des maßgebenden Sturmflutwasserstandes	122
III. Der maßgebende Wellenauflauf am Deich	126
1. Unterlagen und Verfahren (Westküste)	126
a) Die Flutkanteneinwägungen	127
b) Modellversuche über Wellenhöhen im Wattgebiet	127
c) Wellenperiodenmessungen an der schleswig-holsteinischen Westküste während der Sturmflut am 16. 1. 1954	131
2. Allgemeine Auswertung	132
3. Vergleich der Naturbeobachtungen mit Modellversuch und Theorie	133
4. Maßgebender Wellenauflauf bei höchsten Sturmflutwasserständen	135
a) Errechnete Werte	135
b) Kritische Betrachtung	136
c) Richtwerte des maßgebenden Wellenaufbaus	137
5. Der Wellenauflauf an den rechtselbischen Deichen	137
IV. Die maßgebende Sturmfluthöhe	139
V. Vergleiche	141
VI. Zusammenfassung	147
VII. Schriftenverzeichnis	149

I. Allgemeine Vorbemerkungen

Die folgenden Darlegungen gehen auf Untersuchungen zurück, die im Auftrage der Wasserwirtschaftsverwaltung der Landesregierung Schleswig-Holstein durchgeführt wurden.

Schon seit den drei schweren Sturmfluten vom 18. und 27. Oktober 1936 und 24. November 1938, die den Eindruck einer seit Jahrzehnten sich steigernden Sturmfluttätigkeit verschärft

*) Nach einem Vortrag am 14. 5. 1954 in Kiel vor dem Bund der Wasser- und Kulturbauingenieure.

hatten, laufen im Interesse eines sicheren Hochwasserschutzes die systematischen Bemühungen, eine obere Sturmflutgrenze ausfindig zu machen. Sie finden, von neuem durch den an der schleswig-holsteinischen Westküste äußerst bedrohlichen Orkan vom 9. Februar 1949 angeregt, ein Jahr später ihren vorläufigen Abschluß in den Untersuchungsergebnissen des inzwischen verstorbenen Oberregierungsbaurats SCHELLING (35). Er folgerte, daß die höchsten Sturmflutwasserstände an der schleswig-holsteinischen Westküste bis zu rund vier Meter höher als das heutige mittlere Tidehochwasser auflaufen könnten, das ist etwa ein halber Meter mehr als nach der damals herkömmlichen Vorstellung. Wenn sich daraufhin die Landesregierung Schleswig-Holstein und mit ihr die Deichverbände entschlossen, dies Ergebnis trotz seiner theoretischen Herkunft auf den praktischen Deichbau anzuwenden, so wollten sie hiermit nicht etwa irgendeinen übermäßigen Sicherheitsanspruch schlechthin zur Geltung bringen, sondern lediglich einem längst vorhandenen Gefahrenzustand begegnen, der jetzt aufgedeckt worden war. Was noch fehlte, waren Erfahrungsstatsachen. Und schon drei Jahre später warf die holländisch-englische Katastrophenflut vom 31. Januar und 1. Februar 1953 ernste Zweifel auf, die noch weit über die SCHELLINGSchen Schlußfolgerungen hinausreichen und sich in folgende Fragen¹⁾ fassen lassen:

1. Widersprachen die Merkmale der außergewöhnlich hohen Sturmflut vom 1. Februar 1953 in den Niederlanden den derzeitigen Erkenntnissen der Wetter- und Meereskunde?
2. Sind die bisher für die schleswig-holsteinische Westküste geltenden Erkenntnisse, insbesondere die Untersuchungsergebnisse SCHELLINGS zu ändern?
3. Welche Sturmflutwasserstände sind zukünftig für das Deichbestick als maßgebend anzusehen?
4. Welche Wellenaufbauhöhen sind für das Deichbestick maßgebend?

Es stellte sich bald heraus, daß die an der Festlandsküste aufgetretenen Wasserstände der Februarflut 1953 nachträglich mit der herrschenden Theorie [SCHALKWIJK 1947 (33)] im wesentlichen erklärt werden konnten, sobald nur das erzeugende Windfeld bekannt war. Aber es war — und bleibt vorläufig — vor allem die Unkenntnis der ungünstigsten meteorologischen Zusammenhänge, woran sowohl die genaue hydromechanische Vorausberechnung einer individuellen Sturmflut, als besonders auch die Berechnung des überhaupt möglichen höchsten Wasserstandes scheitert. Zur Lösung der letztgenannten Aufgabe führten die Niederländer unter vorläufigem Verzicht auf endgültige kausale Einsichten die statistische Analyse der Wasserstandshäufigkeiten als Behelfsverfahren ein [WEMELSFELDER 1939 (45)]. Ein umfassendes Beobachtungsmaterial und eine verhältnismäßig zuverlässige historische Überlieferung boten dazu die Möglichkeit. In den weitgehenden Vorschlägen der niederländischen STURMFLOTKOMMISSION von 1939 [vgl. SCHEPERS (36)], die den Sicherheitsgrad des Hochwasserschutzsystems an der niederländischen Küste behandeln, findet diese Denkweise ihre erste verantwortliche Anwendung. Sie wird durch die Tatsachen am 1. Februar 1953 vollauf gerechtfertigt [WEMELSFELDER (46)], und ihr folgt zum Teil auch die vorliegende Untersuchung.

Örtlich beschränkt sich die Hauptbearbeitung der Wasserstände auf die Pegel H u s u m, T ö n n i n g und B ü s u m an der Festlandsküste, auf den Pegel G l ü c k s t a d t als Beispiel für das rechtselbische Marschufer und auf C u x h a v e n als Bezugspegel längerer Beobachtungsdauer. Weitere Pegelorte werden durch Differenzbildung angeschlossen (Abb. 1).

¹⁾ Ausländische Behörden und Fachmänner haben sich in jeder Weise bemüht, ihre Erfahrungen über Ursachen und Wirkungen der Sturmflut vom 1. Februar 1953 weiterzugeben. Besonderer Dank gilt dem RIJKSWATERSTAAT in 's-Gravenhage.

Auf deutscher Seite hat der KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE bereits seit dem Erscheinen der SCHELLING'schen Arbeiten die Untersuchungen gutachtend gefördert. Das DEUTSCHE HYDROGRAPHISCHE INSTITUT in Hamburg hat durch die Bereitstellung von Gezeitengrundwerten und sonstigen hierfür erarbeiteten Untersuchungsergebnissen sein Interesse für die Bedürfnisse der Praxis wiederum bekundet und den Verfasser laufend kritisch beraten. Das SEEWETTERAMT in Hamburg half durch spezielle Auswertungen, die Auffassungen über das Auftreten höchster Windstärken zu klären.

Die vorliegende Arbeit bildet im Ergebnis eine Ergänzung der Untersuchungen von SCHELLING. Auch an dieser Stelle soll der Wert des großen von ihm erarbeiteten und hinterlassenen Zahlen- und Archivmaterials mit ganz besonderem Dank hervorgehoben werden.

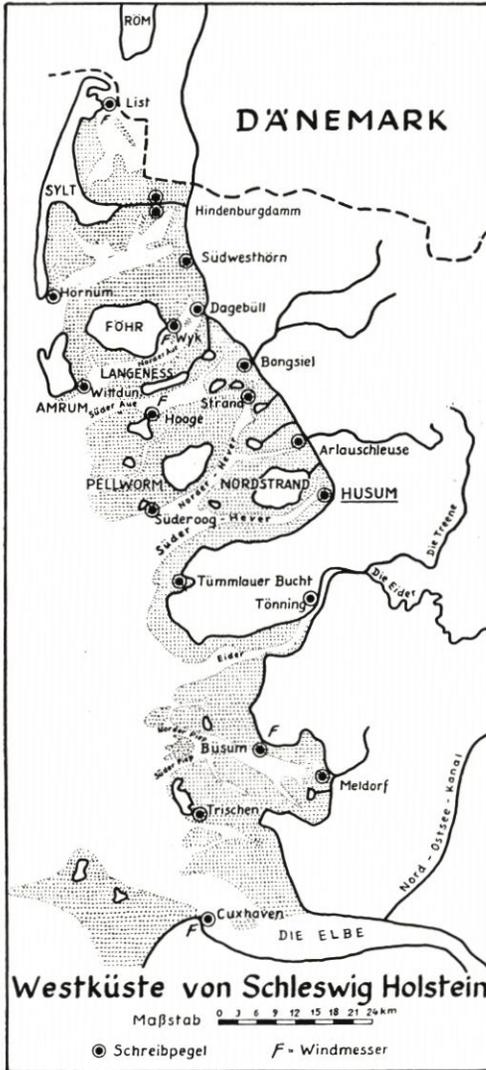


Abb. 1. Westküste von Schleswig-Holstein
Übersicht
(Die punktierten Flächen stellen die Watten dar)

Zeitlich beschränkt sich die Untersuchung zunächst auf den Zeitraum von 1901 bis 1950, da in diesem Zeitabschnitt die Wasserstände hinreichend vollständig registriert wurden. Um aber den mit so kurzzeitigen Beobachtungen verbundenen Zufallscharakter abzuschwächen, werden außerdem die höchsten der seit dreihundert Jahren überlieferten Sturmflutwasserstände nach Umrechnung auf heutige Verhältnisse mit einbezogen (s. S. 107). So unvollkommen ein Versuch dieser Art auch sein mag: wollte man allein aus der Gegenwart heraus, ohne eine Orientierung über säkulare Tendenzen, etwas über mögliche Höchstwasserstände der Zukunft aussagen, bestände die Gefahr großer Trugschlüsse.

Die angestellte Ermittlung über den Wellenauflauf an Deichen (s. S. 126 ff.) bedeutet für die hiesige, durch breite vorgelegerte Watten ausgezeichnete Küste einen ersten Versuch. Die Meeresforschung hat in der an und für sich weit entwickelten Seegangs- und Wellentheorie den Sonderfall eines breiten seichten Gewässers bisher kaum berücksichtigt. Von der Landesregierung Schleswig-Holstein im Jahre 1953 veranlaßte Modellversuche des FRANZIUS-INSTITUTS Hannover (13) und Untersuchungen von ROLL 1949 (31) bieten erste Teilerkenntnisse in dieser Richtung. Weitere planmäßige Forschungen sind eingeleitet worden. Ihre grundlegende praktische Bedeutung lehrt die Tatsache, daß die Unterschätzung des Wellenaufbaus häufig den Anlaß zu Deichschäden und Deichbrüchen gegeben hat.

Naturbeobachtungen, die in ihrer Einmaligkeit für die Beurteilung des höchsten zu erwartenden Wellenaufbaus entscheidend geworden sind, verdanken wir den Herren W. BOCK, Pellworm (Abb. 17 u. 18), M. EICKMEYER, Osnabrück, sowie dem Nordstrander Bauern und Heimatforscher A. BUSCH (2).

II. Der maßgebende Sturmflutwasserstand

1. Abkürzungen und Begriffe

MThw
SpThw
HThw
HHThw
HHSpThw

Mittleres Tidehochwasser.
Springtidehochwasser.
Höchstes Tidehochwasser innerhalb eines betrachteten Beobachtungszeitraums.
Überhaupt beobachtetes äußerstes Tidehochwasser.
Überhaupt beobachtetes bzw. vorausgerechnetes äußerstes Springtidehochwasser.

△MThw	Änderung des MThw.
Berme	Flachgeneigte Verbreiterung von Deichen auf der Außen- oder Innenböschung.
Beschickung, beschicken	Einen Wasserstand beschicken bedeutet hier, einen unter bestimmten Voraussetzungen geltenden Wasserstand auf andere Voraussetzungen umrechnen.
Deichbestick	Rahmenartige Vorschrift über die Sollabmessungen einer Deichanlage, meistens unter Angabe des zugrundegelegten Sturmflutwasserstandes, des Wellenaufbaus sowie etwaiger Sicherheitszuschläge und Sackmaße.
Flutkante	Auch „Treibselkante“ genannt, = der vom Tidehochwasser, insbesondere dem Sturmfluthochwasser auf der Deichaußenböschung hinterlassene Anschwemmungstreifen. Vorsichtig gedeutet kann die Flutkante als die Verbindungslinie der höchsten am Deich aufgelaufenen Wellenspitzen gelten.
Schardeich	Deich, dessen Fuß unmittelbar am Wasser auf oder unter Mittelhochwasserhöhe liegt, meist durch besonderes Deckwerk gegen Seegang geschützt. Die meisten Deiche der schleswig-holsteinischen Westküste sind mit einer Grasnarbe bedeckt, sogenannte „grüne Deiche“, deren Fuß an bewachsenes Vorland auf der Höhe 0,50 bis 1 m über Mittelhochwasser grenzt.
Windstau	Hier im weiteren Sinne: Unterschied zwischen eingetretenem und vorausgerechnetem Wasserstand. Abgekürzt als „Stau“ bezeichnet.

2. „Höchstmögliche“ Sturmflutwasserstände nach Untersuchungen vor dem 1. Februar 1953

Den größten, bei Sturmflut möglichen Windstau in Husum bestimmten:

- 1) PRÜGEL 1942 (29) aus Beziehungen zwischen Stau und Gradientwind Deutsche Bucht als „Mindestwert für die größtmögliche Erhöhung des Wasserstands über die Gezeitenflut“ zu + 4,10 m MThw
- 2) SCHELLING 1952 (35) nach dem Beispiel der Sturmflut vom 16. 2. 1916 (Windstau = 3,50 m) und nach einer selbst entwickelten Windstaufunktion für Windstärke 12, die der Katastrophenflut im Februar 1825 entsprochen habe, zu rund + 4,00 m MThw
- 3) FISCHER 1953 (5) in der Annahme, daß die Sturmflut vom 4. 2. 1825, von der dieses Maß (14 Fuß hamburgisch) überliefert ist, als extreme Erfahrung zu gelten hat, zu + 4,02 m MThw

Mit Hilfe solcher und ähnlicher Windstauwerte veranschlagten den für die Gegenwart gültigen höchstmöglichen Sturmflutwasserstand in Husum

- 4) GAYE 1948 (7) „sowohl im Hinblick auf die Sturmflut von 1825 wie auch nach den Ermittlungen von Prügel“ zu etwa + 5,75 m NN
 - 5) SCHELLING 1952 (35)
 - a) als Superposition des größtbeobachteten Windstaus 1916 (3,50 m) und des höchsten vorausgerechneten SpThw = 1,93 m NN,
 - b) als Rekonstruktion der Sturmflut 1825 mittels der selbst ermittelten Windstaubeziehung,
 - c) als Umkonstruktion der Orkanflut vom 9. 2. 1949 auf ungünstigste Zeitumstände, zu rund + 5,50 m NN
 - 6) FISCHER 1953 (5) aus dem oben genannten Windstauwert über GHW von 4,02 m und dem von ihm für das Jahr 1825 vermuteten MThw = + 1,23 m NN, also ohne Berücksichtigung der inzwischen eingetretenen MThw-Hebung, zu + 5,25 m NN
- Den höchstmöglichen Wasserstand in Cuxhaven bestimmten:
- 7) PRÜGEL 1942 (29) auf Grund einer von ihm aufgestellten Beziehung zwischen Windstau, Gradientwind Deutsche Bucht und absolutem Luftdruck, zu . . . + 5,90 m NN
 - 8) LEPIK 1950 (23) ausgehend vom beobachteten Stand Februar 1825 = + 4,65 m NN, + 25 cm für ungünstige Tidezeitumstände, + 30 cm für säkulare MThw-Hebung von 1825 bis 1950, + 30 cm geschätzten „Sicherheitsgrad“ zur Berücksichtigung anscheinend noch höherer historischer Sturmfluten, zu . . . + 5,50 m NN

Alle Verfasser haben offenbar die Vorstellung, mit den genannten Werten die obere Grenze des physikalisch überhaupt Möglichen erfaßt zu haben. SCHELLING zum Beispiel spricht vom „wahr-

scheinlich höchstmöglichen Wasserstand“. Er folgert, daß dieser Stand in historischer Zeit (seit 1634) nicht überschritten worden ist, und „daß zur Zeit keine Anzeichen zu erkennen sind, die auf eine mögliche Überschreitung in absehbarer Zukunft hinweisen“. Ein derartiger Nachweis würde eine zwar hochgradige, jedoch nicht die volle, in dem Begriff „höchstmöglich“ ausgedrückte Sicherheit bedeuten.

Wie vorsichtig der Begriff „höchstmöglich“ in Wirklichkeit genommen sein will, hat schlagend die Hollandsturmflut vom 1. Februar 1953 gezeigt. Sie wäre nach der üblichen Auffassung von nun an als „höchstmöglich“ einzuordnen gewesen, denn sie überschritt die seit Jahrhunderten geltenden Sturmflutmarken um gänzlich unerwartete Beträge von 50 bis 80 cm. Wo aber ist die tatsächliche Grenze anzusetzen, wenn die genaue Nachprüfung ergab, daß die Möglichkeit noch wesentlich größerer Überschreitungen durchaus gegeben war? Das Springtidehochwasser, der Küstenwind und der Rhein-Maas-Abfluß wiesen damals niedrige oder mäßige Werte auf [WEMELSFELDER (46)]!

Um aus diesem Zwiespalt der Vorstellungen und der Wirklichkeit herauszukommen, folgt zunächst eine Gegenüberstellung einiger in Betracht kommender Ermittlungsmöglichkeiten.

3. Einige Verfahren zur Ermittlung kritischer Sturmflutwasserstände

a) Physikalisches Verfahren

Die wissenschaftliche Grundlagenforschung ist — von einigen dynamischen Problemen der Schwallbildung abgesehen — gewiß in der Lage, die Ursachen von Sturmfluten physikalisch zu analysieren und wiederum den Sturmflutwasserstand irgendeines Küstenortes als Funktion der Einzelursachen (Wetterlage, Gestirnstide, Küstenform u. a.) zu bestimmen. Somit wäre schließlich der Nachweis theoretisch möglich, ob ein Grenzwert — ein sogenannter „höchstmöglicher“ Wasserstand also — existiert. Praktisch dagegen bereiten die erforderlichen übermäßigen Zahlenoperationen Schwierigkeiten, die bisher noch nicht überwunden sind.

Unter stark vereinfachten Voraussetzungen hat SCHALKWIJK (33) annähernd quadratische Windstaufunktionen für die niederländische Küste entwickelt, die den hydrodynamischen Grundgleichungen genügen. Betrachtet man Abbildung 2, so spricht nichts dafür, daß bei Windgeschwindigkeiten bis zu rund 35 m/sec ein Grenzwert des Windstaus erreicht wird. Ob und wo den Windgeschwindigkeiten selbst eine Grenze gesetzt ist, ist eine weitere, von der Meteorologie noch nicht beantwortete Frage.

In Schottland sind am 31. 1. 1953 mittlere Windgeschwindigkeiten von zeitweise über 35 m/sec registriert worden mit Böen bis 50 m/sec [RODEWALD (30)]. Vergleichsweise beträgt die größte bisher an der schleswig-holsteinischen Westküste registrierte mittlere Windgeschwindigkeit 32 m/sec in Büsum am 10. 2. 1949 mit Böen bis 42 m/sec; während vier Stunden sind damals 30 m/sec überschritten worden.

Für Husum haben SCHELLING (35) und TOMCZAK (40) auf empirischem Wege Windstaubeziehungen abgeleitet, die ohne theoretische Begründung ebenfalls etwa quadratische Funktionen ergaben. Nach SCHELLING bewirkt ein Wind von 30 m/sec in Husum rund 4 m Windstau, was mit höchster Springtide + rund 2 m NN kombiniert auf Wasserstände zwischen + 5,50 und + 6 m NN führen würde. Damit werden wiederum die auf den Seiten 99 bis 100 genannten Wasserstände als obere Grenzen in Frage gestellt.

b) Einfaches Bezugsverfahren

Der Deichinspektor SCHEFFER (34) sagt in seiner Begründung zum „Verordnungsmäßigen Profil der Deiche in Norderdithmarschen vom Jahre 1865“ unter anderem:

„Für die Eiderdeiche waren die Resultate der längs des ganzen Deiches beobachteten Sommerfluten von 1858 und 1860, kombiniert mit der genau festgestellten Höhe der Flut vom Jahre 1825 bei Tönning, maßgebend. Es wurden . . . dazu diejenigen Höhen des Wellenschlages gerechnet, die bei der Flut vom Juli 1858 an denselben verschiedenen Eiderdeichstrecken wirklich beobachtet worden sind. Diese Summe normierte die Höhe der Deiche. Es ist der bezeichnete Weg der einzige, auf dem unter den obwaltenden Umständen überall zu einer positiven Ansicht zu gelangen ist.“

SCHEFFERS „positiver Ansicht“ mußte es also notgedrungen genügen, Bezug zu nehmen auf

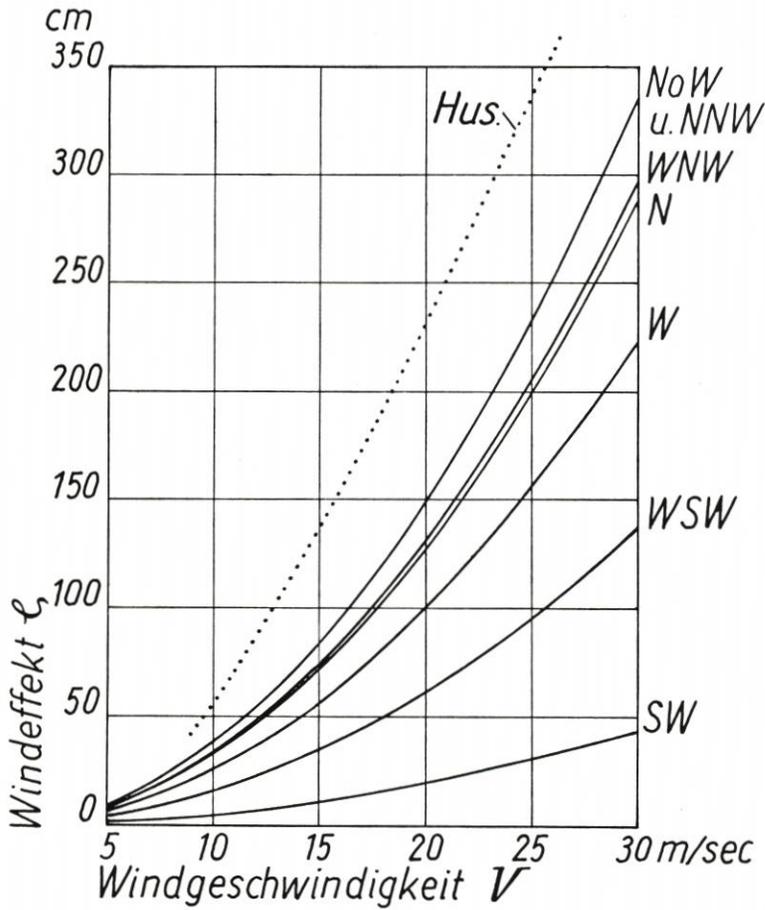


Abb. 2. Windeffekt am Pegel Hoek van Holland für ein stationär auf die ganze Nordsee wirkendes homogenes Windfeld, bei verschiedenen Windrichtungen [nach SCHALKWIJK 1947 (33)]

Formel $\zeta = K \frac{L \cdot V^2 (\cos \Psi - 15^\circ)}{H_0}$, worin:

- ζ (cm) = Windeffekt, d. i. der Aufstau über dem ungestörten Wasserspiegel durch Wind allein,
- L (km) = Länge des Meeresbeckens,
- H_0 (m) = Wassertiefe,
- Ψ = Winkel zwischen der Windrichtung und der Nordseelängsachse,
- V (m/sec) = Windgeschwindigkeit,
- K = aus Beobachtungen gewonnener konstanter Beiwert.

Punktierte Kurve: Windstau Husum bei Hochwasser und bei wirksamster Windrichtung West [nach SCHELLING 1952 (35)]

die Flut von 1825, also die zufällig letzbekannte schwerste Sturmflut als die überhaupt höchste zu unterstellen, ohne wissen zu können, ob nach zufallsfreiem Zusammenhang die obere Wasserstandsgrenze nicht doch noch höher liegt. So wie in diesem klassischen Beispiel ist herkömmlicherweise seit Jahrhunderten bis in die jüngste Zeit vorgegangen worden.

Nach schweren Sturmfluten wird das Deichbestick hin und wieder überprüft und gegebenenfalls der neuen Erfahrung angepaßt, so nach 1634, nach den Flutserien des 18. Jahrhunderts, nach 1825 und schließlich nach dem 16. Februar 1916, der in Husum mit + 5,09 m NN den nach 1825 höchstbeobachteten Wasserstand brachte. Moderne Deichverstärkungsentwürfe für die rechtselbischen Marschen bauen auf den Flutmarken von 1825 auf. Nicht viel anders in Holland: Die Sturmflutmarken von 1894 und 1906 zum Bei-

spiel bestimmten das Maß jener ausgedehnten Deicherhöhung in Zeeland vor gut vierzig Jahren, die mit dem Namen DE MURALT verknüpft sind.

Die Berufung auf eine tatsächlich eingetretene Katastrophenflut hat natürlich viel Überzeugendes an sich. Aber eine noch so gewaltige Erscheinung schließt, wie schon der 1. Februar 1953 lehrt, die Möglichkeit weiterer Steigerung nicht aus. Denn säkulare Wasserstandsverschiebungen, Veränderungen des Gewässerbettes, örtliche Sackungen von Flutmarken und anderes verändern die für unsere und kommende Generationen wichtigste Eigenschaft einer ehemaligen Sturmflut, nämlich die Höhenlage ihres Scheitels in bezug auf die heute und morgen zu schützende Landoberfläche. Aus dem Studium historischer Bedeichungen hat PETERSEN (27) gefolgert, daß „etwa alle 100 Jahre die Deiche um 30 bis 40 cm erhöht werden mußten“. Für die Niederlande nennt VAN VEEN (44) als wesentlich schnelleres Maß, daß die „Sturmfluten im Durchschnitt alle 30 bis 40 Jahre von einer — ebenfalls durchschnittlich — jeweils 10 Zoll höheren Flut übertroffen werden“. Dieser Anstieg von rund 0,75 m je Jahrhundert gehe allerdings zum Teil auf die säkulare Landsackung im holländischen Alluvium zurück. Das Problem wird auf Seite 107 ff. ausführlicher behandelt.

In bewußter oder unbewußter Anerkennung solcher bedrohlichen Erscheinungen hat man mit vollem Recht in den meisten Deichbesticks einen willkürlich angenommenen „Sicherheitszuschlag“ von mehreren Dezimetern eingeschaltet (vgl. z. B. S. 99 Ziff. 8). Das Ziel muß aber sein, die Ungewißheiten einzugrenzen und einen zahlenmäßig definierten, maßgebenden Sturmflutwasserstand anzugeben. Das einfache Bezugsverfahren allein genügt dazu nicht.

c) Kombiniertes Bezugsverfahren

Das kombinierte Bezugsverfahren besteht darin, getrennt gefundene extreme Einzelmerkmale verschiedener Sturmfluten und deren Begleiterscheinungen in ungünstigstem Sinne zu kombinieren. Die geläufigste und überzeugendste Abart dieses Verfahrens ist die Überlagerung (Superposition) des bisher größten einwandfrei beobachteten Windstaus über dem zugehörigen astronomischen Tidehochwasserstand und des in den Sturmmonaten Oktober bis März astronomisch höchstmöglichen Springtidehochwasserstandes. SCHELLING hat dies Verfahren als beweiskräftigste Stütze seiner Ermittlungen für Husum angewandt (s. S. 99).

Auf der einen Seite hat das Verfahren den Vorzug der Einfachheit und der Verwendung nur zweier, klar bestimmter Größen und daher auch den Nimbus hoher Zuverlässigkeit. Es besitzt andererseits einen durch den kurzen Zeitraum zuverlässiger Pegelregistrierungen eng bedingten Zufallscharakter, selbst wenn die zweite Größe, das vorausberechnete astronomische Springtidehochwasser, als gesichert anzunehmen ist. Wenn zum Beispiel der am Pegel Husum seit 45 Jahren (Schreibpegel seit 1905) beobachtete größte Windstau am 16. 2. 1916 3,6 m betragen hat, so darf dieser zwar als ein außergewöhnlich hoher, jedoch nicht ohne weiteres als der überhaupt äußerste Wert angesehen werden. Schon der Orkan vom 9./10. 2. 1949 in Husum hätte nach SCHELLINGS Überlegungen einen größeren Windstau von etwa 4,1 m über Tidehochwasserstand erzeugen können, falls Wind und Tide damals ungünstig zusammengetroffen wären. Der damalige Windstau über Tideniedrigwasser hatte übrigens den größten hier bisher beobachteten Wert von 5,70 m.

Derartige Rechnungsversuche zeigen immer wieder, wie fragwürdig es ist, wenn noch so markante Einzelergebnisse gesondert betrachtet werden. Das Verfahren darf daher, ebenso wie das im vorigen Abschnitt behandelte einfache Bezugsverfahren, allenfalls ergänzend und vergleichend angewandt werden.

Die Frage, wie weit einfache Superposition bei verschiedenen Wassertiefen zulässig ist, wird im Abschnitt V. behandelt.

d) Häufigkeitsverfahren

In seiner Stellungnahme zu den Untersuchungen von SCHELLING hat der KÜSTENAUSSCHUSS NORD- und OSTSEE (20) schon 1950 erklärt: „Die Frage nach der größtmöglichen Sturmfluthöhe muß also z. Zt. noch offen bleiben. (Die Beantwortung würde mindestens voraussetzen, daß einige der schwierigsten Probleme, welche die dynamische Meereskunde in Gebieten wie der

Nordsee heute aufzuweisen hat, eine hinreichend allgemeine Lösung gefunden hätten; vermutlich werden sich jedoch Fragen dieser Art auf sehr lange Zeit hin exakt überhaupt nicht beantworten lassen.) *Man sollte daher sinnvollerweise nicht nach der größtmöglichen Sturmfluthöhe schlechthin fragen, sondern nach der Häufigkeit, mit der das Eintreten oder Überschreiten bestimmter Wasserstände zu erwarten ist²⁾.*

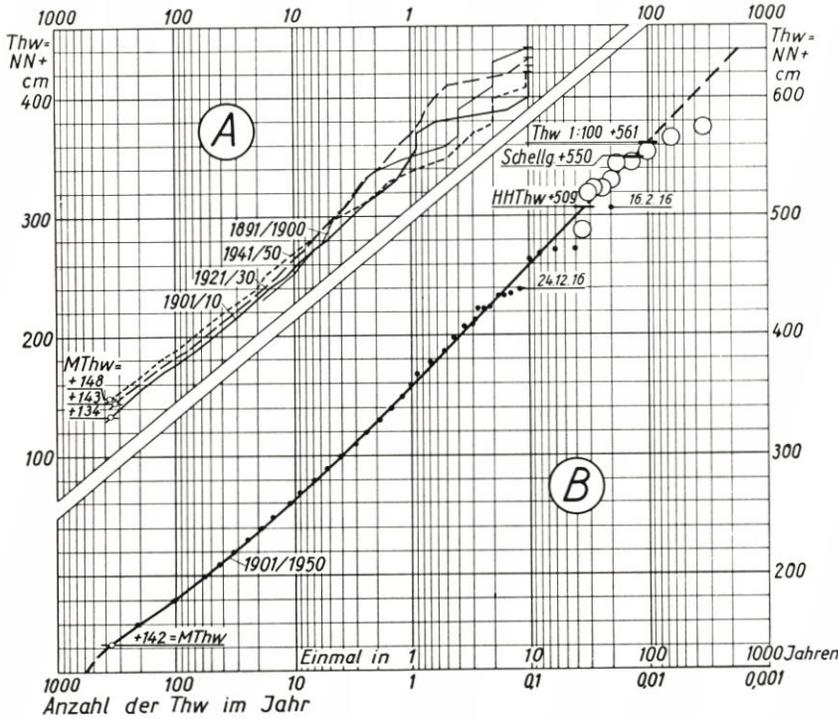


Abb. 3. Mittlere jährliche Überschreitungshäufigkeiten der Tidehochwasserstände am Pegel Husum von 1634 bis 1950

A. Zehnjahresmittel.

B. Punkte: Fünfzigjahresmittel 1901—50 nach unmittelbaren Pegelbeobachtungen. Sturmflutdaten in Reihenfolge von oben nach unten: 16. 2. 16 (HHThw), 18. 10. 36, 27. 10. 36, 24. 11. 38, 6. 11. 11, 24. 12. 16.

Linie: Ausgleichkurve der Fünfzigjahresmittel 1901—50.

Gestrichelt: Gradlinige Extrapolation für 1901—50.

Kreise: Überschreitungshäufigkeit der zehn schwersten Sturmfluten in den letzten 300 Jahren. Scheitelstände der historischen Sturmfluten rekonstruiert und auf den Gewässerzustand 1925 (Mitte von 1901—50) nach Tabelle 3a und 3b.

Sturmflutdaten in Reihenfolge von oben nach unten:

24. 12. 1717	25. 2. 1718	26. 2. 1726	
4. 2. 1825	31. 12. 1720	7. 10. 1756	
11. 11. 1634	22. 3. 1791	16. 2. 1916	11. 12. 1792

Auch die Niederländer hatten, wie erwähnt, aus denselben Erwägungen seit 1939 das Häufigkeitsverfahren zur Anwendung gebracht, nachdem WEMELSFELDER (45) nachgewiesen hatte, daß die Häufigkeitsverteilung der Wasserstände innerhalb des beobachteten Bereichs ziemlich genau das „POISSONSCHE Gesetz der seltenen Ereignisse“ erfüllt. Indem er weiterhin annimmt,

²⁾ In () = zusätzlicher Wortlaut des Entwurfs, in der Stellungnahme nicht enthalten.

daß die Gesetzmäßigkeit in den bisher noch nicht beobachteten Bereich höchster Wasserstände hinein extrapoliert werden dürfe, bemerkt er dazu, daß hinreichender Aufschluß über die Eintrittswahrscheinlichkeit sehr hoher Wasserstände anscheinend auf keine andere Weise zu erhalten ist.

Nachprüfungen an den Pegeln Husum und Büsum ergaben für die verhältnismäßig kurze Beobachtungszeit 1901 bis 1950 auch hier die Gültigkeit des genannten Gesetzes.

Abbildung 3 zeigt zunächst die mittleren jährlichen Überschreitungshäufigkeiten der Wasserstände nach Registrierungen von 1901 bis 1950 in halblogarithmischer Auftragung (starke Punkte und Linie). Bis in den Bereich + 470 cm NN, das ist rund + 325 cm MThw, verläuft die durch die Ausgleichsline vorgestellte Häufigkeitsfunktion eindeutig regelmäßig gestreckt und im oberen Bereich gerade, das heißt rein logarithmisch, darüber hinaus streuen die Wertepaare entsprechend ihrem abnehmenden Gewicht, bis schließlich die Häufigkeit $n = 0,03$ des höchstbeobachteten HHThw = 509 cm NN als einmalige Beobachtung keinen Mittelwert mehr darstellt, sondern einen einmaligen Zufallswert. Bei längerer Beobachtungsdauer ist aber eine weitere Konzentration der Wertepaare zur Ausgleichsline zu erwarten, so wie es entsprechend der Übergang von den dargestellten Zehnjahresmitteln A zu den 50-Jahresmitteln B bereits veranschaulicht. Wenn nunmehr die Gerade B über etwa + 570 cm NN hinaus um eine mäßige Strecke extrapoliert wird, etwa bis in den Bereich + 600 cm NN, dann widerspricht diese Kontinuität weder den formalen Regeln der Wahrscheinlichkeit noch insbesondere den physikalischen Möglichkeiten der Wasserstandsbildung, wie auf Seite 100 erläutert wurde.

Zur weiteren Klärung der Häufigkeitsverteilung im extremen Wasserstandsbereich wurden die höchsten historisch überlieferten Sturmfluten auf gleiche hydrographische Verhältnisse des Jahres 1925, der Mitte der Pegelaufzeichnungen von 1901 bis 1950, beschiedt (Tabelle 3b). Man erhält dann eine annähernd vollständige Sammlung von zehn Wasserständen zwischen + 500 und + 600 cm NN für einen Zeitraum von rund dreihundert Jahren. Deren mittlere jährliche Häufigkeiten (Abb. 3, Kreise) decken sich ungefähr mit der geradlinigen Extrapolation der Häufigkeitslinie. Angesichts der Unsicherheiten in Überlieferung und Beschiedung kann die Rekonstruktion der historischen Sturmfluten nur einen Versuch mit gewissen Fehlermöglichkeiten nach oben und unten darstellen. Der Charakter der Untersuchungen gestattet aus Sicherheitsgründen aber nicht, etwa nur der unteren Fehlergrenze zu folgen.

Nachdem man jetzt die dargestellte Häufigkeitsverteilung als hinreichend gesichert ansehen darf, ist außerdem zu bedenken, daß die Funktion durchaus an die zur Zeit der Beobachtungen herrschenden hydrographisch-meteorologischen Verhältnisse gebunden ist, zum Beispiel an den Zustand des Gewässerbettes von 1901 bis 1950, den zugehörigen Stand der säkularen Wasserstandsänderung und anderes. Ferner handelt es sich in jedem Fall nur um langzeitige Durchschnittswerte der Häufigkeiten, die über die voraussichtliche Höhe und den Zeitpunkt einzelner Sturmfluten nur sehr beschränkte Aussagen gestatten.

Eine obere Grenze, der sogenannte „höchstmögliche“ Wasserstand, der sich in der Häufigkeitskurve durch Rechtswendung zu einer Horizontalen andeuten müßte, ist in dem für das Deichbestick zu erwägenden Bereich bis etwa + 600 cm NN nicht feststellbar, der Begriff ist also praktisch genommen widersinnig. Man kann, mit aller gebotenen Beachtung der Voraussetzungen, lediglich feststellen, wie oft ein bestimmter Wasserstand im langzeitigen Durchschnitt eintritt. Man kann die Wahrscheinlichkeit berechnen, mit der dieser Wasserstand in einem Zeitraum bestimmter Dauer, zum Beispiel in einem Jahr oder in einem Jahrhundert, zu erwarten ist. Das ermöglicht dann, verschiedene Wasserstände ihrer Höhe und Eintrittswahrscheinlichkeit entsprechend nach Gesichtspunkten des Hochwasserschutzes zu beurteilen und schließlich den für das Deichbestick „maßgebenden Sturmflutwasserstand“ auszuwählen.

Hier ist nicht der Platz, wahrscheinlichkeitstheoretischen Fragen nachzugehen. Es sei aber darauf hingewiesen, daß durch die Anhäufung genügender Zufallswerte das gesuchte Gesetz der Häufigkeitsverteilung nicht weniger streng hervortritt, als zum Beispiel ein Windstaugesetz, das empirisch und im oberen Bereich aus meist wenigen, streuenden Wertepaaren gemittelt wird. Vergleichsweise stellt sich ferner aus noch unabgeschlossenen Untersuchungen, die das SEEWETTERAMT Hamburg mitgeteilt hat, heraus, daß die Häufigkeitsverteilung der Windstärken in Beaufort auf zwei Stationen in der südwestlichen Nordsee auf Wetterschiff S 2 und in der Deutschen Bucht auf Feuerschiff Elbe 1, eine ähnliche ist wie diejenige der hier behandelten Küstenwasserstände. Die Kontinuität der Windstärkeverteilung bis in den oberhalb der Beobachtungen liegenden Bereich hinein ist kaum zweifelhaft; ebensowenig ist dann an der Kontinuität der Wasserstandsverteilung als Auswirkung der Windstärken (Windstau) zu zweifeln.

Der bekannte niederländische Ingenieur VAN VEEN (44) hat in verständlicher Besorgnis vor Trugschlüssen „den Glauben an die Vorhersage mittels Häufigkeitskurven als verhängnisvolle Ansicht“ bezeichnet, die ins Verderben führen könne. Er weist auf die „einfachen Zeichen an der Wand“, die historischen Sturmflutsteine der niederländischen Küste hin, und betont warnend, daß die Überflutungs-Häufigkeit dieser Marken heute wesentlich größer ist als damals. Das trifft nicht nur für die Niederlande mit ihrer merklichen Küstensackung zu, sondern ebenfalls für

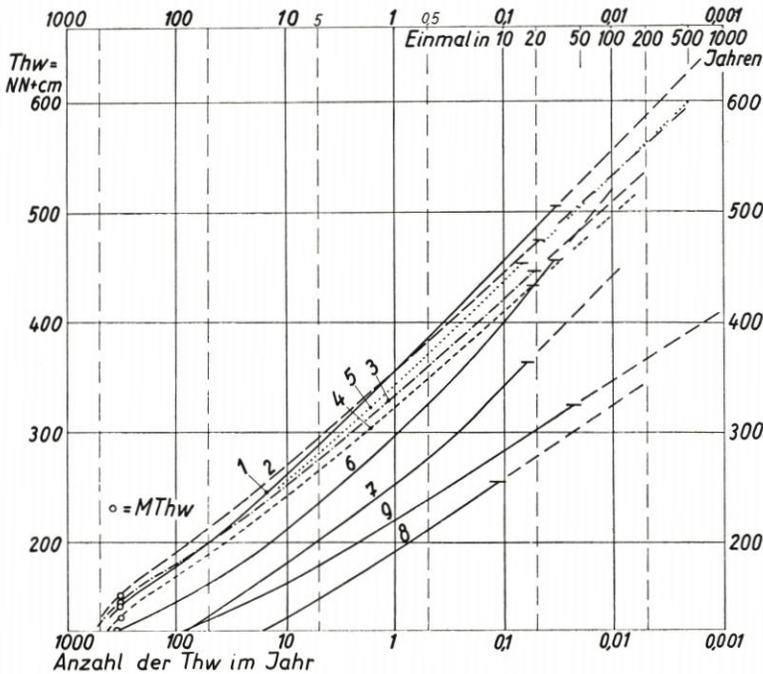


Abb. 4. Mittlere jährliche Überschreitungshäufigkeiten der Tidehochwasserstände in Schleswig-Holstein und Holland

1. Husum	1901—50	6. Delfzijl	1860—1953
2. Tönning	1901—50	7. Harlingen	1862—1953
3. Büsum	1901—50	8. Den Helder	1933—1953
4. Cuxhaven	1901—50	9. Hoek van Holland	1888—1937
5. Glückstadt/Elbe	1901—50		

(Nr. 6 bis 9 nach ALGEMENE DIENST RIJKSWATERSTAAT 's-Gravenhage)
Unterbrochene Linien = extrapoliert

die deutsche Nordseeküste, allein schon wegen des säkularen Wasseranstiegs, aus welcher Ursache er auch stamme. Es wäre auch hier verderblich, sich auf Häufigkeitskurven zu verlassen, die nicht auch durch kritische Berücksichtigung historischer Umstände kontrolliert würden. In diesem Sinne ist der oben erwähnte Versuch zu verstehen, die obere Extrapolation der Häufigkeitskurve für Husum durch historische Sturmflutwasserstände zu sichern, die auf die Gegenwart besichtigt sind.

Abbildung 4 enthält eine Zusammenstellung von Häufigkeitskurven der schleswig-holsteinischen Westküste; die obere Extrapolation für Tönning und Büsum ist in der für Husum beschriebenen Art unter Beachtung der historischen Sturmfluten geprüft. Die Kurvengruppe für die niederländische Küste stammt aus dem Archiv des Rijkswaterstaat in Den Haag durch die Vermittlung des Herrn Ing. WEMFELFELDER. Entsprechende Unterlagen von der niedersächsischen Küste stehen zur Zeit noch vor der Bearbeitung.

Die Darstellung vermag in einfacher Weise einige grundsätzliche, teils schon bekannte An-

schauungen zu vermitteln. Die Pegelgruppe der schleswig-holsteinischen Westküste, besonders Husum, ist hohen Wasserständen (Windstau) wesentlich stärker ausgesetzt als die niederländischen Pegel südlich der Zuiderzee. Der ausnehmend steile Verlauf der Häufigkeitsverteilung hoher Wasserstände an Punkten wie Husum, Delfzijl und Harlingen legt hier besondere Vorsicht bei der Wahl der maßgebenden Sturmfluthöhen nahe. Weitere Folgerungen werden auf den Seiten 141 bis 146 behandelt.

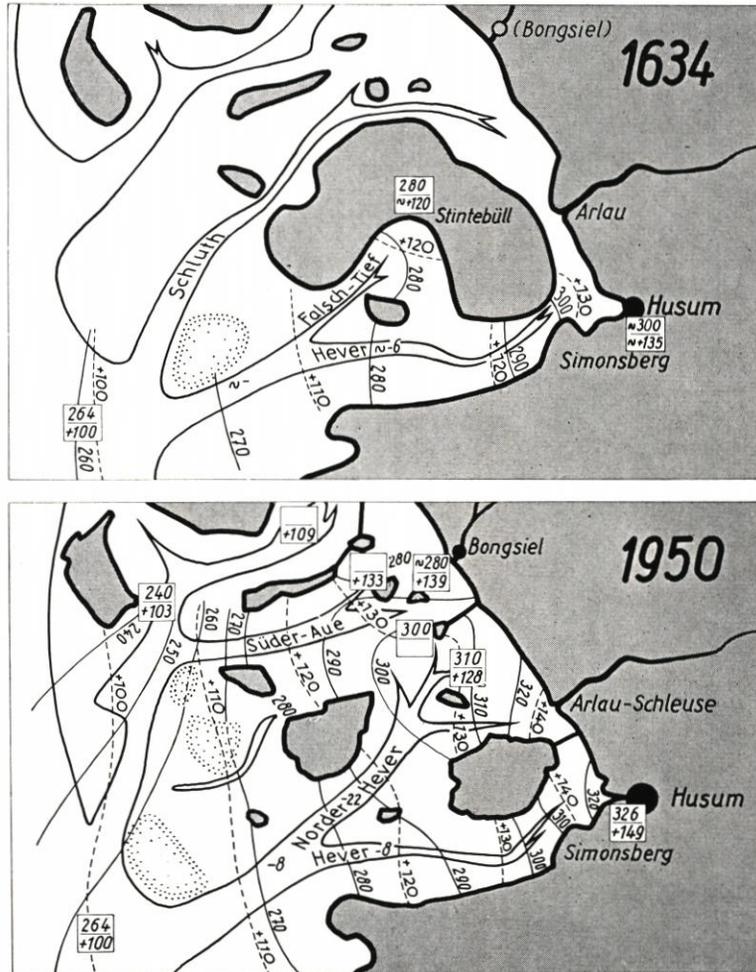


Abb. 5 und 6. Gewässerzustand der Husumer Bucht 1634 und 1950 (schematisch)
Tidewerte 1634 geschätzt, 1950 nach Beobachtungen, teils interpoliert. Tide der offenen See unverändert angenommen

Mittlerer Tidehub:

326

 in cm und ausgezogene Isolines
Mittleres Tidehochwasser:

+149

 in cm +NN und gestrichelte Isolines

Abschließend darf der Wert des Häufigkeitsverfahrens für die vorliegende praktische Aufgabe so gesehen werden: Es liefert heute als einziges Verfahren einige zufallsfreie Beziehungen über das Auftreten kritischer Sturmflutwasserstände und dadurch die Möglichkeit, einen praktisch „maßgebenden“ Sturmflutwasserstand nach mehrseitigen Gesichtspunkten zu wählen.

4. Berücksichtigung raumbedingter und säkularer Wasserstandsänderungen

Um die Höhen früherer Sturmfluten mit heutigen Beobachtungen vergleichbar zu machen, muß unter anderem geklärt werden, ob und wie sich die Voraussetzungen der Wasserstandsbildung inzwischen geändert haben. Dabei werden, seit dem hier in Betracht kommenden Zeitpunkt kurz vor dem Sturmflutjahr 1634, die Tide- und Windstauverhältnisse der offenen See als unveränderlich angesehen, dagegen nicht diejenigen des Wattenmeeres.

Säkularer³⁾ Wasserstandsänderungen sind hier solche, die durch weit- oder tiefreichende (nicht raumbedingte) Ursachen geophysikalischer Natur langdauernd bewirkt werden (Klimaänderungen, Krustenbewegungen u. a.).

Die aus Pegelbeobachtungen erkenntlichen, allgemein in Form von Ganglinien übergreifender 19jähriger Mittel dargestellten Wasserstandsänderungen enthalten meistens raumbedingte Anteile⁴⁾ und decken somit nicht immer den obigen Begriff „säkular“.

5. Raumbedingte Wasserstandsänderungen

a) Änderung des Mitteltidehochwassers in Husum

Die Raumveränderungen während der letzten drei Jahrhunderte in der Husumer Bucht sind durch die Zerteilung Alt-Nordstrands 1634, sowie durch den Einbruch, das Vordringen und die Ausbreitung der Norderhever in Verbindung mit dem Verschwinden schützender Landmassen vor der Festlandsküste gekennzeichnet.

Die heutigen Tideverhältnisse zeigt überschläglich die Abbildung 6. Das Einzugsgebiet der Norderhever beträgt rund 200 km².

Vor der Katastrophenflut von 1634 (Abb. 5) war das Einzugsgebiet des Falschtiefs, des wesentlich kleineren Vorläufers der heutigen Norderhever, die nur rund 50 km² große, flache Rungholtbucht mit dem Ort Stintebüll in ihrem Innern. Die Außenhever war entsprechend flach und schmal. Der eindringende Teil der Tidewelle muß schwächer als heute gewesen sein. Die damalige Süderhever war zwar etwas flacher, hatte aber im wesentlichen schon die Gestalt und Größe von heute. Insgesamt wird geschätzt, daß in Husum der damalige Tidehub 25 cm und das damalige MThw 15 cm kleiner gewesen sind als heute.

Eine Vorstellung über die weitere Entwicklung des MThw bei Pellworm und in Husum infolge von Raumveränderungen seit 1634 vermittelt die Abbildung 7.

Je weiter das Falschtief beziehungsweise die spätere Norderhever trichterartig vordrang, sein Einzugsgebiet vergrößerte und seinen Lauf verlängerte, desto größer wird in seinem — sich nordwärts verlagernden — Oberlauf der Tidehub geworden sein, bis bei dem heutigen Zustand der MThw-Unterschied zwischen der Mündung und der Küste rund 40 cm groß geworden ist. Bei Ost-Pellworm muß also ein länger dauernder Anstieg des MThw stattgefunden haben, der vorübergehend 15 bis 20 cm gegenüber dem MThw von 1634 betragen haben mag, um nach dem weiteren Vordringen der Norderhever an Pellworm vorbei wieder etwas abzuklingen, vielleicht seit Anfang des 19. Jahrhunderts (vgl. Abb. 7). Wenn also der bei MÜLLER-FISCHER (26) zitierte Generalbericht des Deichinspektors SALCHOW über das Pellwormer Wasserwesen von 1804 angibt, daß seit der Anlage der neuen Pellwormer Deiche (1687) „die ordinäre Fluthöhe um 1 bis 1¼ Fuß (= rund 35 cm in 117 Jahren) gestiegen ist“, dann müssen 35—15 = rund 20 cm als Auswirkung einer nicht raumbedingten, nämlich der säkularen Wasserstandshebung gedeutet werden; das ergibt für den Zeitraum 1687 bis 1804 einen mittleren MThw-Anstieg von 1,7 mm/Jahr. Dies ist aus der Husumer Bucht der einzig bekannte zahlenmäßige Anhalt für das 17. und 18. Jahrhundert⁵⁾.

³⁾ Der Ausdruck „säkular“ ist dagegen in der Geologie auf gleichsinnig verlaufende tektonische Vorgänge von jahrhundertelanger Dauer beschränkt.

⁴⁾ Raumbedingt werden hier diejenigen länger- oder kurzdauernden Wasserstandsänderungen genannt, die durch örtlich begrenzte Umformung des Wasserraums im Küstengebiet zustande kommen.

⁵⁾ Vgl. Fußnote S. 113.

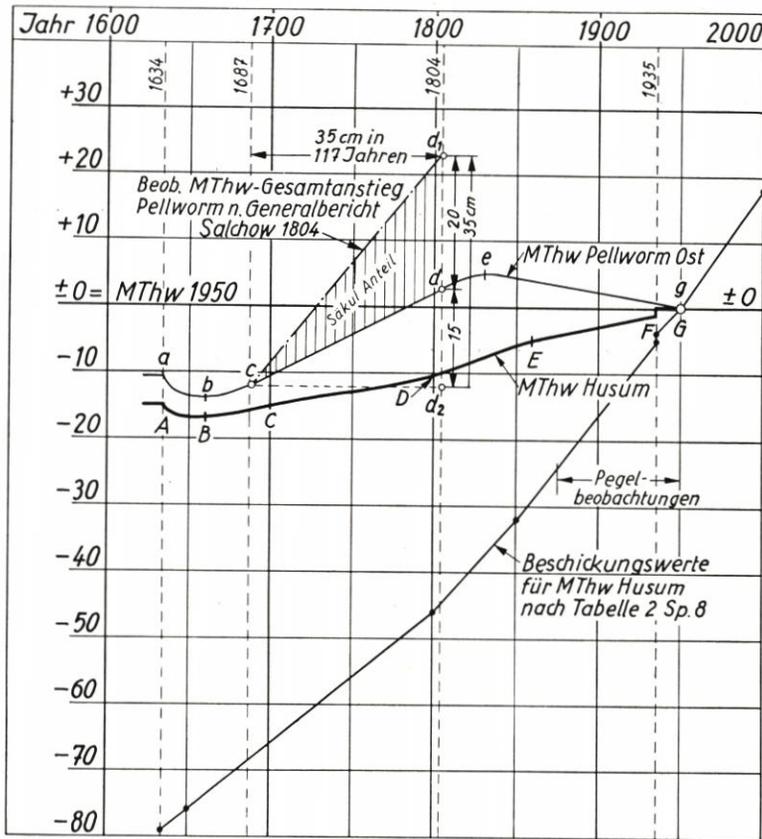


Abb. 7. Raumbedingte Entwicklungstendenz des MThw in Husum und Pellworm Ost, 1634 bis 1950

Vergleiche Tabelle 2 und Abb. 8. Die MThw-Stände sind auf das MThw 1950 bezogen. Die Tide der freien See wird konstant gesetzt. „Säkulare“ Einflüsse (klimatisch, geologisch o. ä.) gleich Null gesetzt.

Zum MThw Husum:

Abschnitt:	Zeitraum rd.:	Bemerkungen:
A B	1634—1660 (?)	Ausbreitung der Tide über das zerstörte Alt-Nordstrand, Prielbildung im Anfang. MThw sinkt.
B D	1660—1800	Tide der sich erweiternden Norderhever zunehmend wirksam bis Husum. Süderhever vertiefend. Sturmflutserien des 18. Jahrhunderts förderlich. MThw steigt.
D E	1800—1860	Oberlauf der Norderhever erweitert sich zur Küste. Zunehmende Überlagerung mit der Süderhever-Tide. Verstärkter MThw-Anstieg.
E F	1860—1935	Eindeichungen am Oberlauf der Süderhever steigern MThw in Husum. (Dockkoog 1848, Abschleusung Husumer Hafen 1859, Simonsberger Koog 1861, Morsumkoog 1867, Pohnshalligkoog 1924).
F G	1935—1950	Nordstrander Damm 1935 mit nachfolgender Aufschlickung und Eindeichung des Finkhaushalligkooges 1935 steigern MThw (hier nicht besonders berücksichtigt).

Zum MThw Pellworm Ost:

a	1634	Untergang Alt-Nordstrands am 11. 11. 1634.
a b	1634—1660 (?)	Überlauf des Thw über die zerstörten Köge. MThw sinkt.

b) Änderung der Sturmflutwasserstände in Husum

Die Tabelle 1 enthält die Windstauwerte von Sturmfluten der letzten Jahrzehnte und läßt einige Merkmale für den heutigen Zustand erkennen.

- aa) Im Mittel dreier Sturmfluten aus West bis Südwest (18. 10. 1936, 27. 10. 1936 und 24. 11. 1938) verhält sich die Staudifferenz der Süderhever : Norderhever : Süderau wie 100 : 81 : 57 (Zeile 6). Die zugehörigen Pegelentfernungen (Staulängen) betragen rund 30 : 30 : 22 km.
- bb) Die Windrichtungsempfindlichkeit zeigt sich im Unterschied der Zeilen (1+2) und 3. Das Verhältnis der Staufälle der drei Wattströme ist — in derselben Reihenfolge, und Süderhever gleich 100 gesetzt — bei Weststurm 100 : 72 : 48, bei Südwest 100 : 108 : 92. Bei Weststurm staut es also in der Süderhever mehr, bei Südwest in der Norderhever und Süderau, was an sich bekannt ist.
- cc) Der Stau entlang dem Festland zwischen Husum und Bongsiel (Spalte 13) fällt bei Weststurm in Richtung Bongsiel ab, bei Südwest schwach umgekehrt.
- dd) Nach SCHELLING (35) liegt der Sturmflutscheitel auf der Südseite des Nordstrander Dammes (Husum) rund 20 cm höher als auf der Nordseite (Arlauschleuse), und zwar sowohl bei West- als auch bei Südweststurm. Vergleiche auch Tabelle 1, Spalte 7 und 8.

Tabelle 1
Heutige Windstauverhältnisse, Husumer Bucht

1	2	3 4 5 6 7 8					9 10 11 12 13						
		Stau in cm*)					Staudifferenz Ds in cm						
Gewässer :		Wattenmeer				Küste		Süder- Au	Norder- Hever	Süder- Hever	Küste		
Pegel :		Ho	So	St	Bo	Ar	Hu	Bo -Ho	Bo -So	Hu -Ho	Hu -So	Hu -Bo	
Tag	Wind												
1	18. 10. 1936	W	271	(240)	304	307		325	36	(61)	54	(85)	+18
2	27. 10. 1936	WSW	251	(240)	292	296		325	45	(61)	74	(85)	+29
3	24. 11. 1938	SW	260	250	302	315	297	310	55	65	50	60	— 5
4	16. 2. 1916	W	277					359			82		
5	Mittel 1...3		261	243	299	306		320	44	62	59	77	14
6	In % von Ds Süderhever		57	81	77	100		18					
7	Mittel 1 + 2 (West)		761	(240)	298	301		325	40	(61)	64	(85)	24
8	In % von Ds Süderhever		47	72	74	100		28					
9	Zeile 3 in % von Ds Süderhever (Südwest)		92	108	83	100		— 8					

*) Erklärung:

s = HW_{beob.} — HW_{astr.} = Stau [Werte nach SCHELLING (35)]

() = geschätzte Werte

Ho = Hooge, So = Süderoogsand, St = Strand, Bo = Bongsiel, Ar = Arlauschleuse,

Hu = Husum

Die Beobachtungen aa) bis dd) besagen für den heutigen Zustand, daß das Wasser bei Weststurm in der tiefwasserfernen, doch trichterförmigen Bucht der Süderhever wesentlich stärker angestaut wird als in der offenen, tiefwassernäheren Küste südlich Bongsiel. Am Nord-

b e	1660—1830 (?)	Priel- und Strombildungen im überfluteten Alt-Nordstrand. Norderhever vertieft, erweitert und verlängert. Tidehub und MThw steigen.
e g	1830—1950	Norderhever andauernd erweitert, besonders im Oberlauf. MThw im Oberlauf steigt (Überlagerung mit der Tide der Süderau!). MThw Pellworm sinkt etwas, da nunmehr am Mittellauf gelegen.
c d _{2d}	1687—1804	Geschätzter raumbedingter MThw-Anstieg in 117 Jahren = 15 cm.
c d _{2d1}	„ „	Beobachteter relativer Gesamtanstieg lt. Generalbericht von Salchow 1804 = 1 1/4 Fuß Rhld. = rd. 35 cm.
c d ₁	„ „	„Säkularer“ Anteil des beobachteten MThw-Anstiegs, gefolgert als Differenz 35—15 = 20 cm in 117 Jahren.

strander Damm besteht gleichzeitig ein ansehnliches Scheitelgefälle von einigen Dezimetern nach Norden. Bei Südweststurm (besonders 24. 11. 1938) setzt sich der Stau in der Norderhever und Süderau soweit durch, daß entgegen dem Gefälle des astronomischen Tidehochwassers die Sturmflutscheitel in Husum und Bongsiel auf fast gleicher Höhe liegen. Zwischen beiden bewirkt der Schutz durch die Insel Nordstrand und den Nordstrander Damm ein örtliches Absinken der Wasserstände am Festland um rund 20 cm. Bestände der Damm nicht, so würden die Husumer Wasserstände schätzungsweise 10 cm niedriger sein.

Demgegenüber ist das Verhalten der Sturmflut von 1634, im wesentlichen durch westlichen Sturm hervorgerufen, folgendermaßen zu beurteilen:

- ee) Der Küstenstrich von der Arlauschleuse bis zum jetzigen Bongsiel wurde durch die damals größeren Landmassen Altnordstrands und der Halligen gegen die See abgeschirmt. Insbesondere im Südwesten fehlen noch die breiten Seichtwasserflächen der Watten im oberen Einzugsgebiet der heutigen Norderhever (Nordstrandischmoor und Hamburger Hallig), die heutzutage aus der Norderhever heraus den Anstau zur Festlandsküste begünstigen (vgl. aa und bb). Der Windstaubetrag wird also hier im Jahre 1634 verhältnismäßig geringer gewesen sein als heute.
- ff) Das Anstauvermögen längs der Süderhever war ähnlich groß wie unter den heutigen Umständen (Deichbruchentlastung nicht berücksichtigt).
- gg) Da der Nordstrander Damm nicht bestand, wird Wasser aus der oberen Süderhever über das Watt hinter Nordstrand nordwärts abgeflossen sein und die innere Husumer Bucht entlastet haben.
- hh) Deichbrüche auf Nordstrand entlasteten ebenfalls den Wasserstand vor Husum.

Diese Umstände zusammen bewirken, daß der Sturm vom 11. 11. 1634 einen schätzungsweise 20 bis 30 cm höheren Windstau am Pegel Husum erzeugen würde, wenn er heute eintreäte. Hierbei ist die säkulare Hebung der mittleren Wasserstände noch nicht berücksichtigt.

Für die Sturmflut von 1825 gelangt man zu einem ähnlichen Beschickungswert des Sturmflutscheitels in Husum von rund 20 cm über dem damaligen Scheitelstand, denn:

- ii) damals war der Windstau an der Küstenstrecke zwischen Bongsiel und Arlauschleuse wegen der Vernichtung der abschirmenden Landmassen Altnordstrands größer als 1634 und vielleicht ähnlich groß wie heute. Es muß also das Husum entlastende Küstenlängsgefälle (siehe gg)) zwar kleiner als 1634 gewesen sein,
 - kk) aber der Wasserraum am Oberende der Süderhever war nach den auf 1634 folgenden Ausdeichungen weit geräumiger als heute, und der Windstau bei Husum wird bei so verringertem Trichtereffekt geringer gewesen sein.
- ll) Der Aufstau südlich des Nordstrander Dammes fehlte damals.

Erst mit der Eindeichung des Dockkooges (1848), des Simonsberger Kooges (1861) und des Morsumkooges (um 1867) wird der Übergang zum heutigen Zustand der Husumer Bucht eingeleitet, bis er nach dem Bau der Hafenschleuse Husum (1859), des Pohnshalligkooges (1924), des hochwasserfreien Nordstrander Dammes (1935) und schließlich nach der Eindeichung der Finkhaushallig (1935) ganz erreicht ist (vgl. Abb. 7).

c) Änderung des Mitteltidehochwassers in Tönning, Büsum, Cuxhaven und Glückstadt

Anders als nach der wechselhaften Art in der Husumer Bucht hat sich der Wasserraum der Außeneider und des dithmarscher Wattenmeeres entwickelt. Watten, Sände und Köge wachsen gleichmäßig an.

Dabei hat die mittlere Tide von Tönning, Büsum und Cuxhaven offenbar keine wesentlichen raumbedingten Änderungen erfahren. Am Pegel Tönning hat die Abdämmung der Eider bei Nordfeld 1936 einen plötzlichen Anstieg der Tidehochwasser um rund 10 cm bewirkt.

Der mittlere Tidehochwasserstand in Glückstadt/Elbe hängt sehr von den jeweiligen Wasserräumen in den verschiedenen Elbestrecken und im Hamburger Hafen [HENSEN (12), LUCHT (25)] ab. Er ist während der stärksten Fahrwasserbaggerungen und Regelungsarbeiten (rund 15 Mio. cbm jährlich aus der Elbstrecke Geesthacht bis Mündung) nicht wie an den Seepegeln stetig angestiegen, sondern von 1900 bis 1950 um 0,5 mm/Jahr gefallen (vgl. Abb. 8). Angenommen, der nichtraumbedingte säkulare Anteil des beobachteten MThw-Anstiegs sei während dieser Zeit ähnlich Cuxhaven (2,7 mm/Jahr) Δ MThw = 2,5 mm/Jahr gewesen, dann

da die Sturmflut-Wasserräume durch die Fahrwasserbaggerungen verhältnismäßig weniger betroffen werden als die normalen Fluträume. Zahlenmäßige Nachweise fehlen noch. Daher werden für die Beschickung früherer Sturmfluten die Anstiegswerte der MThw berücksichtigt. Zu beachten ist aber, daß am 4. 2. 1825 ausgedehnte, entlastende Marschüberflutungen auf beiden Ufern vorkamen. Die Entlastung wird — unter Vorbehalt einer Sonderuntersuchung — nach niederländischen Erfahrungen über die Sturmflut am 1. 2. 1953 nur wenige Zentimeter betragen haben und wird auf höchstens 10 cm am Glückstädter Pegel geschätzt. In den engeren Nebenflüssen bestehen natürlich andere Voraussetzungen.

Die vorgenommene Abschätzung der raumbedingten Wasserstandsänderungen beruht vorwiegend auf qualitativen Erwägungen und kann ohne theoretische Analyse und weitergehendes Archivstudium keine endgültige Beweiskraft beanspruchen. Doch sie umreißt die Größenordnungen und kennzeichnet die Tendenzen. Es überrascht dabei, daß die ständigen Anlandungen und Bedeichungen in Süderdithmarschen keine fühlbaren Wasserstandserhöhungen an den dortigen Pegeln mit sich gebracht haben sollen. Wenn demgegenüber Maßnahmen wie die Eiderabdämmung, der Abschluß der Zuiderzee oder der Sylter Dammbau in nächster Umgebung wesentlich nachhaltiger gewirkt haben, so handelt es sich um Eingriffe in Systeme von stärkerer Strömung.

6. Säkulare Wasserstandsänderung

Für die hier gegebene Aufgabe genügt es, die langjährige Änderung des Mitteltidehochwasserstandes (Δ MThw) zu verfolgen.

Im rund hundertjährigen Zeitraum 1850—1950 betrug der durchschnittliche Anstieg der jährlichen MThw, festgestellt nach dem Gang übergreifender 19jähriger Mittel, an den Pegeln der schleswig-holsteinischen Westküste im Mittel 2,7 mm/Jahr.

An den einzelnen Pegeln wurde beobachtet:

Δ MThw	Husum	von 1868/1886 bis 1935/1953	= 3,1 mm/Jahr
„	Tönning ⁶⁾	„ 1867/1885 „ 1935/1953	= 2,8 „
„	Büsum	„ 1870/1888 „ 1935/1953	= 2,1 „
„	Cuxhaven	„ 1843/1861 „ 1935/1953	= 2,7 „
Δ MThw	Westküste im Mittel		= 2,7 mm/Jahr.

Zum Vergleich:

Δ MThw	Wilhelmshaven	von 1854/1872 bis 1932/1950	= 2,3 mm/Jahr.
---------------	---------------	-----------------------------	----------------

Die Ursachen des MThw-Anstiegs werden verschieden gesehen. Die meisten Bearbeiter machen die vermehrte atmosphärische Zirkulation verantwortlich, darunter LÜDERS (24) insbesondere die vermehrte Sturmtätigkeit. HENSEN (11) wies durch Diskussion der Wasserstandshäufigkeiten in Cuxhaven irgendeinen auf den gesamten Wasserstandsbereich wirkenden Einfluß nach und vermutet darin Küstensenkung. GAYES Forschungen (7) kommen zu ähnlichen Schlüssen und weisen außerdem (8) auf die Mitwirkung jahreszeitlich wechselnder, also vermutlich meteorologischer und ozeanographischer Einflüsse hin. Die in Abbildung 3 unter A aufgetragenen mittleren Überschreitungshäufigkeiten der MThw aus drei Jahrzehnten 1901/1910, 1921/1930 und 1941/1950 in Husum bekräftigen in ihrer regelmäßigen Stufenfolge die Ansicht HENSENS, daß der Gesamtanstieg fast ganz in dem allgemeinen Anstieg der häufiger vorkommenden Wasserstände des mittleren Bereichs enthalten ist.

Die Hauptursache des säkularen MThw-Anstiegs muß also eine zeitlich ständige, auf den Hauptbereich der Wasserstände gleichmäßig wirkende und örtlich übergeordnete Kraft sein, die unabhängig von den auf die einzelnen Tidehochwasserstände wirkenden Stauwinden den Meeresspiegel allgemein anhebt.

Für die Beschickung eines früheren Sturmflutscheitelstandes auf den heutigen Stand des säkularen Anstiegs ist daher einfache Superposition zulässig, soweit nicht etwa eine Reduktion wegen Wassertiefenänderung hinzutritt (vgl. S. 143).

⁶⁾ Tönning ohne Einfluß der Abdämmung der Eider gerechnet.

Der säkulare MThw-Anstieg in Vergangenheit und Zukunft

GAYE (7) und andere vermuten, daß der säkulare Anstieg der Wasserstände in der Nordsee und in der Ostsee erst etwa 1860 einsetzt. Darauf deutet der Wasserstandsverlauf an den langjährig beobachteten Ostsepegeln Swinemünde (seit 1811), Kolberg (seit 1816) und Pillau (seit 1840) hin. Weitere Hinweise dafür gäbe die Tatsache, daß die Anstiegskurven mehrerer Pegel, zum Beispiel von Cuxhaven, Husum usw. (Abb. 8) mit fallender oder gleichbleibender Tendenz begännen. Demgegenüber läßt sich die Cuxhavener Kurve auch als periodisches Schwanken um ein deutlich definierbares mittleres Ansteigen herum auffassen, wovon die anfängliche horizontale Tendenz nur ein zufälliger Ausschnitt ist. Insofern spricht das Kurvenbild Cuxhavens und auch der Pegel an der Westküste nach Ansicht des Verfassers nicht gegen Anstieg schon vor 1860.

Für diese Ansicht spricht noch, daß nach Ausweis der Archive, der Sturmflutmarken und der aufeinanderfolgenden Deicherhöhungen die gefährlichen Sturmfluten seit Jahrhunderten in bezug auf die Landoberfläche ständig höher und höher geworden sind, nach PETERSEN (27) in Schleswig-Holstein 30 bis 40 cm und nach VAN VEEN (44) in den Niederlanden um rund 0,75 m im Jahrhundert. Deicherhöhungen mögen zum Teil auf Bodensetzung zurückgehen, sowie darauf, daß die menschlichen Sicherheitsansprüche gestiegen sind. Das Ansteigen des MThw findet jedoch für die Husumer Bucht eine wichtige Stütze in dem auf Seite 107 behandelten Generalbericht über das Pellwormer Wasserwesen von 1804, aus dem mittelbar auf einen säkularen Anstieg des MThw von 1,7 mm/Jahr während des 18. Jahrhunderts geschlossen wurde. Von dieser Folgerung muß im Sinne der vorliegenden, nach Deichsicherheit fragenden Untersuchung Gebrauch gemacht werden, und der aus nichträumlicher Ursache herrührende Anteil des säkularen MThw-Anstiegs in runden Zeitabschnitten für die praktische Berechnung wird wie folgt festgelegt⁷⁾.

Von 1850 bis 1950	entspricht an allen Pegeln der Westküste der Anstieg dem in Cuxhaven beobachteten Durchschnitt, der gleichzeitig das beobachtete Mittel aller Pegel darstellt:	
	△ MThw Westküste säkular	= 2,7 mm/Jahr
von 1650 bis 1800	△ MThw Westküste säkular	= 1,7 „
von 1800 bis 1850	Anstieg wie vorher	
	△ MThw Westküste säkular	= 1,7 „
von 1950 bis 2000	Anstieg wie vor 1950	
	△ MThw Westküste säkular	= 2,7 „

Für Glückstadt	beträgt der aus nichträumlicher Ursache herrührende Anteil des beobachteten Anstiegs nach den im Abschnitt II 5 c gemachten Angaben:	
von 1850 bis 1950	△ MThw Glückstadt	= 2,5 mm/Jahr
von 1825 bis 1850	△ MThw Glückstadt	= 1,5 „

⁷⁾ Es wird nochmals auf die auf Seite 107 gegebene Begriffserklärung für „säkular“ hingewiesen. Es bleibt also dahingestellt, wie weit Vertikalverschiebungen der Erdkruste oder meteorologische Vorgänge zu dem Anstieg des MThw beigetragen haben mögen.

Nach DITTMER [(4) und mündl. Mitteilung] sprechen einige geologische Befunde dagegen, daß das MThw an der schleswig-holsteinischen Westküste im Mittelalter wesentlich niedriger gewesen sei als heute. Z. B. läge die Oberfläche der steinbronzezeitlichen Marsch in Nordstrand und Pellworm noch heute auf einer Höhe von stellenweise nicht weniger als rund + 0,70 m NN. Diese alte Marsch sei der Kulturboden der Inseln vor 1634 gewesen. Wenn also die Sturmflut von 1634 diesen Boden nachhaltig überflutet und in der Folgezeit zu Watt gemacht habe, müsse das damalige MThw beträchtlich höher gewesen sein, mindestens etwa + 1,20 m NN, also rund 50 cm höher als in dieser Arbeit vorausgesetzt werde (vgl. Abb. 8).

Dieser Widerspruch zu den Ermittlungen des Deichinspektors SALCHOW, des Verfassers des zitierten Pellwormer Generalberichts, bleibt aufzuklären. Auf Seite 142 ist in ähnlichem Zusammenhang nachgewiesen worden, daß selbst stärkere Abweichungen von den vorausgesetzten Beträgen des säkularen MThw-Anstiegs nicht von entscheidendem Einfluß auf die Ermittlung der maßgebenden Sturmfluthöhen sind.

7. Beschickung früherer Sturmflutwasserstände auf den heutigen und zukünftigen Gewässerzustand

Die in den beiden vorigen Abschnitten angestellten Überlegungen führen zu den tabellari- schen und graphischen Darstellungen der Beschickungswerte in Tabelle 2 und auf Abbildung 9, die sich selbst erklären.

Aus Archivangaben werden nunmehr die damaligen Wasserstände der zehn höchsten historischen Sturmfluten rekonstruiert und sodann mit Hilfe der aus dem Diagramm, Abbil- dung 9, abzugreifenden Beschickungswerte auf einen einheitlichen vergleichsfähigen Gewässer- zustand (1950 bzw. 1925) beschickt. Diese auf der Tabelle 3a und b durchgeführten und durch graphische Darstellung einiger Sturmflutprofile auf Abbildung 10 kontrollierten Ermittlungen ermöglichen schließlich, die auf Seite 102 ff. behandelte Extrapolation der Häufigkeitslinie der Hochwasserstände (Abb. 3) als eine kontinuierliche und gradlinige wahrscheinlich zu machen. Das war das Hauptziel der vorigen Abschnitte.

Die Abbildung 3 (S. 103) veranschaulicht, daß die meisten der historischen Katastrophen- wasserstände von Husum heutzutage (1950) mit mäßiger Streuung um den Pegelstand + 550 cm NN liegen würden (die für die Mitte des Zeitraumes 1901/1950 = 1925 errechneten Wasser- stände sind um 18 cm zu erhöhen, um gemeinsam für den Gewässerzustand 1950 zu gelten, s. Tab. 3b). Sie erscheinen dann vom Wasser her (hydrographisch) gleichwertig, obwohl die von der Land- oberfläche aus beobachtenden jeweiligen Zeitgenossen den richtigen Eindruck ständig anwachsender Sturmfluthöhen haben mußten; auf derartige Umstände hatten, wie gesagt, VAN VEEN und PETERSEN mit anderen Worten hingewiesen (s. S. 105 u. 113).

Als höchste Sturmflut in Husum überhaupt erweist sich rechnerisch die Weihnachtsflut von 1717. Das aus der historischen Ableitung sich ergebende Scheitelgefälle von Husum nach Tönning ist allerdings so ungewöhnlich groß (s. Abb. 10), daß besonders der Husumer Scheitel- wert angezweifelt werden muß. Gleichwohl zählt die Weihnachtsflut von 1717 zu den schwer- sten. Von 1717 abgesehen, muß dann die Februarflut von 1825 als überhaupt schwerste ange- sehen werden, nächst dieser die Katastrophenflut von 1634.

Tabelle 2
Beschickungswerte früherer Sturmflutwasserstände auf den Gewässerzustand 1950
Schleswig-holsteinische Westküste

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pegel Zeitraum	MThw-Anstieg				Beschickungswerte, bezogen auf 1950 ^{b)}					
	Jahre	Pegelbeob- achtung	Außer- räumlich (Säkulär) a)	Raum- bedingt	Gesamt- Anstieg	Jahr	für MThw	für Windstau raumbedingt	Gesamt für Sturmflut- scheitelstand	
	mm/Jahr	mm/Jahr	mm/Jahr	mm/Jahr	cm mm/Jahr		cm	cm	cm	
Husum										
.... 2000							2000	- 18	- 2	- 20
2000—1950	50		(2,7)	(0,8)	18	3,5	1950	0	0	0
1950—1935	15	3,2 ¹⁾	2,7 ²⁾	0,5	5	3,2	1935	+ 5	0	+ 5
							1935 ³⁾	+ 5	+ 10 ³⁾	+ 15
1935—1850	85	3,2 ¹⁾	2,7	0,5	27	3,2	1850	+ 32	+ 20 ⁴⁾	+ 52
1850—1800	50		1,7 ⁶⁾	1,0	14	2,7	1800	+ 46	+ 20	+ 66
1800—1650	150		1,7 ⁵⁾	0,3	30	2,0	1650	+ 76	+ 20 ⁷⁾	+ 96
1650—1634	16		1,7	0,3	3	2,0	11. 11. 1634	+ 79	+ 30 ⁷⁾	+ 109
1950—1650	300				79	2,6		+ 79		

Tönning										
.... 2000							2000	- 18	- 2	- 20
2000—1950	50	(2,7)	(0,8)	18	3,5		1950	0	0	0
1950—1936	14	2,8 ⁸⁾	2,7 ²⁾	4	2,8		1936	+ 4	0	+ 4
							1936 ⁹⁾	+ 14	0	+ 24
1936—1850	86	2,8	2,7	24	2,8		1850	+ 38	0	+ 48
1850—1650	200		1,7 ¹²⁾	34	1,7		1650	+ 72	0	+ 82
1650—1634	16			3	1,7		1634	+ 75	0	+ 85
							4. 2. 1825	+ 42	+ 10 ¹⁰⁾	+ 62
							11. 11. 1634	+ 75	+ 10 ¹⁰⁾	+ 95
1950—1650	300			75	2,5			+ 75		
Büsum										
.... 2000							2000	- 14	0	- 14
2000—1950	50	(2,7)	(0)	14	2,7		1950	± 0	0	± 0
1950—1850	100	2,1 ¹¹⁾	2,7	21	2,1		1850	+ 21	0	+ 21
1850—1650	200		1,7 ¹²⁾	34	1,7		1650	+ 55	0	+ 55
1650—1634	16			3	1,7		1634	+ 58	0	+ 58
1950—1650	300			58				+ 58		
Cuxhaven										
.... 2000							2000	- 14	0	- 14
2000—1950	50	(2,7)	0	14	2,7		1950	± 0	0	± 0
1950—1850	100	2,7 ¹³⁾	2,7	27	2,7		1850	+ 27	0	+ 27
1850—1650	200		1,7 ¹²⁾	34	1,7		1650	+ 64	0	+ 64
1650—1634	16			3	1,7		1634	+ 64	0	+ 64
1950—1650	300			64	2,3					
Glückstadt										
.... 2000							2000	- 13	0	- 13
2000—1950	50	(2,5) ¹⁷⁾	0	13	2,5		1950	± 0	0	± 0
1950—1900	50	- 0,5	(2,5)	2	- 0,5		1900	- 2	0	- 2
1900—1850	50	2,2 ¹⁴⁾	(2,5)	11	2,2		1850	+ 9	0	+ 9
1850—1825	25	(2,2)	1,5	2	1,5		4. 2. 1825	+ 11	+ 10 ¹⁸⁾	+ 11
1950—1850	100			11	1,1			+ 11		+ 21

Bemerkungen:

Fett = Ermittlung

Kursiv = Festlegung

(Klammer) = Schätzung

a) „Säkular“ im engeren Sinn.
„Säkular“ im allgemeinen Sprachgebrauch enthält meist schon die raumbedingten Anteile. Beispiel Glückstadt.

b) Beschickungswert = Pegelablesung 1950 weniger zeitgenössische Pegelablesung.

¹⁾ Mittel 1868—86... 1935—53, festgelegt für 1850—1950.

²⁾ Mittel Westküstenpegel etwa 1870—1950, gleich Mittel Cuxhaven 1843—61... 1935—53.

³⁾ Sturmflutfreier Damm Nordstrand.

⁴⁾ N.-Hever noch klein. S.-Hever Oberlauf breit.

⁵⁾ Laut Generalbericht Pellwormer Wasserwesen 1804.

⁶⁾ Analog 1800—1650.

⁷⁾ Entlastung durch Deichbrüche und Ausdeichungen 1634, u. a.

⁸⁾ Mittel 1867—85... 1935—53.

⁹⁾ Eiderabdämmung Nordfeld, Mai 1936.

¹⁰⁾ Entlastung durch Deichbrüche.

¹¹⁾ Mittel 1870—88... 1935—53.

¹²⁾ Analog Husum.

¹³⁾ Mittel 1843—61... 1935—53.

¹⁴⁾ Nach summarischen Unterlagen. Bericht WBA Glückstadt 1. 11. 1937.

¹⁵⁾ Verstärkte Fahrwasserbaggerungen Elbe.

¹⁶⁾ Baggerungen beginnen etwa 1850.

¹⁷⁾ Etwas kleiner als Cuxhaven.

¹⁸⁾ Entlastung durch Deichbrüche Kremper Marsch.

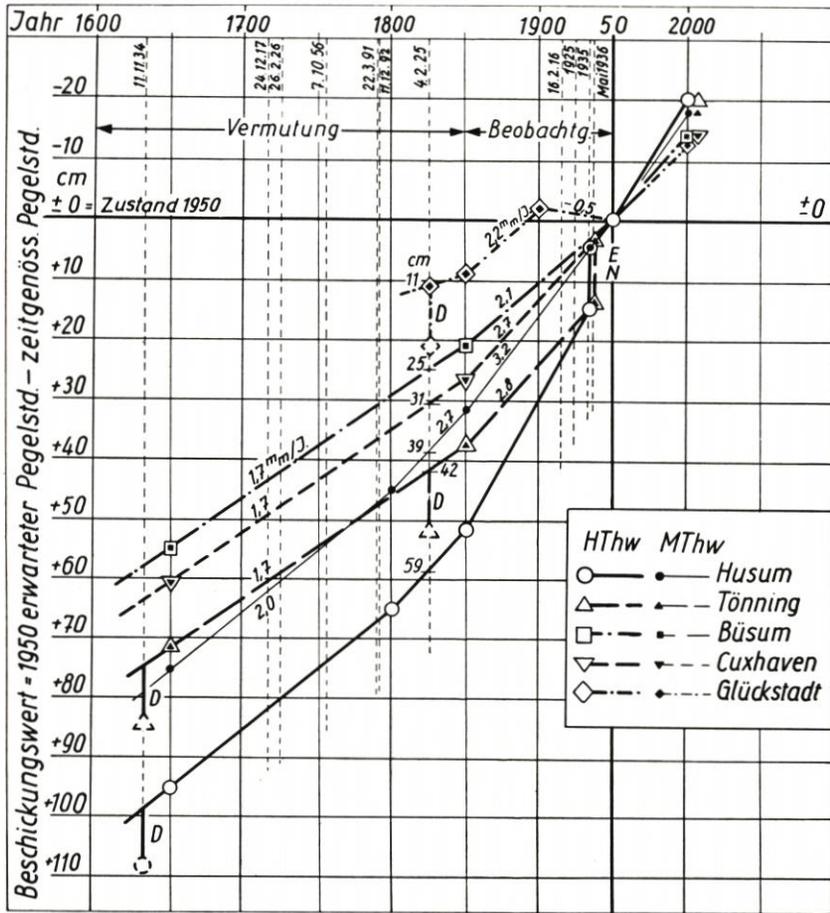


Abb. 9. Beschickungswerte früherer Sturmflutwasserstände für den Gewässerzustand 1950. Schleswig-holsteinische Westküste (nach Tab. 2)

D = vermuteter Einfluß von Deichbrüchen.

E = Anstieg infolge Eiderabdämmung bei Nordfeld 1936.

N = Anstieg infolge des sturmflutfreien Damms Nordstrand 1935.

Zahlen an den Linien = durchschnittlicher MThw-Anstieg.

Beispiel: Der Beschickungswert der Sturmflut vom 4. 2. 1825 in Tönning gibt an, daß diese Sturmflut unter denselben Wetterverhältnissen heute (1950) 42 cm höher auflaufen würde. Berücksichtigt man auch noch eine etwaige damalige Spiegelsenkung infolge Deichbruchentlastung, stiege der Beschickungswert auf + 52 cm.

Nach Abb. 8 ergibt sich das MThw, nach ausgeglichenen Ganglinien der 19jährigen Mittel in cm + NN zu:

Pegel	Husum	Tönning		Büsum	Cuxhaven	Glückstadt
		vor	nach			
Mittel		der Abdämmung				
1807/25	108	110		122	107	130
1907/25	140	125		142	132	142
1932/50	147	(142)	152	147	138	141

Tabelle 3a
Ermittlung und Beschickung hoher Sturmflutstände auf den Gewässerzustand 1950.
Schleswig-holsteinische Westküste

- Vorbemerkungen
- 1) Quellen und Unterlagen: SCHELLING (35), TOMCZAK (40), FISCHER (5), Tab. 2, Abb. 9 u. 10 dieses Aufsatzes.
 - 2) Bezeichnungen: 'Rhd. = Rheinländischer Fuß = 31,4 cm (etwa = dän. Fuß). 'Hbg. = Hamburger Fuß = 28,7 cm. OF = „Ordinäre Flut“ etwa = GHW = „Hochwasser der gewöhnlichen Flut“ = etwa MHW = Mittl. Tidehochwasser. HW, MHW, HHW = Abkürzungen für Thw, MThw, HThw. DMHW, DHHW = Beschickungswert (Differenz) der MHW und HHW lt. Abb. 10 dieses Aufsatzes. s = Stau = HW — MHW, s_a = HW — HW astronomisch.
 - 3) Indexe: HHW₁₈₂₅ = im Jahr 1825 eingetretener Pegelstand einer Sturmflut. HHW₁₈₂₅ (1950) = HHW₁₈₂₅ beschickt auf Gewässerzustand 1950. HHW_{Marke} 1825 = Sturmflutscitetalstand lt. Landmarke. DHHW_{1825/1900} = Änderung der Sturmflutwasserstände von 1825 bis 1900 infolge verändertem Gewässerzustand, lt. Abb. 9.
 - 4) Bemerkungen: Alle MHW-, DMHW- und DHHW-Angaben abgeleitet aus ausgeglichenen Ganglinien der 19jährigen MHW. MHW₁₉₅₀ (ausgeglichen): Husum + 147, Tönning + 152, Büsum + 147, Cuxhaven + 138 und Glückstadt + 141 cm NN. Frühere MHW zu berechnen aus MHW₁₉₅₀ (ausgeg.) — DMHW .../1950 nach Abb. 9.
 - 5) Zusammenstellung der Endwerte auf Tabelle 3b.

Lfd. Nr.	HHW damals 1950 NN+cm NN+cm
-------------	-----------------------------------

3./4. 2. 1825. Wind SW ... NW. Springzeit.

1. Tönning. HHW_{Marke} 1825 = + 502 NN [Jb. f. Gwk. 1901 ff. Wstdslisten 1885 ff. FISCHER (5). Bem. auf Deichkarte von 1895, MBA Heide: eingemessen „nach mehreren übereinstimmenden, gleich nach der Flut 1825 zu Tönning ... angebrachten, noch vorhandenen Zeichen“]. Stau s = 502 — MHW₁₈₂₅ = (502 — 110) NN lt. Abb. 9 = 392 cm = 12,5 'Rhd./13,5 'Hbg. Ähnlicher Wert lt. Angabe FISCHER durch Deichinsp. SALCHOW, wonach s₁₈₂₅ = 13,5 'Hbg. = 385 cm. Somit das MHW₁₈₂₅ = 110 NN etwa bestätigt bis auf 7 cm. HHW₁₈₂₅ (1950) = 502 + DHHW_{1825/1950} = 502 + 52/42 = + 554/544 NN mit/ohne Berücksichtigung von 10 cm Deichbruchentlastung. 502

544
2. Büsum. Nach Deichinspektor CHRISTENSEN bzw. nach der obengenannten Deichkarte von 1895 ist der Stau über OF: s₁₈₂₅ = 13 'Hbg. bzw. 13,5 'Rhd. = 373/424 cm. Letzterer Wert = „höchster Wellenauflauf“, daher nach Beispiel des 15. 10. 1881 vermessenen Wellenauflaufs um rund 1 bis 1¹/₂' zu kürzen, s₁₈₂₅ = 373/424 — 35 = 373/390 cm. HHW₁₈₂₅ = MHW₁₈₂₅ + s = (147 — 25) + 373/390 = + 495/512 NN. Verglichen mit HHW_{Tönning} = + 502 NN ist ersterer Wert wahrscheinlicher, da alle Sturmflutscitetal von Tönning nach Büsum fallen, auch bei nordwestlichem Wind (Abb. 10): HHW₁₈₂₅ = + 495 NN (FISCHER und das amtliche Jahrbuch geben an + 505 NN). HHW₁₈₂₅ (1950) = 495 + DHHW_{1825/1950} = 495 + 25 = + 520 NN. 495

520
3. Husum. Nach FISCHER u. a. gilt als überlieferter Stauwert s₁₈₂₅ = 14 'Rhd./Hbg. (?) = 440/402 cm. Die Art des Fußmaßes ist nicht eindeutig entschieden, auch nicht, ob Wellenauflauf enthalten ist. MHW₁₈₂₅ = 147 — 39 = 108 NN (Abb. 9). HHW₁₈₂₅ = 108 + 440/402 = + 548/510 NN, und mit 1' = rund 30 cm Wellenabzug + 518/470 NN. Dies ist ein ähnlicher Schwankungsbereich wie die andersartig ermittelten Grenzwerte + 549/483 NN ohne Wellenabzug nach SCHELLING (35) S. 142. Zuverlässiger ist ein Bezug auf den bestgesicherten Wert, HHW₁₈₂₅ Tönning = + 502 NN, mittels sonst beobachteter Scitetal-differenzen. HHW_{Husum} — HHW_{Tönning} = 25/25/44 cm für die Sturmfluten 18./27. 10. 36/16. 2. 16. Die mittlere Staudifferenz 1936—41 beträgt nach TOM-

Lfd. Nr.		HHW	
		damals NN+cm	1950 NN+cm
	<p>czak (40) bei Westwind Stärke 10 bzw. Westnordwest 10 = 20/25 cm, was mit Rücksicht auf das rund 5 cm höhere MHW in Tönning (nach der Eiderabdämmung) 15/20 cm höhere HHW in Husum ergibt. Bei aus WNW Sturmfluten wie 1825 ist heute mit 15 bis 40 cm großen Scheiteldifferenzen zu rechnen. Um 1825 war die Differenz kleiner im Zusammenhang mit dem in Husum stärkeren MHW-Anstieg und der räumlichen Entwicklung der Husumer Bucht (Abb. 9 und Tab. 2). Mit der für 1825 plausiblen HHW-Differenz von 15 cm wird $HHW_{1825}^{Husum} = HHW_{Tönning} + 15 = 502 + 15 = \text{rund} + 520 \text{ NN}$ (FISCHER errechnet + 524 NN = + 122 NN + 14 'Hbg. = $MHW_{1825} + \text{Stau}$). $DHHW_{1825/1950} = 59 \text{ cm}$, $HHW_{1825}^{(1950)} = 520 + 59 = + 579 \text{ NN}$.</p>	520	579
4.	Cuxhaven. $HHW_{1825} \text{ Marke} = + 464 \text{ NN}$. $DHHW_{1825/1950} = 31 \text{ cm}$, $HHW_{1825}^{(1950)} = + 495 \text{ NN}$.	464	495
5.	Glückstadt. $HHW_{\text{Marke } 1825} = + 552 \text{ NN}$. Der Betrag des Staues ist glaubwürdig überliefert (FISCHER u. frühere), $s_{1825} = 15'3'' \text{ Hbg.} = 4,38 \text{ m}$, wozu geringe Beobachtungsfehler durch Wellenauflauf u. ä. hinzutreten mögen. Zum Vergleich: Mittels Abb. 9 erhält man $MHW_{1825}/MHW_{1950} - 11 = 141 - 11 = + 130 \text{ NN}$. Danach wäre $s_{1825} = 552 - 130 = 422 \text{ cm} = 14,7' = 14'8'' \text{ Hbg.}$ Bis auf 5" decken sich demnach die beiden Werte s. Würde nach FISCHER das $MHW_{1825} = 552 - 438 = + 114 \text{ NN}$ angenommen, so würde der Anstieg $DMHW_{1825/1900} = (152 + 2) - 114 = 40 \text{ cm} = 5,3 \text{ mm/Jahr}$, also ein unwahrscheinlich hoher Wert gewesen sein. $HHW_{1825}^{(1950)} = 552 + 11 = + 563 \text{ NN}$.	552	563
<i>11. 11. 1634. Wind SW...NW. 2 Tage vor Springzeit.</i>			
6.	Tönning. $HHW_{\text{Marke } 1634} = HHW_{\text{Marke } 1825} - 1'5'' \text{ Hbg.} = 502 - 46 \text{ cm} = + 456 \text{ NN}$ Bericht SALCHOW 1825 [SCHELLING (35)]. $DHHW_{1634/1950} = 75/85 \text{ cm}$ ohne/mit Berücksichtigung von 10 cm problematischer Deichbruchentlastung. $HHW_{1634}^{(1950)} = 456 + 75/85 = + 531/541 \text{ NN}$.	456	531
7.	Husum. Keine historischen Zahlenangaben für Husum. Nach SALCHOW ist auf Pellworm die Flut 1825 „stärker“ als 1634 gewesen. Analog Tönning vermutet für Husum: $HHW_{\text{Marke } 1634} = HHW_{\text{Marke } 1825} - 46 \text{ cm} = 520 - 46 = + 474 \text{ NN}$. $DHHW_{1634/1950} = 99 \text{ cm}$. $HHW_{1634/1950} = 474 + 99 = + 563 \text{ NN}$.	474	563
8.	Büsum. Keine historischen Zahlenangaben. Die mittlere Staudifferenz 1936—41 Tönning—Büsum bei West 10/Westnordwest 10 MDs = 40/10 cm, und bei den Sturmfluten 16. 2. 16/18. 10. 36/27. 10. 36 war $D_s = 17/17/40 \text{ cm}$, also sehr richtungsempfindlich. Da 1634 die ziemlich westnordwestliche Richtung entschieden, wird $D_{s1634}^{(1950)} = 20 \text{ cm}$ geschätzt, wegen des von 1950 bis 1634 eingetretenen Unterschiedes $DHHW_{1634/1950} \text{ Tönning} - DHHW_{1634/1950} \text{ Büsum} = 75 - 57 = 18 \text{ cm}$ ist jedoch die damalige Scheiteldifferenz zwischen Tönning und Büsum merklich geringer als heute (u. a. Eiderabdämmung!) auf etwa $20 - 18 = \text{rund } 5 \text{ cm}$ zu schätzen. Daher $HHW_{1634} \text{ Büsum} = HHW_{1634} \text{ Tönning} - 5 \text{ cm} = 456 - 5 = + 451 \text{ NN}$. $DHHW_{1634/1950} = 57 \text{ cm}$. $HHW_{1634}^{(1950)} = 451 + 57 = + 508 \text{ NN}$.	451	508
9.	Cuxhaven nicht bearbeitet.		
10.	Glückstadt nicht bearbeitet.		

Lfd. Nr.	HHW	
	damals	1950
<hr/>		
NN+cm NN+cm		
24. 12. 1717. <i>Weihnachtsflut. Wind ... NW. 2 Tage vor Nippzeit.</i>		
Nach der Schilderung von WOEBCKEN (48) hat es sich in Ostfriesland um einen aus SW beginnenden Sturm gehandelt, der etwa vier Stunden vor HW-Zeit nach vorübergehendem Abflauen stoßartig zum NW-Orkan anschwoll (Trogsturm). Wegen des riesigen Überflutungsumfanges längs der ganzen deutsch-niederländischen Nordseeküste wird gefolgert, daß die Sturmverhältnisse in Schleswig-Holstein ähnlich wie in Ostfriesland waren, nämlich Hauptorkan aus WNW bis NW. Daher vermutlich der Stau in Husum wesentlich größer als Tönning und Büsum (Abb. 10 u. ob. Nr. 3 u. 8).		
11.	Tönning. HHW _{Marke 1717} = HHW _{Marke 1825} - 1'5''Hbg. = 502 - 46 cm = + 456 NN [SALCHOW 1825, lt. SCHELLING (35)]. DHHW _{1717/1950} = 60 cm. HHW _{1717/1950} = 456 + 60 = + 516 NN.	456 516
12.	Husum. HHW _{Marke 1717} = HHW _{Marke 1825} [SCHELLING (35)] = + 520 NN (s. Nr. 3), jedoch fraglich wegen unwahrscheinlich großer Scheiteldifferenz Husum - Tönning = 520 - 456 = 64 cm; HHW _{Marke 1717} = Beobachtungsfehler etwa durch Wellenaufschlag? Verbessert geschätzt auf HHW ₁₇₁₇ = + 505 NN. DHHW _{1717/1950} = 82 cm. HHW _{1717 (1950)} = 505 + 82 = 587 NN. Damit wäre die „heutige“ Scheiteldifferenz Husum - Tönning = 587 - 516 = 71 cm = 37 cm mehr, als am 16. 2. 1916 eingetreten ist.	505 587
13.	Büsum. Keine direkten Beobachtungen. Scheiteldifferenz gegen Tönning geschätzt - 5 cm. HHW ₁₇₁₇ = 456 - 5 = + 451 NN. DHHW _{1717/1950} = 44 cm, HHW _{1717 (1950)} = 451 + 44 = + 495 NN.	451 495
25. 2. 1718 und 31. 12. 1720. <i>Wind ?</i>		
Nach HEIMREICH sollen die Sturmfluten 1718 und 1720 in der Husumer Bucht ebenso hoch aufgelaufen sein wie im Jahre 1717. HHW _{1718 Husum} = „14' + GHW“. HHW ₁₇₂₀ auf den Halligen „ebenso hoch wie 1717, aber ungestümer noch in seinem Angriff“.		
14.	Husum. Die vagen Angaben erlauben höchstens die Schätzung, daß die Flutmarken 1718 und 1720 nicht viel niedriger als 1717 zu suchen sind. Festgelegt wird - für die Häufigkeitsbetrachtung hoher Sturmfluten -: HHW _{1718 (1950)} = HHW _{1717 (1950)} - 30 cm = 587 - 30 = + 557 NN. HHW _{1720 (1950)} = HHW _{1717 (1950)} - 30 cm = + 557 NN.	557 557
15.	Tönning, Büsum, Cuxhaven und Glückstadt keine verwertbaren Angaben.	
26. 2. 1726. <i>Wind?</i>		
16.	Tönning. HHW _{Marke 1726} = HHW _{Marke 1717} = HHW _{Marke 1825} - 1'5''Hbg. [SALCHOW 1825 lt. SCHELLING (35)] = + 456 NN (Nr. 11). DHHW _{1726/1950} = 59 (Abb. 9), HHW _{1726 (1950)} = 456 + 59 = + 515 NN.	456 515
17.	Husum. Keine Angaben. Scheiteldifferenz Husum - Tönning gering geschätzt, da andernfalls Erwähnung bei SALCHOW zu erwarten gewesen wäre. HHW _{Husum 1726 (1950)} = HHW _{Tönning 1726 (1950)} + 20 cm = 515 + 20 = + 535 NN	535

Lfd. Nr.	HHW			
	damals	1950		
	NN+cm	NN+cm		
18. Übrige Pegel. Nicht bearbeitet.				
7. 10. 1756. <i>Wind vermutlich West.</i>				
In den Sturmflutberichten 1825 der Deichinspektoren SALCHOW und CHRISTENSEN werden als vergleichswürdig hohe Sturmfluten aus der zahlreichen Serie der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts diejenigen von 1756, 1791 und 1792 hervorgehoben. 1756 wird der Wasserstand sowohl in Tönning als auch in Glückstadt als hoch erwähnt; so muß, obwohl nicht besonders erwähnt, auch Husum hohen Stau gehabt haben. Scheiteldifferenzen also gering etwa wie am 18. 10. 1936 (Abb. 10).				
19.	Tönning. $\text{HHW}_{\text{Marke 1756}} = \text{HHW}_{\text{Marke 1825}} - 1'5''\text{Hbg.} = 502 - 46 = + 456 \text{ NN. DHHW}_{1756/1950} = 54 \text{ cm. HHW}_{1756 (1950)} = 456 + 54 = + 510 \text{ NN.}$		456	510
20.	Husum. Scheiteldifferenz Husum — Tönning = 25 cm wie am 18. 10. 1936 lt. Abbildung 10. $\text{HHW}_{1756(1950)} = 510 + 25 = + 535 \text{ NN.}$			535
22. 3. 1791. <i>Wind?</i>				
21.	Husum. $\text{HHW}_{\text{Marke 1791}} = \text{HHW}_{\text{Marke 1825}} - 1'5''\text{Hbg. [ARENDS nach SCHELLING (35)]} = 520 - 46 = + 474 \text{ NN. DHHW}_{1792/1950} = 67 \text{ cm, HHW}_{1792 (1950)} = 474 + 67 = + 541 \text{ NN.}$		474	541
11. 12. 1792. <i>Wind vermutlich etwa WNW.</i>				
SALCHOW erwähnt das HHW Glückstadt als um 1,5' niedriger als 1825. Gleichzeitig „nahm die Sturmflut besonders schwer die Halligen mit“ (MÜLLER, 1917, Wasserwesen: Die Halligen Bd. 1). Keine sonstigen Zahlenangaben.				
22.	Husum. Vermutet wird das auf heute beschickte $\text{HHW}_{1792 (1950)}$ nicht niedriger als + 500 NN, d. i. rund $1\frac{1}{2}'$ niedriger als 1791.			500
1792 bis 1916				
An der schleswig-holsteinischen Küste keine Sturmfluten überliefert über + 500 NN, beschildert auf heute, außer der oben behandelten Flut von 1825.				
16. 2. 1916. <i>Wind W... WNW. 3 Tage vor Springzeit</i>				
Nach Schreibpegelbeobachtungen. Die DHHW 1916/1950 siehe Abbildung 9.				
23.	Husum. $\text{HHW}_{1916 (1950)} = 509 + 23 = + 532 \text{ NN}$		509	532
24.	Tönning. „ = 465 + 20 = + 485 NN		465	485
25.	Büsum. „ = 446 + 7 = + 453 NN		446	453
26.	Cuxhaven. „ = 410 + 9 = + 419 NN		410	419
27.	Glückstadt. „ = 447 + (—2) = + 445 NN		447	445

Tabelle 3b
Zusammenstellung der Scheitelstände hoher Sturmfluten

a) damaliger zeitgenössischer Pegelstand
b) beschrift auf Gewässerzustand 1925
c) beschrift auf Gewässerzustand 1950

		Husum			Tönning			Büsum			Cuxhaven			Glückstadt		
		a	b ¹⁾	c	a	b ²⁾	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	Sturmflut 11. 11. 1634	474			456			451								
			545			514										
				563			531		508							
2	24. 12. 1717	505			456			451								
			569			499										
				587			516		495							
3	25. 2. 1718		539		(508) ³⁾											
			557		(525) ³⁾											
4	31. 12. 1720		539		(508) ³⁾											
			557		(525) ³⁾											
5	26. 2. 1726				456											
			517		498											
				535		515										
6	7. 10. 1756				456											
			517		493											
				535		510		(490) ⁴⁾		(482) ⁴⁾						528
7	22. 3. 1791	474														
			523		(493) ³⁾											
				541	(510) ³⁾											
8	11. 12. 1792		482		(463)											
			500		(480)											
9	4. 2. 1825	520			502			495		464			552			
			561		527											
				579		544		520		495						563
10	16. 2. 1916	509			465			446		410			447			
			514		468											
				532		485		453		419						445

() = roh geschätzte Werte.

¹⁾ = Anstieg der Sturmflutstände DHHW_{1925/1950} Husum = 18 cm (Abb. 9).

²⁾ = Anstieg der Sturmflutstände DHHW_{1925/1950} Tönning = 17 cm.

³⁾ = rund 30 cm unter Husum.

⁴⁾ = Gefälle ähnlich 18. 10. 1936.

Der hier angestellte Versuch der Beschickung von Wasserständen muß angesichts der lückenhaften Unterlagen in Einzelheiten gewisse Zweifel offenlassen. Indessen — es möge wiederholt werden — darf heute keine über die Sicherheit der Küste anzustellende Planung mehr die Berücksichtigung von womöglich bedrohlichen säkularen Tendenzen der Wasserstandsänderung vernachlässigen.

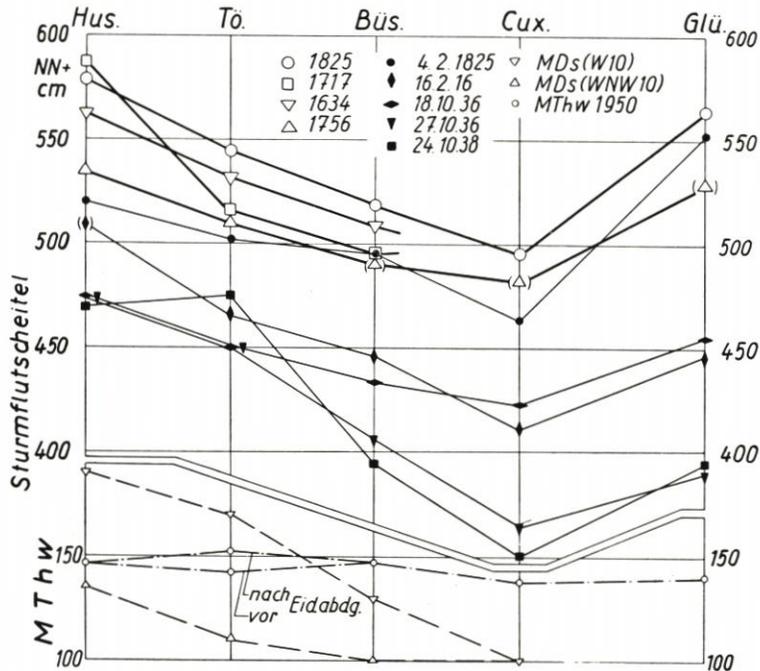


Abb. 10. Scheitelstände historischer und neuerer Sturmfluten entlang der schleswig-holsteinischen Westküste

Große offene Signaturen: Scheitelstände historischer Sturmfluten, beschildert auf den heutigen (1950) Gewässerzustand. Nach Tab. 3b.

Kleine schwarze Signaturen: Scheitelstände neuerer Sturmfluten einschl. 1825, nach zeitgenössischen Pegelbeobachtungen.

Kleine offene Signaturen: Mittelwerte, und zwar

MDs (W10) = Mittlere relative Windstaudifferenzen aller Sturmfluten bei Windstärke 10 Bft. aus West 1936/1941 [nach TOMCZAK 1952 (41)]

MDs (WNW10) = wie vor, bei Windstärke 10 Bft. aus Westnordwest (41)

MThw 1941/50 = Mittel tidehochwasser 1941/50

8. Richtwerte des maßgebenden Sturmflutwasserstandes

Physikalische Zusammenhänge und statistische Gesetzmäßigkeiten, ferner die Erfahrung aus der holländischen Katastrophenflut von 1953 und schließlich auch die Ansichten berufener Fachmänner wie VAN VEEN (44) und Fachgremien wie des KÜSTENAUSSCHUSSES NORD- UND OSTSEE, der holländischen DELTAKOMMISSION von 1953 (3), kurz, alles spricht gegen das Bestehen einer unüberschreitbaren oberen Sturmflutgrenze in einem Höhenbereich, der (einschließlich des Wellenaufbaus) als absolut sturmflutkehrende Deichhöhe wirtschaftlich noch in Betracht käme (s. S. 104). Die Lösung dieses Grenzwertproblems bleibt weiterführenden Studien überlassen.

Praktisch bedeutet das den Verzicht auf die irreführende Vorstellung der absoluten Überflutungssicherheit. Dafür gewinnt man die Gewißheit einer zahlenmäßig definierbaren relativen Sicherheit, wenn man mit Hilfe der Häufigkeitsbeziehungen einen Sturmflutwasserstand wählt, der unter Berücksichtigung des Wellenaufbaus (s. S. 126 ff. und 139 ff.) die Überflutung einer Deichkrone gerade so oft erwarten läßt, wie es für tragbar gehalten wird.

Es ist daher für den Entwurf des Deichbesticks vernünftiger, den bisherigen, absolute Sicherheit nur vortäuschenden Begriff „höchstmöglicher Sturmflutwasserstand“ (s. S. 98 ff.) abzulösen

durch den sinnvolleren Begriff „maßgebender Sturmflutwasserstand“, der nunmehr kein eindeutiges Zahlenergebnis mehr darstellt, sondern die Angelegenheit einer Reihe praktischer Berechnungen wird.

Aus der Erwägung, daß man bautechnisch einen Deich gegen ein längeres, aber doch vorübergehendes Überfluten von Wellen widerstandsfähig machen kann, daß die Höhenlage der meisten Marschen Schleswig-Holsteins und die in ihr liegenden Objekte im äußersten Fall eine seltene, vorübergehende und geringe Überstauung ohne katastrophale Folgen erlaubten und daß sich das Verhältnis der Baukosten zu dem abzuwehrenden Risiko in vernünftiger Grenze bewegen sollte, wird als maßgebender Sturmflutwasserstand anhaltweise ein solcher vorgeschlagen, der durchschnittlich einmal in hundert Jahren zu erwarten ist (vgl. S. 145 ff.)⁸⁾.

Damit diese aus statistischen Durchschnittswerten abgeleitete Festlegung im Einklang mit der bisher schwersten an der schleswig-holsteinischen Westküste erlebten Erfahrung bleibt, wird verlangt, daß der maßgebende Sturmflutwasserstand keinesfalls wesentlich unter der auf heutige Verhältnisse beschickten Katastrophenflut vom 3./4. 2. 1825 liegen darf.

Ferner wird noch auf den Rat des KÜSTENAUSSCHUSSES (21) nach SCHELLINGS Vorbild (35) geprüft, ob in den bisherigen Pegelregistrierungen Einzelmerkmale von Sturmfluten enthalten sind, die, ungünstig kombiniert, einen höheren Sturmflutwasserstand als den maßgebenden hätten ergeben können (vgl. S. 99, Ziffer 5a u. b).

Da schließlich eine Fortdauer des säkularen Wasseranstiegs und damit eine ständige Verminderung der Überflutungssicherheit nicht ausgeschlossen werden kann, wird noch der entsprechende Zuschlag für eine absehbare Zukunft eingerechnet (Tab. 2).

Diese Vorschläge hat die Landesregierung Schleswig-Holstein durch die im März 1954 von ihr erlassenen Grundsätze zur Ermittlung des für die Nordsee- und Elbedeiche maßgebenden Sturmflutwasserstandes anerkannt.

Die Ergebnisse der drei Verfahren:

- a) Feststellung desjenigen Wasserstandes, der durchschnittlich einmal in hundert Jahren erreicht oder überschritten wird,
- b) Rekonstruktion der überlieferten Sturmflutscheitelstände des 3./4. Februar 1825 unter Berücksichtigung der inzwischen eingetretenen säkularen und raumbedingten Änderung der Wasserstände,
- c) Superposition des bisher beobachteten größten Unterschiedes zwischen dem eingetretenen und dem vorausberechneten Hochwasserstand (Windstau) und des höchsten vorausberechneten Springtidehochwassers, werden kritisch miteinander verglichen. Daraus wird ein Richtwert des maßgebenden Sturmflutwasserstandes gebildet, der keins der aufgezählten Ergebnisse wesentlich unterschreitet und außerdem nicht nur für den heutigen (1950) sondern auch für den rund ein halbes Jahrhundert vorauszusehenden (Jahr 2000) Gewässerzustand Gültigkeit haben soll.

Nach den in den Tabellen 4 und 5 aufgezeichneten Ableitungen und nach der Darstellung in Abbildung 24 liegen die nach obigen Grundsätzen festgestellten „maßgebenden Sturmflutwasserstände“ im Jahre 2000 an der schleswig-holsteinischen Westküste bis zu 0,40 m höher als die von SCHELLING berechneten sogenannten höchstmöglichen Wasserstände (s. Tab. 5, Spalte 4 und 8).

Im einzelnen ergeben sich die „maßgebenden Sturmflutwasserstände“ HThw (maßg.) zu:

HThw (maßg.)	Husum	= + 5,9 m NN	= + 4,4 m MThw	1941/50
„	„	Tönning	= + 5,6 m NN	= + 4,1 m „
„	„	Büsum	= + 5,3 m NN	= + 3,8 m „
„	„	Glückstadt	= + 5,6 m NN	= + 4,2 m „
„	„	Westküste im Mittel	= + 5,6 m NN	= + 4,1 m „

⁸⁾ Die Angabe der durchschnittlichen Häufigkeit sagt nichts über den zu erwartenden Eintrittstermin aus. Dieses „eine Mal in hundert Jahren“ kann im Einzelfall schon morgen und übermorgen oder auch erst nach über hundert Jahren eintreten!

Tabelle 4
Ermittlung der Richtwerte des maßgebenden Sturmflutwasserstandes

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Pegel	Beob. seit	Datum	HHs	HHSpHW (1950)	HHW (1950)	HHW (1925/1950)	HHW (1:100) 1925/1950	DHHW (1:100) 1925/1950	HW (1:100) (1950)	DHHW (1:100) 1950/2000	DHHW (1:100) 1950/2000	Richtwert NN + cm NN + cm NN + cm		
			cm	NN + cm	NN + cm	NN + cm	NN + cm	cm	NN + cm	cm	cm	HHW (massgebend)		
1. Husum	1868	16. 2. 16	359	197	556	579	599	561	19	580	600	20	5,7	5,9
2. Tönning	1867	6. 11. 11	332	210	542	544	564	536	17	553	573	20	5,4	5,6
3. Büsum	1870	16. 2. 16	etwa 290	201	491	520	534	510	5	515	529	14	5,2	5,3
4. Cuxhaven	1843	13. 1. 16	310	192	502	495	509	500	6	506	520	14	5,1	5,2
5. Glückstadt	(1900)	18. 10. 36	310	194	504	563	375	538	-1	537	549	12	5,5	5,6
6. Nordfeld/Eider														
7. Meldorf														
8. Friedrichskooghafen														
9. Brunsbüttelkoog														

Bezeichnungen:

- s = Stau = HW_{eingetreten} - HW_{astronomisch}.
- HH_s = höchstbeobachteter Stau
- HHSpHW₍₁₉₅₀₎ = Höchstvoraberechnetes Spring-HW, Zustand 1950 (lt. Dtsch. Hydr. Institut Hamburg 24. 4. 1954).
- DHHW_{1925/1950} = Anstieg des HHW im Zeitraum 1925—1950 (lt. Abb. 9).
- HHW_{1825 (1950)} = Höchster Sturmflutstand 1825, besichtigt auf Gewässerzustand 1950.
- HW (1:100) = Wasserstand mit der mittleren Überschreitungshäufigkeit 1mal in 100 Jahren.
- HHW_{massg. (1950)} = Maßgebender Sturmflutwasserstand besichtigt auf den Gewässerzustand 1950.

Aus: HHW_{T0} + Diff. HHW_{Nf} - HHW_{T0} = 5,6 + 1,3 [nach HUNDT (15)] = 6,9
 Diff. HHW_{Maf} - HHW_{Bis} = rund 30 cm [ТОМЦАК (40)] bis 50 cm [HUNDT (15)]
 HHW_{massg. (2000) Bis} + 0,4 = 5,7 HHW (1:100)Maf nach Dauerlinie 5,7
 1926—50 für 1938 = + 5,6, für Jahr 2000 = + 5,8 m NN
 Diff. HHW_{Fr} - HHW_{Cux} = 14 cm als Mittel von 6 hohen Sturmfluten seit 1930
 HHW_{massg. Cux} + 0,14 = 5,2 + 0,1 = + 5,3 m NN 5,3
 HHW_{massg. Brunsb} = HHW_{massg. Cux} + 0,2 = 5,2 + 0,2 = + 5,4 m NN 5,4

Tabelle 5

Vergleich höchstmöglicher und maßgebender Sturmflutwasserstände und Stauwerte
Schleswig-holsteinische Westküste

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Pegel	HHW (maßgeb.) (Richtwerte Tab. 4)		HHW (höchst- möglich) nach SCHELLING 1952		HHW (höchstmöglich) sonstige Untersucher		HHW (maßgeb.) (2000) höher als HHW (SCHELLING)		MHW heute		Stau des HHW (maßgeb.) über heutigem MHW	
	1950 NN+m	2000 NN+m	1950 NN+m	1948...1953 NN+m	1950 NN+m	1950 NN+m	m	m	1941/50 NN+m	1950 m	1950 m	2000 m
Beschickt auf Gewässerzust.												
1. Husum	5,7	5,9	5,5	5,75 5,25	GAYE 1948 FISCHER 1953	5,09	0,4	1,49	4,2	4,4		
2. Tönning	5,4	5,6	5,3			5,12	0,3	1,53	3,9	4,1		
3. Büsum	5,2	5,3	5,0			5,05	0,3	1,47	3,7	3,8		
4. Cuxhaven	5,1	5,2	—	5,90 5,50	PRÜGEL 1948 LEPPIK 1950	4,66	—	1,38	3,7	3,8		
5. Glückstadt	5,5	5,6	—			5,52	—	1,42	4,1	4,2		
6. Nordfeld/Eider	—	6,9	—			5,14	—	1,78		5,1		
7. Meldorf	—	5,7	5,2			4,49	0,5	1,55		4,1		
8. Friedrichskooghafen	—	5,3	—			4,26	—	1,43 (1948/50)		3,9		
9. Brunsbüttelkoog	—	5,4	—			—	—	—		—		

Der höchste Sturmflutwasserstand wird an der Eiderabdämmung, 20 km oberhalb von Tönning erwartet:

HThw (maßg.) Nordfeld = + 6,9 m NN = + 5,1 m MThw 1941/50
Die Ergebnisse wurden im Abschnitt V noch vergleichend gewertet.

III. Der maßgebende Wellenauflauf am Deich

Unter dem Wellenauflauf A wird in diesem Aufsatz der lotrecht gemessene Höhenunterschied zwischen der auf die Deichböschung aufgelaufenen höchsten Wellenspitze und dem Ruhewasserspiegel verstanden.

Während der Sturmfluten am 18. und 27. Oktober 1936 wurden einzelne Deichstrecken der schleswig-holsteinischen Westküste von Wellen überflutet, obwohl die höchstbekannten Wasserstände (HThw) nicht überall erreicht wurden und obwohl der Küstenwind nicht einmal Orkanstärke hatte, so auf Nordstrand-Nord und -West, Pellworm-West und -Ost (!), am Dockkoog bei Husum und am Neufelder Koog-West. Die Schäden an den überströmten Binnenböschungen waren bedrohlich und im ganzen ein Zeichen unzureichender Schätzung der Höhe des Wellenaufbaus [vgl. BUSCH 1937 (2) und die teils unveröffentlichten Lichtbilder Abbildungen 14 bis 19]. Dieser Unsicherheit in der Abschätzung des Wellenaufbaus wurde bisher beim Entwurf von Deichhöhen durch einen „Sicherheitszuschlag“ Rechnung getragen, insbesondere für die sturmzugewandten Luvdeiche, weniger für die Leedeiche. Ähnlich unterschiedlich war die Bemessung der Deichhöhen im südholändischen Inselgebiet gehandhabt worden mit der Auswirkung, daß die Sturmflutkatastrophe des 1. Februar 1953 entscheidend durch Binnenschäden an den Leedeichen eingeleitet wurde, die bei zu sparsamer Höhenbemessung zuerst vom Wasser überflutet wurden [KLEIN (19), HUNDT (17)].

Die zukünftig maßgebenden Sturmflutwasserstände reichen noch rund 1 m über die Sturmflutwasserstände des Oktober 1936 hinaus, für deren Wellenaufbau, wie oben erwähnt, die bestckmäßige Kronenhöhe vereinzelt schon nicht ausgereicht hatte. Daß dann die übliche Faustformel: Größter Wellenaufbau am Festland = rund 2 m und an den Inseln rund 1,50 m nicht mehr genügen kann, liegt auf der Hand [vgl. SCHELLING (35)].

1. Unterlagen und Verfahren (Westküste)

Deichinspektor SCHEFFER (34) hat an der Eider und in Dithmarschen zu den rekonstruierten Wasserständen von 1825 Wellenaufbau beträge hinzugeschlagen, die er bei selberlebten Sturmfluten von 1858 und 1860, die niedriger als 1825 waren, nach Flutkanten gemessen hatte. Danach war zum Beispiel bei Büsum der Wellenaufbau A = 5 Fuß + Zuschlag 1 Fuß = 6 Fuß = 1,9 m. Im übrigen wurde der Wellenaufbau nach örtlicher Erfahrung und Erinnerung geschätzt. Ein modernes Deichbesteck, wie das von 1937 für die abgedämmte Untereider, beruhte ebenfalls auf der Einwägung der Flutkanten einzelner Sturmfluten, unter anderem vom 27. Oktober 1936, denen ein „Sicherheitsbetrag“ von 50 cm hinzugeschlagen wurde. Andere Verfahren gab es nicht. Und so entbehrt bis heute die Bemessung des Wellenaufbaus an Seedeichen noch zuverlässiger Grundlagen.

Ähnlich hatten teilweise die Verhältnisse im Deichwesen des südholändischen Katastrophengebietes gelegen. Erst die Tätigkeit der 1939 berufenen, sogenannten STURMFLUTKOMMISSION scheint dort eine eingehendere Beschäftigung auch mit der Frage des Wellenaufbaus zur Folge gehabt zu haben. Bei der generellen Überprüfung der Deichzustände hat man sich ebenfalls nur auf einige wenige vollständige Flutkantenvermessungen stützen können (zum Beispiel nach der Sturmflut 1943 in Südholland und nach dem 4. Februar 1944 in Westfriesland), und benutzt diese als mehr oder weniger fragwürdigen Anhalt für die Bestimmung der Sollhöhen der Deiche.

Man hat in den Niederlanden nach 1940 außerdem, ausgehend von den umfangreichen, von MUNK und SVERDRUP durchgeführten amerikanischen und englischen Seeganguntersuchungen,

die rechnerische Ermittlung der Wellenhöhen und des Wellenaufbaus eingeführt. Während dieses aus „Tief“wassergebieten abgeleitete Formel- und Diagrammaterial [von GROEN (9) anschaulich dargestellt] auf die morphologisch teils ähnlichen Küstengebiete Südhollands mit vielen Schardeichen anwendbar ist, ist es für die flachen Wattgewässer vor den deutschen Nordseedeichen nur bedingt brauchbar. Für den Wellenaufbau selbst und seine auf den Deich wirkenden Kräfte hat das Wasserbau-Laboratorium Delft aus Modell- und Naturmessungen folgende Formel entwickelt: $A = K \cdot H$.

A = Höhe des Wellenaufbaus,

H = Wellenhöhe vor dem Deich,

K = ein von den Deichabmessungen und von der Deichlage abhängiger Wert, der unter anderen den dämpfenden Einfluß der auf den meisten niederländischen Deichen befindlichen Außenberme berücksichtigt [VALKEN (43) und BIJKER (18)].

Auch dieses Rechenmittel, das weder die Wassertiefe vor dem Deich noch die Wellenperiode erfaßt, läßt sich nicht ohne weiteres auf die meist durch Watt oder Vorland geschützten deutschen Deiche anwenden.

Angesichts solcher unzureichenden Kenntnisse erhielt 1953 das Franzius-Institut in Hannover von der Landesregierung Schleswig-Holstein den Auftrag zur Durchführung entsprechender Modellversuche. Deren Ergebnisse, ergänzt durch Naturmessungen, erlauben nunmehr den Versuch, die Größenordnung des bei sehr hohen Sturmfluten zu erwartenden Wellenaufbaus zu bestimmen.

a) Die Flutkanteneinwägungen

Die Unterlagen für die folgenden Ermittlungen bilden Ergebnisse von Flutkanteneinwägungen in Nordfriesland nach den Sturmfluten vom 18. und 27. 10. 1936, in Eiderstedt, Dithmarschen und Nordfriesland nach dem 16. 1. 1954, und Wellenaufbauschätzungen in Südholland nach dem 1. 2. 1953, deren Auswertungen in den Abbildungen 11 bis 13 und teilweise in Tabelle 6 wiedergegeben werden. Verschiedentlich konnte der Wellenaufbau nicht vermessen werden, sondern mußte bei den nächtlichen sich überstürzenden Ereignissen in Südholland nachträglich nach dem Beschädigungsgrad des Deiches oder in Nordstrand und Pellworm im Oktober 1936 nach den fotografischen Aufnahmen geschätzt werden (vgl. hierzu die Abbildungen 14 bis 19). Im Höchstfall (z. B. Tab. 6, Nr. 12), wurden die Spitzen der überflutenden Wellen 60 cm höher als die Deichkrone geschätzt, was nach Abbildung 18, die diese auf West-Pellworm gelegene Deichstrecke betrifft, nicht übertrieben scheint.

In den Diagrammen der Abbildungen 11 bis 13 ist versucht worden, die für den Wellenaufbau etwa maßgebenden Faktoren der Deichlage in bezug auf Wind und See zu veranschaulichen.

b) Modellversuche über Wellenhöhen im Wattgebiet

Die im Franzius-Institut in Hannover angestellten Versuche [HENSEN (13)] erstreben an einem schematischen und auf quer auflaufenden Seegang beschränkten Modell zunächst grundsätzliche Einsicht in die Wellen- und Brandungsmechanik vor und an einem Deich, der hart am tiefen Wasser liegt, also an einem Ort, wo die gesamte Energie der Meereswellen bis dicht an den Deich herangelangt, einem Gefahrenpunkte, wie er an der schleswig-holsteinischen Westküste allerdings selten vorkommt.

Die zunächst gewählte Versuchsbeschränkung auf ein Tiefwasserrelief läßt die Anwendung der Ergebnisse auf die weit überwiegenden Naturfälle der Flachwasserreliefs (Deich hinter breiten Watt- und Vorlandflächen) nur in Auswahl zu. Tatsächlich ist der Wattgürtel an der schleswig-holsteinischen Westküste fast nirgends schmaler als 3 km, im übrigen mehr als 10 km breit, und die Watt Rücken erheben sich durchweg bis zu + 0,50 m NN, d. h. bis rund 1 m unter MThw, vereinzelt höher. Wenn somit die wirksame Wassertiefe bei hohen Sturmfluten auf sehr langen Wellenbahnen nur 3 bis 4,50 m beträgt, werden die Meereswellen nach dem Durchgang durch die Brandungszone des äußeren Wattensaumes mehr oder weniger gelöscht sein,

Tabelle 6
Wellenauflauf und Deichlage in Nordfriesland am 18. und 27. 10. 1936
(graphische Darstellung s. Abb. 11)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10a	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33		
Lfd. Nr.	Deichstrecke	Stat.	Deich			Bodenhöhe vor dem Deich zu NN			Sommerkoog, Vorland, Lahnung Schar	Richtungen			Wasserstand und Wassertiefen				Deichschäden				Lfd. Nr.														
			Kronenhöhe	mittl. Böschung über MHw	Berne Mauer	Abstand vom Deichfuß	Mittl. Höhe vor dem Deich i. Abst.	Sommerkoog, Vorland, Lahnung Schar		Deichnormale nach	Hauptsturm aus	Luvfaktor	Streichraum in Luvsektor	HT _{hw}	Mittl. Wassertiefe v.d.Deich im Abstand	Binnen	Außen	Durchbruch	Zahl bzw. Strecke	Wellenspitzen		Mindestwellenauflauf	Geschätzter Wellenauflauf												
			NN+	1 :	B, M	- 3m	- 6m	- 9m	0-0,1 km	0,1-0,5 km	0,5-1 km	SK, V, L, S	(16er Skala)	cos β	km×km	NN+	0-0,1 km	0,1-0,5 km	0,5-1 km																
1	Wiedingharder Alter Koog		71			—	—	—	18	12	5	V	W	W +1	23×9	41	23	29	36															1	
2	Südwesthörn		69			6	7		-2	-5	-10	L	S	W ±0	24×9	41	43	46	51															2	
3	Dagebüller Koog		66			2	4		-10	-20	-24	S	W	W +1	7×2,5	40	50	60	64															3	
4	Osewoldter Koog		69			6,5	8		18	10	2	V	SW	W +0,7	11×4 ¹⁾	41	23	30	39															4	
5	Fahretofter Koog		61			3	3,5		18	18	12	V	SW	W +0,7	14×5 ¹⁾	42	24	24	30															5	
6	Ockholmer Koog		70			4,3	4,3		2	0	-5	L	W	W +1,0	8×3	45	43	45	50															6	
7	Sönke-Nissen-Koog		72			5,2	5,5		18	18	5	V, L	WSW	W +0,9	22×1	45	27	27	40																7
8	Hattstedter Koog		71			5	6		18	10	5	V, L	WSW	W +0,9	19×1,5	46	28	36	41																8
9	Nordstranderdamm Süds.		70			—	—		18	10	5	V, L	SSO	W -0,4	0×0	47	29	37	42																9
10	Nordstrand Kiefhuk		58			3	3,1		16	0	-10	V, S	NW	W +0,7	10×3	44	28	44	54										>58	~20			Wellenüberlauf	10	
11	Nordstrand Trendermarschkoog		63			3	3,2		0	-5	-10	S	W	W +1,0	∞×∞	42	42	47	52								++		>63	~27				11	
12	Pellworm Hölle	Dst 12	62			2,5	4		±0	-2	-5	S	SW	W +0,7	∞×∞	38	38	40	43										>62	~30			Wellenüberlauf	12	
13																																			13
14	Pellworm, kl. Norderkoog	Dst 30	63			1,8	4		16	0	-8	V	W	W +1,0	∞×∞	38	22	38	46										>63	~31				14	
15	Pellworm Hafen	Dst 44	51			2,2	2,4		0	12	-8	S	SSO	W -0,4	0×0	42	42	30	50								+	>9	~12					15	
16	Hundeknöll	104,4	68			0,3	0,35		16	-25	-4	L	NW	W +0,7	∞×∞	45	29	70	49																16
17	Wesselburener Koog		69			1,2	2,0		24	10	0	V, L	WNW	W +0,9	∞×∞	45	21 ²⁾	35	45																17

¹⁾ Schneidet Oland-Damm.
²⁾ Steinkante + 2,4 auf 100 m vom Deichfuß!



Abb. 14
Nordstrand Nordwest,
Kieffhuk
Schwere Brandung am
Außendeich
18. 10. 36 etwa 14 Uhr.
HThw + 4,4 m NN.
Wind W 10 Bft.
Deichrichtung
(hinten) SW... NO.
Blick gegen Ost

Aufn. A. BUSCH, Nordstrand

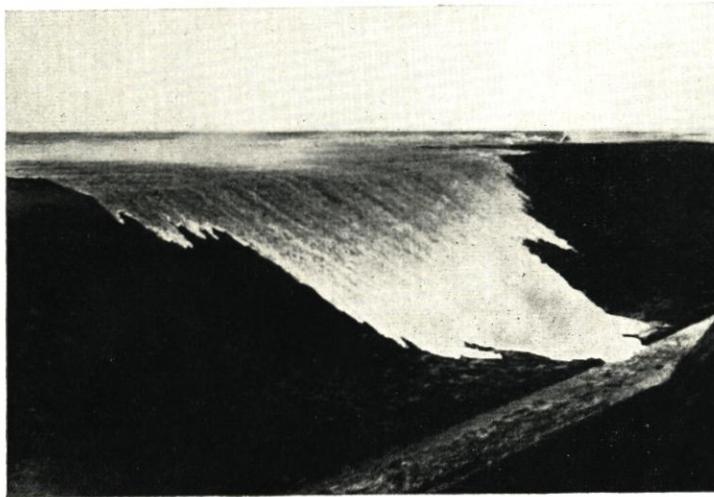


Abb. 15
Nordstrand Nordwest,
Kieffhuk
Überschießende Welle
18. 10. 36 etwa 14 Uhr.
HThw + 4,4 m NN.
Deichkrone + 5,8 m NN.
Wind W 10 Bft.
Deichrichtung SW... NO.
Blick gegen Nord.
Dieselbe Deichstrecke
wie Abb. 14

Aufn. A. BUSCH, Nordstrand

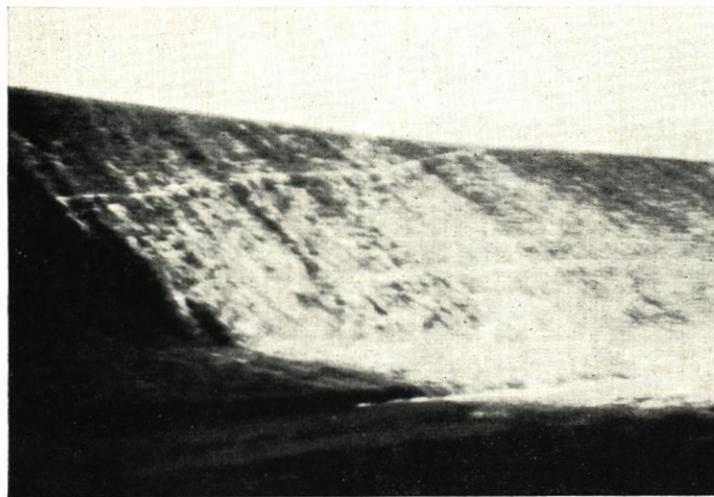


Abb. 16
Nordstrand Nordwest,
Kieffhuk
Überschießende Wellenfront
18. 10. 36 etwa 14 Uhr.
HThw + 4,4 m NN.
Deichkrone + 5,8 m NN.
Wind WNW 11 Bft.
Deichrichtung SW... NO.
Blick gegen Nord.
Standort wie Abb. 15

Aufn. A. BUSCH, Nordstrand

150
Abb. 17
Pellworm, Südwest, Hölle
Brandung vor dem Deich
27. 10. 36 etwa 10 Uhr.
HThw + 3,8 m NN.
Deichkrone + 6,2 m NN.
Wind W 11 Bft.
Deichrichtung O... W.
Blick gegen W

Aufn. W. BOCK, Pellworm

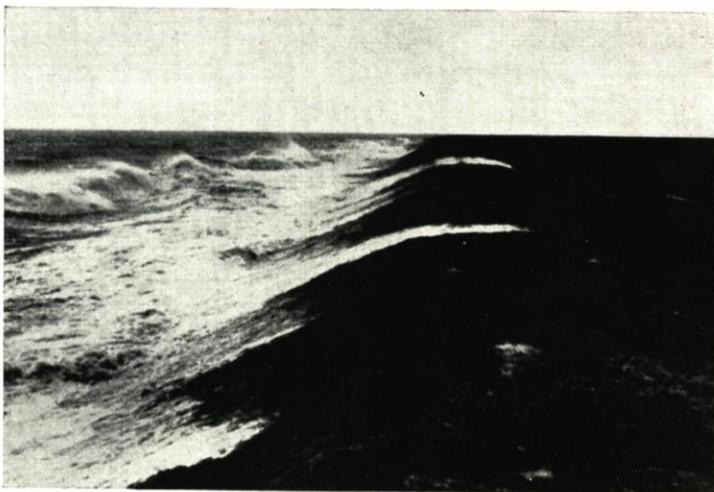


Abb. 18
Pellworm, Südwest, Hölle.
Überschießende Welle
27. 10. 36 etwa 10 Uhr.
Sonst wie Abb. 17

Aufn. W. BOCK, Pellworm



Abb. 19
Pellworm, Südwest, Hölle.
Deich und Vorland, etwa
bei Mittelwasser
Okt. 1936 nach den
Sturmfluten

Aufn. A. BUSCH, Nordstrand



bevor sie den Deich erreichen können. Herrscht Wind oder gar Sturm, wird man sich vorstellen müssen, daß über den Watten eine von der offenen See unabhängige Windsee entwickelt wird, die niedrigere und steilere Wellen, insbesondere aber kürzere Perioden aufweisen dürfte. Insofern wären die im Tiefwassermodell entwickelten Wattwellen sicher gefährlicher anzusehen, als die im Wattenmeer tatsächlich zu erwartenden.

Über dieses Problem der Windseebildung im „Flach“wasser — d. h. nach ROLL (31) für Wellen mit dem Verhältnis Länge : Wassertiefe $L : t \geq 4$ — sind keine Untersuchungen bekannt geworden. Wichtig erscheint hierzu die Ansicht von ROLL, daß die von ihm auf dem Neuwerker Watt bei Windstärke 3—4 Bft und Wassertiefen bis 1,50 m gemessenen Windwellen selbständige Wattgebilde waren.

c) Wellenperiodenmessungen an der schleswig-holsteinischen Westküste während der Sturmflut am 16. 1. 1954

Abbildung 20 enthält die mit der Stoppuhr beobachteten Wellenperioden an einigen Deichstationen. Die Einzelwerte bedeuten jeweils das Mittel aus einer Zweiminutenbeobachtung (Büsum) beziehungsweise das Mittel aus zehn aufeinanderfolgenden Perioden (Husum). Der Wind

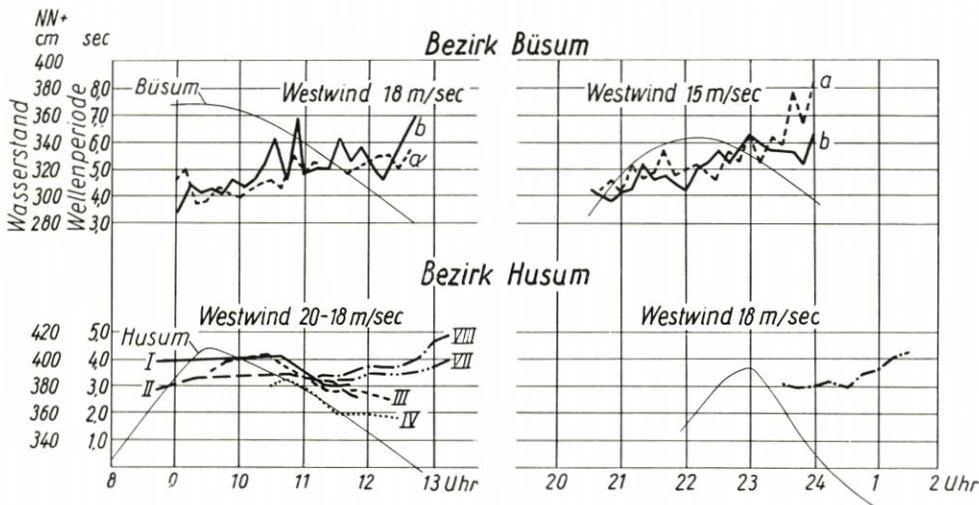


Abb. 20. Beobachtete Sturmflut-Wellenperioden am 16. Januar 1954 an der schleswig-holsteinischen Westküste

- | | | |
|--------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Bezirk Büsum: | Bezirk Husum: | IV. Sönke-Nissen-Koog |
| a) Büsum Ostdeich | I. Nordstrander Damm, | VII. Hindenburgdamm Nord, |
| b) Büsum Westdeich | km 1,1 Nordseite | vor dem Dreieckskoog bei |
| | II. Nordstrander Damm, | Deichstein 65 |
| | km 1,1 Südseite | VIII. Südwesthörn, 200 m nörd- |
| | III. Hattstedter-Seedeich | lich des Deichsiesels |

hatte bis zum Vormittagshochwasser zehn Stunden lang vorher gleichmäßig mit $v = 18 \dots 20 \text{ m/sec} = 8 \dots 9 \text{ Bft}$ aus West geweht und behielt Stärke und Richtung bis zum zweiten Hochwasser annähernd bei. Die Meßzeiten erstrecken sich leider nur auf 3 bis 4 Stunden um die Hochwasserzeit.

Allen Meßstellen gemeinsam ist, daß die Perioden mit dem Tidegang, wenn auch phasenverschoben, schwankten. Da Periodenschwankungen in der offenen und tiefen See bei dem dauernd gleichmäßigen Sturm unwahrscheinlich waren, muß ihre periodische Ursache innerhalb des flachen Wattenmeeres gesucht werden, nämlich, abgesehen vom Tidestrom, in der mit der Tide schwankenden Wassertiefe. Setzt man zum Beispiel die mittlere Sohlenlage des

Wattengebietes vor Südwesthörn zu -1 m NN, dann hat die Wassertiefe am 16. 1. 1954 zwischen rund 4,5 und 2,5 m, also zwischen 100 und 180 % der Tiefe bei Thw geschwankt.

Die Periodenmessungen des 16. 1. 1954 bieten außerdem — in Ergänzung der Hannoverschen Versuche — den wichtigen Hinweis, daß die für die Wellenbildung und insbesondere für den Wellenauflauf als gefährlich ermittelten langen Perioden bis zu etwa $T = 9$ sec in einem tiefwassernahen Wattgebiet wie Büsum durchaus denkbar sind; Werte von 8 sec wurden bereits angetroffen. Andererseits sind in Wattgebieten ohne nahegelegene Tiefs, etwa wie bei Husum, weniger lange Perioden zu erwarten.

2. Allgemeine Auswertung

Daß der Sturmwindwinkel zum Deich (Winkel β) wesentlichen Einfluß auf die Höhe des Wellenaufbaus (A) hat, wird durch die Abbildungen 11 bis 13 anschaulich bestätigt. Die höchsten Wellenaufbauwerte treten an Deichstrecken mit höheren „Luvfaktoren“ ($\cos \beta$) auf, naturgemäß dort, wo der Wind quer auf den Deich weht. Beachtlich sind jedoch die Ausnahmefälle hohen Wellenaufbaus in Lee (negativer Luvfaktor), wie auf Abbildung 11, Nr. 9 (Nordstrander Damm Süd) und Nr. 15 (Pellworm Hafen = Inselostseite). Während hierfür eine Erklärung schwerfällt, bieten andere Ausnahmen wie Abbildung 12 Nr. 23 und Abbildung 13 Nr. 11, deren Gegebenheiten aus den Signaturen abgelesen werden mögen, eine Deutung. Diese Punkte liegen nämlich unmittelbar oder nahe an großen Tiefen von ziemlicher Ausdehnung, sind also den Erscheinungen der Wellenbeugung, des Wellenreflexes und der Interferenz in einem kaum abschätzbaren Maße ausgesetzt. Diese Erscheinungen haben im süd-holländischen Inselgebiet am 1. 2. 1953 vermutlich mit zum Verderben beigetragen. Sie sind, wenn auch nicht so ausgeprägt, an den Leeseiten von Nordstrand und Pellworm zu berücksichtigen, außerdem an allen leeseitigen Deichstrecken in Buchten und Flußmündungen, die nicht durch Vorland geschützt sind (Schardeiche). Auch die Sturmflut am 16. 1. 1954 mit der mäßigen Sturmstärke 9 Bft bot mehrere Beispiele dieser Art (Abb. 12).

Als zweiter Einflußfaktor kommt die Wassertiefe in der Nachbarschaft des Deiches in Frage. Angeregt durch die Hannoverschen Wellenaufbauversuche sind für die in den Diagrammen und Tabellen ausgewerteten Deichstrecken die mittleren Wassertiefen (im folgenden „Vordeichtiefen“ genannt) in den drei Vordeichtzonen im Abstand 0 . . 0,1 0,1 . . 0,5 und 0,5 . . 1,0 km vom Deichfuß (Zonenbreiten $100 + 400 + 500 =$ gesamt 1000 m) festgestellt und in den Diagrammen gekennzeichnet worden. Außerdem ist das Vorkommen von (überfluteten) Sommerkögen, Vorland, Lahnungen sowie Schardeichen besonders vermerkt. Aus den Diagrammen für die Westküste (Abb. 11 und 12) ersieht man, daß die Höchstwerte des Wellenaufbaus nur an Schardeichen vorkommen und daß die zugehörigen Vordeichtiefen im Abstand bis 500 m größer als 3 m sind. Lahnungen und Vorland findet man nur im Bereich der kleineren und mittleren Aufbaumwerte, etwa bis zu 70 % der jeweiligen Größtwerte von A.

Im unteren Bereich des Wellenaufbaus muß der Grund des niedrigen Wertes von Nr. 3 in Abbildung 11 (Dagebüll) in örtlichen, noch nicht bekanntgewordenen Gegebenheiten gesucht werden. Bei seinen großen Vordeichtiefen $t = 5$ bis 6,90 m wäre bei der Nähe der ausgedehnten Tiefen der Norderau trotz der Schutzwirkung von Föhr ein größerer Wert zu erwarten gewesen. Einfacher sind die ebenfalls auffällig niedrigen A-Werte am Wesselburener Koog erklärbar (Abbildung 11, Nr. 16 und 17 und Abbildung 12, Nr. 7 und 8). Sie scheinen der unmittelbaren Anschauung — Nähe des Eiderfahrwassers, gefährdete Abbruchstrecke mit kostspieligen Schutzmaßnahmen — zu widersprechen. Indessen übt hier der zwar schmale aber ziemlich hohe Vorlandgürtel ($+ 2,4$ m NN) eine durchgreifende Wirkung aus. Bei den am 18. und 27. Oktober 1936 aufgetretenen Wasserständen betrug die Wassertiefe vor dem Deich nur 2 m.

Die geschilderten Zusammenhänge zwischen Vordeichtiefen und Wellenaufbau findet man durch die aus den Niederlanden bekanntgewordenen Tatsachen bestätigt, wie sie unter anderem in Abbildung 13 zum Ausdruck kommen. Darüber hinaus fällt im Vergleich zu den katastrophalen Deichbrüchen aber auf, daß der Wellenaufbau bei der Orkanflut des 1. Februar 1953 an den Luvdeichen der Inseln Schouwen und Goeree (Abb. 13) kaum höher war als an den wesentlich

weniger ausgesetzten Deichen Schleswig-Holsteins während der Oktoberfluten 1936, nämlich nicht höher als maximal 3 m. Die Erklärung liegt zum Teil darin, daß der Sturm des 1. Februar 1953 unmittelbar vor und an der holländischen Küste die Stärke von 10 Bft nicht übertroffen hat [POSTMA (28)]. Der Wellenauflauf war in Südholland zum Beispiel bei der Sturmflut 1943 merklich höher. Die höchsten Werte, Nr. 8 (Nordschouwen) und Nr. 23 (Abschlußdamm bei Harlingen), sind darauf zurückzuführen, daß diese Deichstrecken näher an größeren Meeresflächen liegen als jene, sowie darauf, daß ihnen Bermen fehlen. Zweifellos sind es nämlich die sonst in Holland meist üblichen, auf etwa MThw + 1,50 m gelegenen Außendeichbermen (Index „B“ in den Diagrammen), die den an sich höher zu vermutenden Wellenauflauf gedämpft haben.

Ein dritter den Wellenauflauf bestimmender Faktor könnte nach der Seegangstheorie die Streichlänge des Windes sein, das ist die dem maßgebenden Wind ausgesetzte Seestrecke luvwärts des Beobachtungspunktes. In den Diagrammen sind daher die überschlägig ermittelten luvwärtigen Streichlängen in grober Abstufung gekennzeichnet worden. Aus den verfügbaren verhältnismäßig geringen Beobachtungen läßt sich indessen kein eindeutiger Einfluß der Streichlänge ableiten, weder für die schleswig-holsteinische Westküste mit ihren einheitlich großen Streichlängen noch für das süd-holländische Inselgebiet. Immerhin ist festzustellen, daß in Südholland einzelne hohe Werte des Wellenaufbaus (Nr. 23 Abschlußdamm, Nr. 8 und 17 auf Schouwen) sowohl mit großen Tiefen als auch großen Streichlängen gekoppelt sind.

Zusammengefaßt ergeben die Naturbeobachtungen für die Verhältnisse an der schleswig-holsteinischen Westküste folgende Anhaltspunkte:

- a) Der Sturmeinfallswinkel zum Deich (β) ist maßgebend für die Höhe des Wellenaufbaus. Der gefährliche Sturmsektor erstreckt sich ungefähr bis zu $\beta = 45^\circ$ beiderseits der Hauptsturmrichtung, also auf insgesamt 90° (Luvfaktor $\cos \beta = +0,7$ bis $+1,0$). An Deichen mit flacher auftreffenden und auch ablandigen Sturmrichtungen ($\cos \beta = +0,4$ bis $-1,0$) können Wellenaufbauhöhen von etwa 75 % bis 50 % der bei steilem Einfall in demselben Küstengebiet auftretenden Größtwerte entstehen, sobald ausgedehnte Wasserflächen größerer Tiefe in der Deichumgebung liegen.
- b) Die Wassertiefe nur der unmittelbar vor dem Deich gelegenen bis etwa 100 m breiten Zone scheint für den Wellenaufbau entscheidend zu sein. Höchstwerte sind zu erwarten, sobald die Wassertiefe dieser Zone bei Sturmfluten mehr als rund 3 m groß wird (wie vor Schardeichen). Ist sie flacher, kommen nur kleine bis mittlere Aufbauhöhen vor; es sei denn, daß verschärfende Einflüsse der weiteren Umgebung, wie Tiefwassergebiete oder Buchteneffekte, überwiegen. Hinter Landgewinnungsflächen von mindestens rund 500 m Breite sind Aufbauhöhen von höchstens 70 % der unter sonst gleichen Umständen bei Schardeichen auftretenden Größtwerte zu erwarten.
- c) Die Streichlänge des Windes hat für den Wellenaufbau an der Wattküste untergeordnete Bedeutung.

3. Vergleich der Naturbeobachtungen mit Modellversuch und Theorie

Wellenperioden. Nach den Beobachtungen bei der Sturmflut am 16. 1. 1954 vormittags (Abb. 20) dauerte eine mittlere Wellenperiode zur Hochwasserzeit:

7 sec an der Sylter Westküste,

4,5 sec bei Büsum,

3,5 sec an der nordfriesischen Festlandsküste.

Diese an See- und Wattküste unterschiedlichen Werte entsprechen überschläglich der Seegangstheorie, zum Beispiel:

- a) Sylt, Westküste: Für Windstreichlänge $F = 200$ km, Windgeschwindigkeit $U = 20$ m/sec, unbegrenzte Winddauer, Wassertiefe $t = 20$ m und Erdbeschleunigung $g = 10$ m/sec² ergeben sich Wellenhöhe H , Wellenperiode T , Wellengeschwindigkeit C und Wellenlänge L

aus dem Diagramm Abbildung 22 [nach ROLL (31)] zu: $H = 6$ m, $C = 11$ m/sec, woraus [nach GROEN (9) Abb. 9] $T = 8$ sec und $L = 90$ m folgen.

- b) Wattenmeer: Für $F = 10$ km, $t = 5$ m (was etwa der mittleren wirksamen Wassertiefe am 16. 1. 1954 nahekäme), im übrigen wie oben, ergibt sich $H = 1,6$ m, $C = 6$ m/sec, $T = 5$ sec, $L = 30$ m.

Es leuchtet ein, daß bei steigender Tide die wirksame Streichlänge um so größer werden muß, je mehr die höheren Wattücken untertauchen, und man darf diesen Umstand bei der Betrachtung von sehr hohen Sturmfluten nicht vernachlässigen:

- c) Bei schwersten Sturmfluten werden für den Fall b) (Wattenmeer) $F = 12$ km, $U = 30$ m/sec und $t = 6,5$ m, was theoretisch $H = 2,5$, $C = 7$ m/sec, $T = 6,5$ sec ergäbe.

Im weiteren wird schätzungsweise als größte mögliche Wellenperiode an der Wattküste zugrunde gelegt:

$$T_{(\max)} \text{ Wattküste} = \text{rund } 7 \text{ sec.}$$

Wellenauflauf. Die Hannoverschen Versuche haben erwiesen, daß die Höhe der bis an den Deich gelangenden Wellen fast nur von der Wassertiefe dicht vor dem Deich abhängt, nicht von der Wellenhöhe in See außerhalb des Wattengebietes und kaum von der Periode. Die Ursache und die — bei Sturm fast immer erfüllte — Voraussetzung dieser Erscheinung ist das

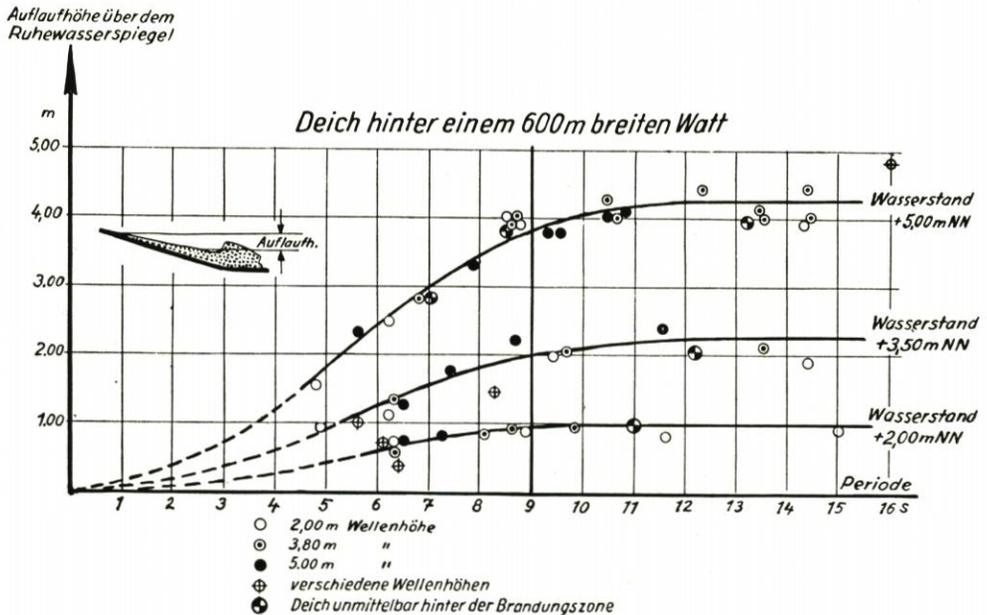


Abb. 21. Auflaufhöhe in Abhängigkeit von der Periode

Vorhandensein einer ausgeprägten Brandung mindestens 100 m seewärts des Deiches. Die weitere Folge ist, daß der anschließende Wellenauflauf ebensowenig von den Wellenhöhen in See abhängt, sondern nur von der Wassertiefe vor dem Deich und in ausgeprägtem Maße von der Periode, bei T größer als 11 sec nur noch von der Wassertiefe allein (Abb. 21).

Ähnlich werden sich diejenigen Wellen verhalten, die nicht wie die Modellwellen aus der tiefen See stammen, sondern selbständige Windwellen des Wattenmeeres sind. Auch sie werden beim Einlaufen in die flache Vordeichzone branden, und der anschließende Vorgang des Wellenaufbaus wird sich wie im Modellfall unter den auf Abbildung 21 aufgezeigten Abhängigkeiten vollziehen. Hiermit bietet sich schließlich eine Handhabe, über Wellenaufbau bei höheren Wasserständen etwas auszusagen.

4. Maßgebender Wellenauflauf bei höchsten Sturmflutwasserständen

a) Errechnete Werte

Zunächst soll die nordfriesische Küstenstrecke zwischen der dänischen Grenze und Husum betrachtet werden, für welche die an acht Stationen während der Oktoberfluten 1936 genommenen Meßwerte zu folgenden Gebietsmittelwerten zusammengefaßt wurden (vgl. Tab. 6, Zeile 1 bis 9):

Mittleres Sturmfluthochwasser	HThw _m 1936 =	+ 4,3 m NN
Mittlere Vordeichtiefe	t _m 1936 =	3,2 m
Mittlerer Wellenauflauf	A _m 1936 =	1,6 m
Mittlere Wellenperiode	T _m 1936 =	5 sec

T_m = 5 sec wurde schätzungsweise nach dem am 16. 1. 1954 beobachteten Wert T (für 16. 1. 1954) = 3,5 sec und dem ermittelten äußersten Wert T_(max) = 7 sec interpoliert.

Für den Fall der maßgebenden Sturmflutwasserstände HThw (maßg.) = rund + 5,5 m NN (Tab. 4) ergibt sich:

$$t_{m(max)} = 3,2 + (5,5 - 4,3) = 4,4 \text{ m}$$

$$T_{m(max)} = 7 \text{ sec.}$$

Man geht mit den Wertepaaren T_m und t_m in die Kurvenschar der Abbildung 21 und entnimmt die zu 1936 und (max) gehörigen Kurvenwerte A'_m 1936 und A'_{m(max)}. Ihr Zuwachs $\Delta A'_m$ wird dem 1936 beobachteten Wellenauflaufwert A_m 1936 zugerechnet und man erhält:

A' _m 1936	=	0,8 m für T = 5 sec, t = 3,2 m
A' _{m(max)}	=	2,3 m für T = 7 sec, t = 4,4 m
$\Delta A'_m$	=	1,5 m
A _{m(max)}	=	A _m 1936 + $\Delta A'_m$ = 1,6 + 1,5 = 3,1 m.

Es darf nicht verwundern, daß der Modellwert A'_m 1936 = 0,8 m kleiner als der Beobachtungswert A_m 1936 = 1,6 m ist, denn es fehlt im Modell der Wind, der in der Natur die Wellen noch die Deichböschung hinauftreibt. Außerdem war im Modell nicht die höchste Lage (entsprechend der Flutkante), sondern die mittlere Lage der Wellenspitzen zugrunde gelegt worden. Insofern sind zwar die absoluten Kurvenwerte nicht naturähnlich, wohl aber ihre relativen Änderungen. Der errechnete erstaunlich hohe Unterschied von $\Delta A'_m$ = 1,5 m leuchtet ein, wenn man den fortschreitend wachsenden Einfluß der Wassertiefe erkennt, der zum Beispiel bei konstanter Periode für die zweieinhalbfache Wassertiefe einen vierfachen Wellenauflauf bewirken würde.

Bei der Unsicherheit der Periodenermittlung sei noch die Periode T = 6 sec angewendet; dies ergibt:

$$A_{m(max)} = 1,6 + (1,9 - 0,8) = 1,6 + 1,1 = 2,7 \text{ m.}$$

Da zur Zeit keine andere Handhabe zur weiteren Annäherung an den tatsächlichen Wert gegeben ist, wird der Größenordnung nach gerechnet, daß der maßgebende⁹⁾ Sturmflut-Wellenauflauf an den nordfriesischen Festlandsdeichen im Mittel

$$A_m(\text{maßg.}) = 2,8 \text{ m beträgt.}$$

Die für die einzelnen Deichstrecken maßgebenden Werte sind den auf Seite 132 und 133 gegebenen Anhaltspunkten und den örtlichen Gegebenheiten entsprechend zu bestimmen. In

⁹⁾ Der „maßgebende Sturmflut-Wellenauflauf“ ist der Ermittlung nach derjenige, mit dem beim Eintritt des „maßgebenden Sturmflutwasserstandes“ und der zugeordneten Windrichtung gerechnet werden muß. Höhere Wasserstände als die „maßgebenden“ sind indessen möglich, wenn auch sehr selten zu erwarten. Das bedeutet, daß in außergewöhnlichen Fällen auch der Wellenauflauf noch größer als der „maßgebende Sturmflutwellenauflauf“ werden kann.

Ferner ist zu beachten, daß sich alle Angaben über den Wellenauflauf auf das an der schleswig-holsteinischen Westküste vorherrschende Deichprofil beziehen, dessen Kennzeichen die konkave Außenböschung mit flachgeneigtem Fuß und die Bedeckung mit einer Grasnarbe sind. Neuere, beim Franzius-Institut Hannover laufende Versuche geben eine gewisse Aussicht, durch andere Profilformung (konvex) und rauhere Abdeckung den Wellenauflauf herabzusetzen.

ähnlicher Weise werden für die Deiche im Westen der Inseln Nordstrand und Pellworm (Beobachtungsstationen Tab. 6 Nr. 10, 11, 12 und 14) folgende Mittelwerte gefunden:

HThw _m	1936 = + 4,0 m NN, ... (maßg.) = etwa + 5,2 m
t _m	1936 = 3,2 m, ... (max) = 4,4 m
T _m	1936 = (6) sec, ... (max) = (8) sec
A _m	1936 = 2,7 m, ... (max) = ?

und aus dem Diagramm, Abbildung 21:

A' _m	1936 = 1,2 m, A' _m (max) = 2,7 m
ΔA' _m	= 1,5 m,
A _m (max)	= 2,7 + (2,7 - 1,2) = 4,2 m

Es wird daraufhin für die Westdeiche der Inseln Nordstrand und Pellworm im Mittel mit maßgebenden Wellenauflaufhöhen um

$$A_m (\text{maßg.}) = 4,0 \text{ m}$$

zu rechnen sein.

Für die Leedeiche im Osten der beiden Inseln ist der Wellenauflauf nach den auf Seite 133 gegebenen Hinweisen nicht weniger als 75 bis 50 % der Größtwerte des Gebietes zu wählen. Für Pellworm sollte wegen der benachbarten Norderhever etwa 70 % gefordert werden. Für Nordstrand-Ost dürfte wegen der angenommenen höheren Wattgebiete ein Anteil von rund 50 % genügen.

Pellworm Ost	A _m (maßg.) = 4 · 70 % = 2,8 m
Nordstrand Ost	A _m (maßg.) = 4 · 50 % = 2,0 m

b) Kritische Betrachtung

Die obigen Wellenauflaufwerte übertreffen wesentlich die landläufige Vorstellung. Es soll nun versucht werden, die Rechenwerte ohne Rücksicht auf einschränkende praktische Erfordernisse auf ihre Realität hin abzuwägen. Aus Tabelle 6 und Tabelle 7 geht hervor, daß auf beiden Inseln tatsächlich am 18. und 27. 10. 1936 schon Wellenauflaufhöhen von rund 3 m vorgekommen sein müssen. Dieses Maß beruht auf der niedrigen Schätzung, daß das tatsächliche Auflaufvermögen der über den Deich schießenden Wellen (vgl. Abbildung 17 und 18) um 60 cm über die Deichkrone hinausreicht, falls die Außenböschung höher hinaufreichen würde. Dies gilt für einen Wasserstand, der um mehr als 1 m niedriger liegt als der dort maßgebende Sturmflutwasserstand von rund + 5,3 m NN. Für diesen Wasserstandsbereich gibt es keine Beobachtungen. Wie vorsichtig man in der Schätzung des für derartige Wasserstände geltenden Wellenauflaufs sein muß, lehnen die Hannoverschen Modellversuche. Solange es keine andere Erfahrungsquelle als diese Versuche gibt, wird man den Einfluß der — als bekannt anzusehenden — Wassertiefen für so bedeutsam halten müssen, wie es die Modellversuche erweisen.

Weniger bekannt ist der zweite entscheidende Faktor, nämlich die bei den maßgebenden Sturmflutwasserständen auftretenden Wellenperioden. Ihre Abhängigkeit von den Bestimmungsgrößen (Windstärke, Streichlänge, Wassertiefe) ist rechnerisch zwar schwer zu erfassen, die Vermutungen über die maßgebende größte Periode lassen sich indessen durch folgende Erwägungen eingrenzen:

- Im Wattengebiet sind bei der mittelschweren Sturmflut am 16. 1. 1954 Perioden bis zu 8 sec vorgekommen (bei Büsum).
- In der Nordsee sind Perioden bis zu 10 sec gemessen worden [Feuerschiff S 2 nach (32)], und zwar bei noch nicht schwersten Stürmen bis Stärke 10 Bft.
- Als kürzeste Perioden wurden am 16. 1. 1954 im Wattgebiet 3,5 sec festgestellt.

Während aus diesem Sachverhalt gefolgert wurde, daß bei Sturmfluten an der inneren Wattküste immerhin noch 7 sec für möglich gehalten werden müssen, gibt es andererseits für Pellworm-Südwest ohne Vorlandschutz und in der Nähe der tiefen Hever gelegen keine Handhabe, die Möglichkeit einer Periode von 8 sec auszuschließen. Darauf und auf die durch die Modellversuche erwiesene Periodenabhängigkeit stützte sich die Bestimmung des maßgebenden Wellenauflaufs für Pellworm West.

Tabelle 7
Mittlere Richtwerte für den maßgebenden Wellenauflauf an den Deichen der
schleswig-holsteinischen Westküste

Lfd. Nr.	Deichabschnitt	Datum	Bekannte ¹ Wellenauflauf-Höchstwerte				Höchstberechnete Abschnittsmittelwerte ²⁾					Mittl. Abschnitts- Richtwerte des Wellenauflaufs ³⁾ A _m (massg) dm	Bemerkungen	Lfd. Nr.
			HThw NN+dm	Wind Bft.	T ⁴⁾ sec	HHA dm	Jahr	Thw _{m(max.)} NN+dm	Wind _(max.) Bft.	T _{m(max.)} sec	A _{m(max.)} dm			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Nordfriesische Inseln West Pellworm/Nordstrand	27. 10. 36	+40	W 11	(6)	27	2000	+52	W 12	(8)	42	40/38	Deich liegt quer zum Hauptstauwind	1
2	Nordfriesische Inseln Ost Pellworm/Nordstrand						75 % bzw. 50 % von Nr. 1					28/20		2
3	Dänische Grenze bis Hindenburgdamm													3
4	Nordfriesische Festlandsküste Hindenburgdamm bis Husum	27. 10. 36	+43	W 11	(5)	16	2000	+55	W 12	(7)	31	28	Deich liegt quer zum Hauptstauwind	4
5	Eiderstedt Nord	16. 1. 54	+38	W 9—10	(3,5)	8	2000	+52	W 12	(7)	20	20	Hauptstauwind flankierend	5
6	Eiderstedt West													6
7	Eiderstedt Süd Estensiel bis Kating	16. 1. 54	+39	W 9—10	(5)	6	2000	+52	SW 12	(7)	21	22	Hauptstauwind teils quer	7
8	Norderdithmarscher Außeneider Karolinenkoog—Hundeknöll	27. 10. 36	+45	W 11	(6)	10	2000	+53	SW 12	(7)	18	18	Hauptstauwind flankierend	8
9	Wesselburener Koog West	15. 10. 81	+44	WNW 10	(6)	20	2000	+53	W 12	(7)	27	26	Beob. Werte trotz Eidernähe niedrig. Hohes Vorland	9
10	Heringsand						2000	+53	W 12			26	Sommerkøge	10
11	Hedwigenkoog und Büsum West	15. 10. 81	+43	WNW 10	(6)	22	2000	+53	W 12	(7,5)	37	35	Tiefwasser in der Nähe (Piep). Läng- ste beob. Perioden d. Westküste. Schardeiche ohne Vorland	11
12	Büsum—Warwerort	15. 10. 81	+43	WNW 10	(6)	17	2000	+53	W 12	(7)	27	25	Hauptwind flankierend	12
13	Innere Meldorfer Bucht	13. 3. 06	+45	WSW/NW 10	(4)	15	2000	+55	W 12	(7)	26	25	Hohe Watten und Vorland	13
14	Meldorfer Bucht Süd	16. 1. 54	+40	W 9—10	(3,5)	6	2000	+55	W 12	(7)	21	22	Tiefwasser unweit Sommerkoogsteertloch	14
15	Friedrichskoog Spitze	13. 3. 06	+43	WSW/NW 10	(5)	21	2000	+53	W 12	(7)	34	32	Südlich Sicherungsdamm kleinerer Auf- lauf	15
16	Dieksander Koog	16. 1. 54	+39	W 9—10	(4,5)	11	2000	+55	W 12	(7)	25	25		16
17	Kaiser-Wilhelm-Koog	13. 3. 06	+44	WSW/NW 10	(5,5)	16	2000	+52	WNW 12	(7)	25	26	Tiefwasser unweit (Elbe). Hauptstau- wind etwas flankierend	17
18	Neufeld (Bucht)	16. 1. 54	+38	W 9—10	(4,5)	7	2000	+52	Nr. 17 × 75 %		19	18	Geschützt vor Hauptstauwind	18
19	Sösmenhusen	16. 1. 54	+39	W 9—10	(5)	17	2000	+53	WNW 12	(7,5)	(>35)	25	Geschützt vor Hauptstauwind, jedoch lange Wellenperioden aus der offenen Außenelbe zu befürchten	19

Anmerkungen:

- 1) Archivstudien nicht abgeschlossen, Ergänzungen vorbehalten.
- 2) Mit Hilfe geschätzter größter Wellenperioden und an Hand von Modellversuchen.
- 3) Nach allgemeiner Erwägung (Hauptstauwindrichtung, überhaupt irgendwo höchstbekannter Wellenauflauf) als höchstmöglich geschätzte Abschnittswerte, die bei Einzelbemessung zu berücksichtigen sind.
- 4) Periodenschätzung nach Beobachtungen am 16. 1. 1954. Siehe Abb. 20.

Bezeichnung:

- T = Wellenperiode
A = Wellenauflauf
() = geschätzt

Die weitere Frage ist, ob in ähnlichen Gebieten wie Pellworm West irgendwo einmal ein Wellenauflauf von ähnlicher Größenordnung tatsächlich vorgekommen ist. Nach Abbildung 13 muß am 1. 2. 1953 der Wellenauflauf am Abschlußdamm der Zuiderzee rund 4,30 m betragen haben. Das ist eine Örtlichkeit, die im Relief mit Pellworm West eine entfernte Ähnlichkeit hat. Der Außendeich hat keine Berme in Sturmfluthöhe (nur eine 5 m breite Berme in Mittelwasserhöhe = rd. NN), die Windstärke stieg nicht über 10 Bft. Ferner trat am 19. 1. 1921 am See-deich in Den Helder ein Wellenauflauf von 4,40 m ein (39).

Aus obigen Darlegungen geht zusammengefaßt hervor, daß der für Pellworm West errechnete Wellenauflauf nicht nur den Berechnungsgrundlagen entspricht, sondern auch in den Rahmen der bis heute bekannten Beobachtungen paßt.

c) Richtwerte des maßgebenden Wellenaufbaus

Außer für die nordfriesischen Deichabschnitte werden in derselben Weise die Wellenauflaufbeträge für die südwärts anschließenden Küstenabschnitte ermittelt.

Dem bisherigen Untersuchungsstadium entsprechend, in dem weniger die Werte der verschiedenartigen Einzelorte, sondern repräsentative Werte ausgewählter Deichabschnitte gesucht werden, sind die ermittelten Werte des Wellenaufbaus nicht geradezu als „maßgebender Wellenaufbau“, sondern als „Mittlere Abschnitts-Richtwerte des maßgebenden Wellenaufbaus“ an der schleswig-holsteinischen Westküste zu bezeichnen. In diesem Sinne ist die Tabelle 7 aufgestellt worden, die nunmehr den Ausgangspunkt für Einzelbemessungen bilden kann. Die in Spalte 13 notierten Werte besagen, daß in Verbindung mit den maßgebenden Sturmflutwasserständen in den meisten Deichabschnitten mit Wellenaufbauhöhen über 2 m zu rechnen ist.

Drei Meter und mehr sind westlich Büsum, an den Westseiten von Pellworm und Nordstrand und vor Friedrichskoogspitze möglich. Den höchsten Wellenaufbau überhaupt hat nicht ein Punkt der Festlandsküste, sondern Pellworm West mit rund 4 m zu erwarten.

Wenn der Versuch, Wellenaufbauhöhen voraus zu berechnen, auch keine strenge Lösung bietet, so umreißt er doch die Größenordnungen, die es zu erkennen gilt. Wie sich im einzelnen der Deichbau mit Aufbauhöhen von 3 bis 4 m abfindet, ist eine Frage für sich. Keine Frage ist, daß er sich auf derartige Beanspruchungen einstellen muß, wenn die Lehre aus Hunderten von Deichbrüchen nicht umsonst gewesen sein soll, die in Südholland den zu niedrigen Deichen oder zu schwachen Binnenböschungen zugeschrieben werden müssen.

5. Der Wellenaufbau an den rechtselbischen Deichen

Von den rund 120 Deichkilometern rechts der Niederelbe zwischen Schulau und Brunsbüttelkoog (einschließlich der unteren Nebenflußdeiche) sind einige unmittelbar am Elbstrom gelegene Deichstrecken zwischen Kollmar und Brunsbüttelkoog von zusammen rund 25 km Gesamtlänge dem Seegang in besonderem Maße ausgesetzt.

Die übrigen Deiche, an schmalen Nebenflüssen oder hinter Vorland, Inseln und Weidenkulturen oder in Windlee gelegen, lassen auch bei schweren Sturmfluten einen Wellenaufbau von schätzungsweise nicht mehr als 1,50 m erwarten und werden hier nicht weiter behandelt, da sie sich der rechnerischen Ermittlung weitgehend entziehen.

Es folgt als Beispiel für einen schwer beanspruchten Deich die Ermittlung des bei den maßgebenden Sturmfluthöhen zu erwartenden Wellenaufbaus am Elbdeich bei Arentsee, zwischen St. Margarethen und Brockdorf gelegen. Die Nähe und Tiefe des Stromes begünstigen hier gerade bei den aufstaufördernden westlichen Stürmen, wenn die Streichlänge von Cuxhaven her groß ist, einen Seegang, der berüchtigt ist. Die Außenböschung des Deiches, bestehend aus einem Steinfuß rund 1 : 2, darüber Grasböschung rund 1 : 4, hat im Gegensatz zum konkaven Typ der Nordsee-deiche ein im unteren Teil konvexes Profil. Ein schmaler Vorlandsaum ist wegen seiner tiefen Lage ohne Bedeutung.

Bei der Sturmflut vom 16. 1. 1954 sind hier Wellenhöhen und Wellenaufbau am Deich vermessen worden, woran die für die Vorausberechnung schwersten Wellenaufbaus angewandten Formeln geeicht werden konnten. Der andersartigen Profilverhältnisse wegen (Schardeich neben

Tiefwasser) wird nicht wie an der Wattküste von der Wellenperiode ausgegangen, sondern von niederländischen Wellenauflaufversuchen, wonach die Höhe der den Deich erreichenden Wellen ausschlaggebend ist.

a) Nachrechnung des Wellenaufbaus bei Arentsee am 16. 1. 1954.

Mit Windgeschwindigkeit $U = 18 \text{ m/sec}$, Windrichtung = WzS = 260° , Richtung der Deichnormalen = SSW = 205° , Wellen-(= etwa Wind-)einfallrichtung $\beta = 55^\circ$, Luvfaktor $\cos \beta = 0,57$, Streichlänge $F = \text{etwa } 6000 \text{ m}$, HThw = + 3,80 m NN, mittlere Wassertiefe $t_m = \text{etwa } 15 \text{ m}$ und Deichböschung 1 : m = 1 : 4 ergibt sich nach Abbildung 22 aus U und F :

Wellengeschwindigkeit $C = 4,70 \text{ m/sec}$,

Wellenhöhe $H = 1,12 \text{ m}$,

sodann nach der AIRY'schen Formel [GROEN (9) S. 13]

Wellenlänge $L = C^2 \cdot 2 \pi / g = 14,10 \text{ m}$,

Wellenperiode $T = C \cdot 2 \pi / g = 3,0 \text{ sec}$,

und nach VALKEN (43) auf Grund von Versuchen der Technischen Hochschule Delft:

$A = 8 \cdot H (\cos \beta - B/L) : m$

$= 8 \cdot 1,12 (0,57 - 0) : 4 = 1,28 \text{ m}$

da die Bermbreite $B = 0$ ist.

Bestätigend wurde durch GRÜTTNER (10) beobachtet:

$H_{\max} = 1 \text{ m}$, A (Flurkante) = 1,00 ... 1,40 m.

b) Vorausberechnung des Wellenaufbaus bei Arentsee für den Fall des maßgebenden Sturmflutwasserstandes.

HThw (maßg.) = + 5,50 m NN = Mittel aus Glückstadt und Brunsbüttelkoog (nach Tab. 4, Spalte 13) = 1,70 m höher als am 16. 1. 1954, $t_m = 15 + 1,70 = 16,70 \text{ m}$, F geschätzt = 8000 m, U angenommen = 32 m/sec, sonst wie bei a), woraus:

$C = 6,70 \text{ m/sec}$, $H = 2,00 \text{ m}$, $L = 29 \text{ m}$, $T = 4,3 \text{ sec}$ und $A = 2,30 \text{ m}$,

das ist 1 m höher als am 16. 1. 1954.

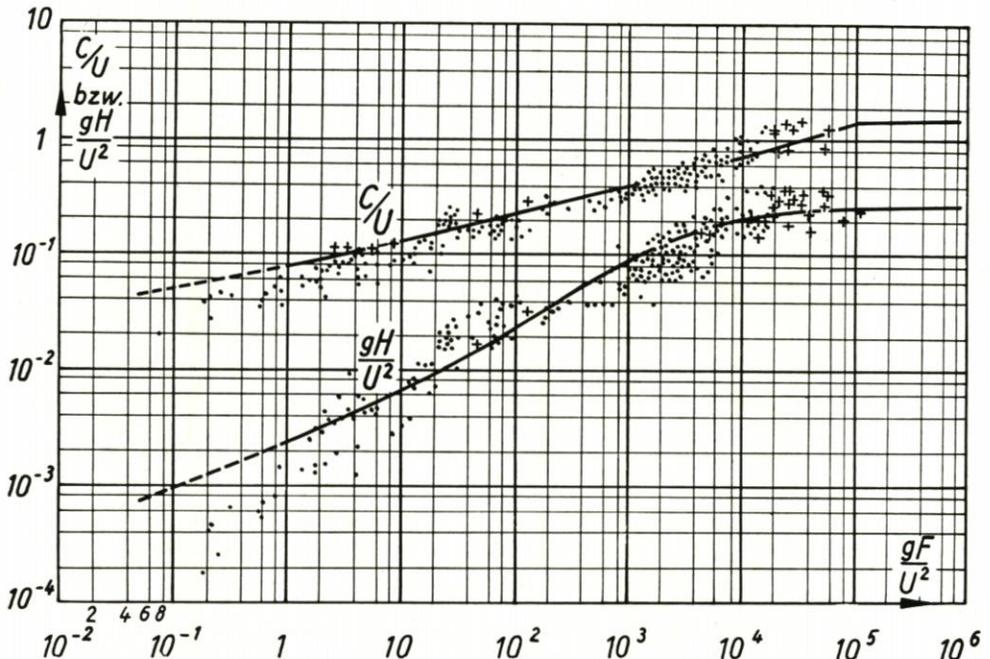


Abb. 22. Einfluß der Windstreichlänge auf den Seegang [nach ROLL 1949 (31)]
Dimensionsloses Diagramm C/U und gH/U^2 als Funktion von gF/U^2

Signatur: - Neuwerker Messungen von ROLL 1949; + von SVERDRUP und MUNK benutzte Werte
 C = Wellengeschwindigkeit in m/sec H = Wellenhöhe in m, $g = 9,8 \text{ m/sec}^2$
 U = Windgeschwindigkeit in m/sec F = Streichlänge in m

Man erhält nach Berechnung weiterer Punkte für die Elbdeichstrecke zwischen Arentsee und Hollerwetteren (nahe der Störmündung) im Streckendurchschnitt einen Auflauf $A = 2,50$ m. Mit Rücksicht darauf, daß nach Beobachtungen von Einwohnern schon die Flutkante der Sturmflut vom 16. 2. 1916 etwa 2,25 m über dem Wasserspiegel (HThw = + 4,50 m NN) gelegen haben muß, wird für diesen Deichabschnitt ein Richtwert des maßgebenden Wellenaufbaus auf der Strecke Scheelenkuhlen (nahe Arentsee) bis Hollerwetteren (Wilstermarscher Elbdeich)

$$A_m \text{ (maßg.)} = 2,6 \text{ m}$$

festzulegen sein.

Dieser Richtwert ist sodann im einzelnen nach oben oder unten ähnlich dem Ergebnis des oben genannten Flutkantennivellements vom 16. 1. 1954 abzuwandeln.

Es zeigt sich dabei unter anderem die bemerkenswerte Tatsache, daß der Wellenaufbau an zwei probeweise mit Bitumen beziehungsweise Beton glattgedeckten Außenböschungen 0,50 m größer war als an den benachbarten Grasböschungen derselben Neigung.

Vergleichsweise liegt die heutige Krone dieser Elbdeichstrecke im Mittel um rund 2,40 m über dem überlieferten damaligen Wasserstand vom 3./4. 2. 1825. Als die Summe einer langen, in der niedrigstgelegenen Marsch Schleswig-Holsteins gewonnenen Erfahrung sind die zu dieser Höhe führenden Grundsätze besonders ernst zu nehmen, zumal sie sich offenbar auch 1825 bewährt hatten. Die Wilster Marsch blieb damals im Gegensatz zur Kremper Marsch trocken [vgl. Abb. 4 in PETERSEN (27)]. Wenn sich somit Erfahrung (2,40 m) und Rechnung (2,60 m) zahlenmäßig annähernd gegenseitig bestätigen, dann wird um so mehr jedes Deichbestück bedenklich sein müssen, dessen Wellenaufbau den ermittelten Richtwert unterschreitet, ohne daß gleichzeitig Maßnahmen für schadlose Überflutung getroffen werden.

Für die weiteren, am schwersten angegriffenen Elbdeichstrecken wird aus gleichen Überlegungen als Richtwert des maßgebenden Wellenaufbaus vorgeschlagen:

Östliches Ufer der äußeren Störmündung (Deicke bei Ivenfleth): $A_m \text{ (maßg.)} = 2,40$ m
 Elbdeich zwischen Kollmar und Bielenberg: $A_m \text{ (maßg.)} = 2,10$ m

IV. Die maßgebende Sturmfluthöhe

Die Summe des maßgebenden Sturmflutwasserstandes und des maßgebenden Wellenaufbaus wird hier als „maßgebende Sturmfluthöhe“ bezeichnet:

$$SF \text{ (maßg.)} = HThw \text{ (maßg.)} + A \text{ (maßg.)}$$

Die maßgebenden Sturmfluthöhen liegen demnach längs des Deiches auf einer Linie, die von den höchsten Wellenspitzen erreicht, aber nicht überschritten wird. Dies entspricht der Ableitung der Wellenaufbauwerte aus der Höhenlage von Flutkanten, die von den höchsten Wellenspitzen gebildet werden. Auf solche Höhen ausgebaut, würde die Deichkrone theoretisch trocken bleiben, und man könnte insofern von der Trocken-Sollhöhe reden. In Abbildung 23 sind diese Sollhöhen eingetragen worden. Die Darstellung enthält unter Vernachlässigung von Mulden die Isthöhen der Deiche nach dem Stand von etwa 1938 und entspricht in vereinfachter Form der von SCHELLING (35) gebrachten Abbildung 70.

Die von der Isthöhe bis zur Trocken-Sollhöhe vorhandenen Fehlhöhen betragen im Streckendurchschnitt etwa:

Nordfriesland (Hindenburgdamm . . . Husum)	1,20 m
Eiderstedt Nord	1,20 m
Eiderstedt Süd (bis Tönning)	0,90 m
Norderdithmarschen (Karolinenkoog bis Meldorf)	1,20 m
Süderdithmarschen (bis Brunsbüttel)	1,00 m
Pellworm	1,90 m
Nordstrand	1,50 m.

In der Praxis werden bautechnische und andere Gesichtspunkte es häufig bedingen, die Ansprüche an die Deichhöhe herabzusetzen, so daß dann die sich aus dem endgültigen Bestick ergebenden Fehlhöhen kleiner als die genannten Werte ausfallen werden [vgl. PETERSEN (27)].

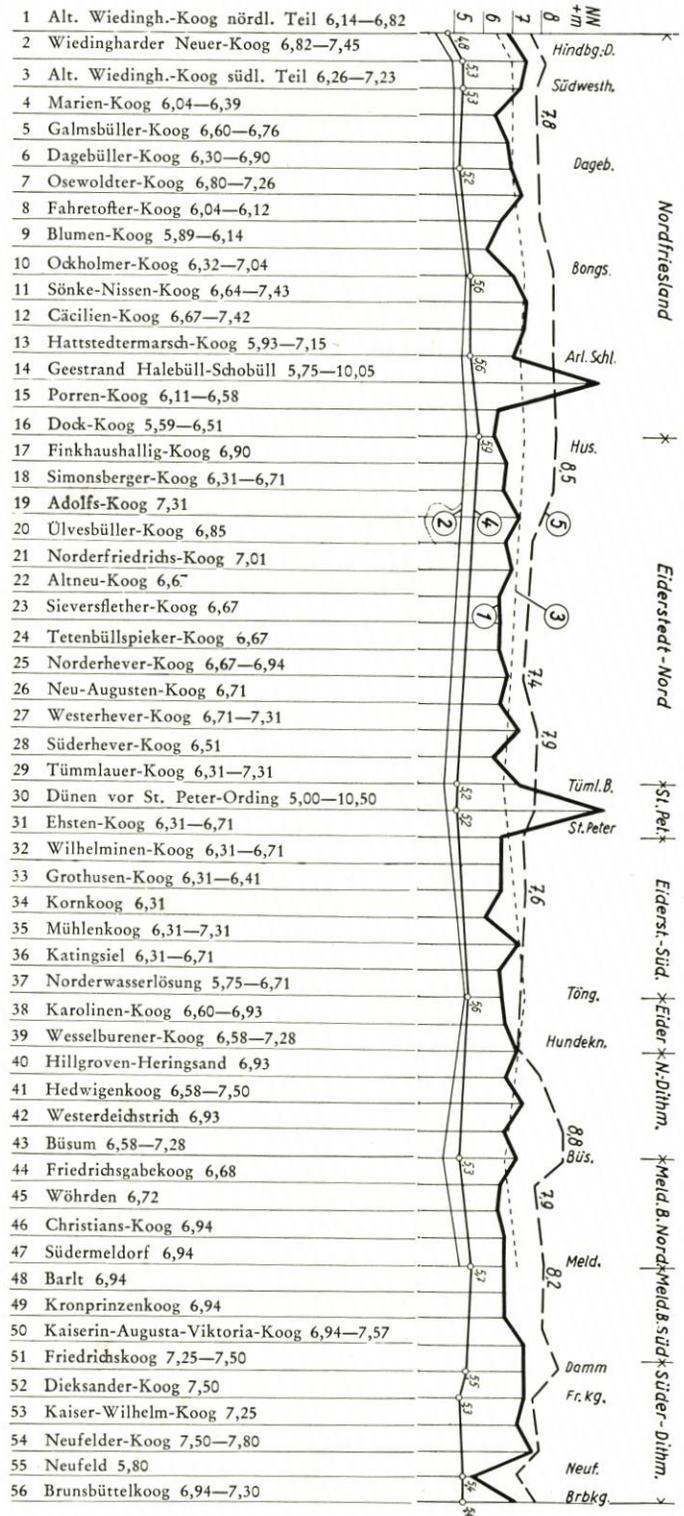


Abb. 23. Höhen der Seedeiche an der Westküste Schleswig-Holsteins und auf den Inseln

1 = Ishöhe um 1938.
2 = Höchstmöglicher Sturmflurwasserstrand nach SCHELLING 1952 (35).
3 = Erforderliche Deichhöhe nach SCHELLING 1952 (35).
4 = Richtwert des maßgebenden Sturmflurwasserstrandes 1954.
5 = Richtwert der Deichsollhöhe 1954.

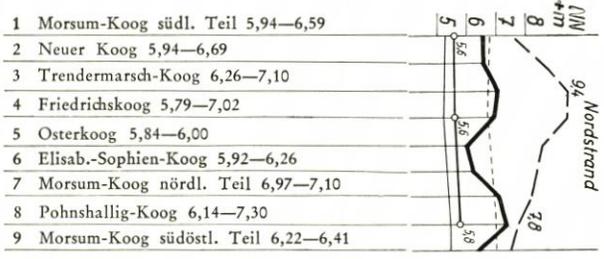
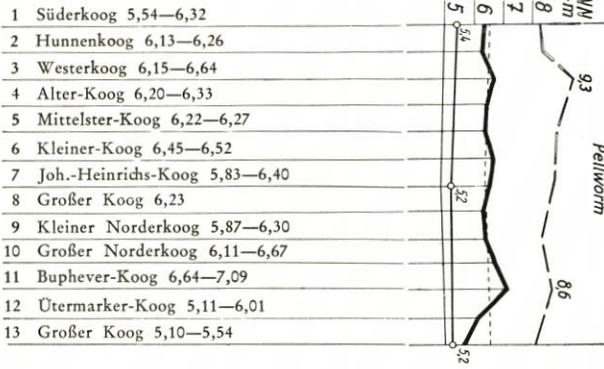
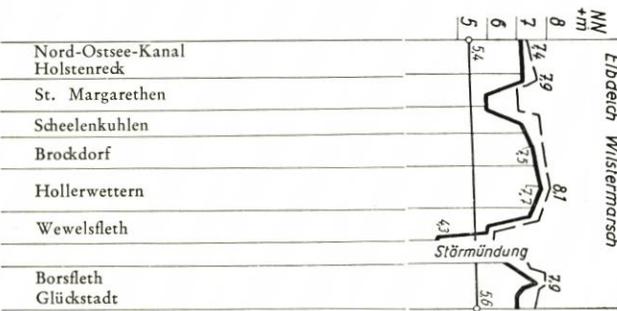
Bemerkung: Profildarstellung für Wilstermarsch im maßstäblichen Längenverhältnis. Die übrigen Profile im nichtmaßstäblichen Längenverhältnis. Höhen auf NN bezogen.

V. Vergleiche

Die als maßgebend festgesetzten Sturmfluthöhen übersteigen teilweise die herkömmliche Vorstellung so sehr, daß noch auf einige einleuchtende Zusammenhänge hingewiesen werden soll.

Was den Wellenauflauf betrifft, mag die auf Seite 126 ff. gegebene Kritik genügen, die darauf hinausläuft, daß die rechnermäßig zu erwartenden Größtwerte nicht außerhalb der bisherigen Erfahrung liegen.

Für die Werte der maßgebenden Sturmflutwasserstände der schleswig-holsteinischen Westküste fehlt noch solche Erfahrung. In der Tat erscheint es zunächst recht sprunghaft, wenn zum Beispiel für Husum um etwa 1936 ein Wasserstand von 3,50 m über Mittelhochwasser als katastrophal galt, nach dem Orkan am 9. Februar 1949 ein solcher von rund 4 m und heute nach der holländischen Sturmflutkatastrophe eine Höhe von fast 4,50 m über Mittelhochwasser noch nicht einmal als „höchstmöglich“ bezeichnet wird. Vergleiche dazu die Abbildung 24, in der unter anderem die amtlich veröffentlichten äußersten Wasserstände HHThw (22), sodann die SCHELLINGSchen „höchstmöglichen“



und schließlich die in dieser Arbeit ermittelten „maßgebenden“ Sturmflutwasserstände dargestellt sind.

Wir übergehen die amtlichen Werte, da sie als Aufzeichnungen zufällig bekanntgewordener Ereignisse nur in Einzelfällen Bedeutung haben.

Erhöht man SCHELLINGS am Pegel Husum für den Gewässerzustand 1950 berechneten Wert um den voraussichtlichen Betrag von 20 cm für den Säkularanstieg bis zum Jahre 2000, so nähert dieser sich dem maßgebenden Sturmflutwasserstand bis auf 20 cm (vgl. Tab. 2 u. Abb. 9), so daß der genannte Sprung von 4 auf fast 4,50 m über MThw zur Hälfte eine Verschärfung von Sicherheitsanforderungen für die Zukunft bedeutet. Zugleich erhalten SCHELLINGS Untersuchungsergebnisse auf anderem Wege annähernd ihre zahlenmäßige Bestätigung; dem Sinne nach muß allerdings die in den Begriffen „höchstmöglich“ und „maßgebend“ ausgedrückte Verschiedenheit der Auffassungen beachtet bleiben.

Die Sturmflutwasserstände vom 3. und 4. Februar 1825 sind auf Seite 114 ff. rekonstruiert und auf heutigen Zustand beschildert worden (Tab. 3b und 4). Gewiß ist der oft unternommene Versuch, die noch lebendige Erfahrung dieser letzten Katastrophenflut in heute gültige Zahlen zu fassen, auch hier nicht ohne Bedenken. Sie lassen sich aber eingrenzen. Einer der unsichersten

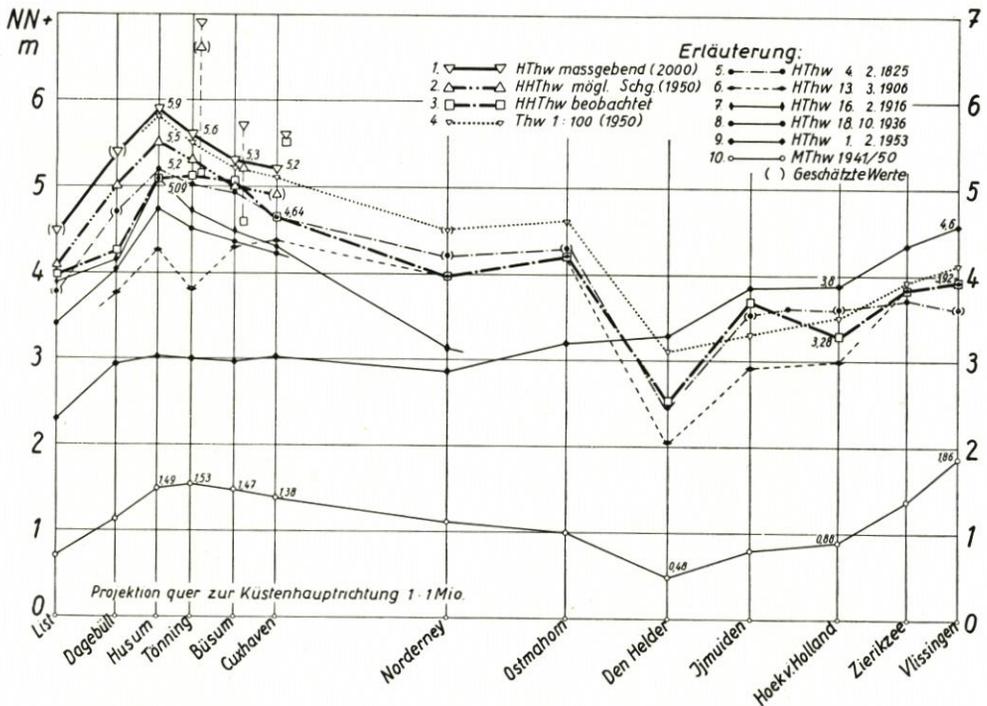


Abb. 24. Kritische Sturmflutwasserstände entlang der Nordseeküste von Schleswig-Holstein bis Holland

1. Für das Deichbestick maßgebender Sturmflutwasserstand, mit Rücksicht auf Säkularanstieg beschickt auf den voraussichtlichen Gewässerzustand des Jahres 2000. Nach Tab. 4, Sp. 13.
2. „Höchst möglicher“ Sturmflutwasserstand für den Zustand 1950. Nach SCHELLING 1952 (35).
3. Nach amtlichen Jahrbüchern bis 1950. Husum siehe Nr. 7.
4. Tidehochwasserstand, der bei dem Gewässerzustand 1950 im Durchschnitt 0,01mal im Jahr erreicht oder überschritten wird. Nach Tab. 4, Sp. 10. Auf den voraussichtlichen Zustand des Jahres 2000 beschickt, läge er an der Westküste 12 bis 20 cm höher.
5. Nach Sturmflutmarken und Archivangaben rekonstruierter zeitgenössischer Pegelstand.
- 6.—9. Nach Pegelregistrierungen. Amtliches HThw 16. 2. 16 in Husum = + 5,09 NN wegen Schreibpegelstörung unzuverlässig und tatsächlich 1 bis 2 Dezimeter niedriger zu vermuten.
10. MThw in Holland aus 1931/40.

Werte ist zum Beispiel der Betrag des säkularen MThw-Anstiegs zwischen 1825 und etwa 1850, dem Beginn von Pegelbeobachtungen¹⁰⁾ an der deutschen Nordseeküste (an der deutschen Ostseeküste seit 1811). Nimmt man zum Beispiel das MThw 1825 in Husum nicht auf + 108 cm NN (Abb. 8), sondern um das unwahrscheinlich große Fehlermaß von 20 cm höher an, so berechnete sich der MThw-Anstieg von 1825 bis 1950 nicht zu 39 cm (Abb. 9, Beschickungswert des MThw von 1825 auf 1950), sondern nur zu 19 cm, und der auf 1950 beschickte Wasserstand dieser Sturmflut läge um 20 cm niedriger als vordem errechnet. Er würde trotzdem noch etwas über dem SCHELLINGschen Wert liegen, nämlich auf 5,60 m über NN, das ist 4,10 m über Mittelhochwasser und, auf das Jahr 2000 bezogen, würden sie die „maßgebenden“ Sturmflutwasserstände streifen. Mit anderen Worten: Den entlang der Westküste und an der Elbe überlieferten Wasserstandsmarken von 1825 mögen an und für sich die heutigen Deichhöhen hoch genug gegenüberstehen. Dies darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß dieselbe Sturmflut, jedoch unter heutigen Verhältnissen, weit über diese Marken bis zu Wasserständen hin-

¹⁰⁾ Vgl. Fußnote S. 113.

aussteigen würde, die die als maßgebend errechneten Werte streifen oder womöglich übertreffen. Die Flut von 1825 bietet die recht genauen Muster von Wasserständen, die nach jetziger Anschauung für die Seedeichhöhen maßgebend sein sollen.

Die Rekonstruktion und Beschilderung der Sturmflut von 1825 beruht, ebenso wie andere in dieser Arbeit vorgenommene Umrechnungen von Wasserständen, auf der einfachen Superposition mehrerer Bestimmungsglieder. Dies gilt ebenfalls für das kombinierte Bezugsverfahren, das nach den auf Seite 122 erwähnten Grundsätzen eine der Grundlagen zur Feststellung der maßgebenden Sturmflutwasserstände bilden soll; es ist außerdem für die SCHELLINGSchen Werte der Kernbeweis. Angesichts der sich daraus ergebenden außerordentlichen Höhe der Wasserstände muß auf den Einwand eingegangen werden, daß derartige Superpositionen zu große Werte ergeben müßten, weil der Windstau und die Gestirnstide nicht unabhängig voneinander verlaufen.

Betrachten wir nach SCHELLINGS Vorbild die Umrechnung der Sturmflut vom 16. 2. 1916 in Husum auf den Fall höchsten Springtidehochwassers (Tab. 4, Spalte 2—6): Der damalige Windstau betrug (a) bei einem Wasserstand + 509 cm NN und dem astronomischen Tidehochwasserstand + 150 cm NN, $s = 359$ cm und ergäbe (b), dem vorausberechneten HHSpThw = 197 cm NN überlagert, zahlenmäßig den Wasserstand + 556 cm NN (b). Von der damals zwischen Husum und Helgoland beobachteten Staudifferenz $\Delta s = 359 - 190 =$ rund 170 cm möge auf die Teilstrecke des flachen Wattenmeeres zwischen Süderoogsand und Husum hochgeschätzt $\Delta s_a = 170 \cdot \frac{2}{3} =$ rund 120 cm entfallen sein bei einer mittleren wirksamen Wassertiefe $T_a =$ etwa 6 m [Seichtwassereffekt, vgl. WEMELSFELDER (46); TOMCZAK (42)]. Im Falle (b) würde dann die Tiefe nicht größer werden als $T_b = 6,5$ m, und da der Windstau effekt sich im allgemeinen umgekehrt proportional zur wirksamen Wassertiefe verhält, würde sich die Staudifferenz auf $\Delta s_b = 120 \cdot \frac{6}{6,5} = 110$ cm reduzieren [STAATSCOMMISSIE 1918—26 (39), SCHALKWIJK (33)]. Die gleichzeitige Abnahme des Stau effekts in der offenen See bis Helgoland und darüber hinaus spielt wegen der großen Wassertiefen keine wesentliche Rolle. Der Überschlag lehrt also, daß bei hohem Sturmfluthochwasser und unter gleichen Windverhältnissen der Windstau an der Küste nur um etwa 1 bis 2 Dezimeter abnimmt, wenn die Wassertiefe im Wattenmeer um rund 10 % zunimmt. Die Dauersturmflut vom 5. bis 8. 12. 1895 bietet mit ihren regelmäßigen, der Wassertiefe folgenden Stauschwankungen eine greifbare Anschauung der beschriebenen Erscheinungen, und ihre Auswertung führt zu ähnlichen Ergebnissen [NEHLS 1895 nach SCHELLING (35)].

Der berechnete Sturmflutwasserstand vom 16. 2. 1916 HThw = + 556 cm NN wäre also auf rund + 540 cm NN zu reduzieren¹¹⁾. Anders als diese Sturmflut, die schnell aufkam und deren Hauptstaufeld nahe vor der schleswig-holsteinischen Westküste lag, zeigen hohe Sturmfluten bei ausgedehnteren Sturmfeldern wesentlich kleinere Staudifferenzen zwischen Husum und Helgoland, zum Beispiel 105 cm am 18. 10. 1936 oder rund 70 cm am 10. und 12. 10. 1926 bei einem Stau in Husum über Tidehochwasserhöhe von 325 bzw. 275 cm. Hier hat sich das Staufeld offensichtlich weit seewärts erstreckt. Der örtliche Stau im Wattenmeer war verhältnismäßig gering; deswegen wäre der mit einer Anhebung des Gezeitenwasserspiegels auf das höchstmögliche Springtidehochwasser HHSpThw verbundene Abfall des Küstenstaus noch geringer als für den 16. 2. 1916 anzunehmen, schätzungsweise zu etwa 10 cm und damit fast bedeutungslos.

Diese Folgerung gilt insbesondere auch für die Sturmflut von 1825, deren Hauptsturmfeld und Hauptstaufeld sich in großer Ausdehnung bis weit vor die deutsch-niederländischen Küsten erstreckt haben muß. Anzeichen dafür sind, daß der Sturm tagelang geweht hat, daß der Küstenwind nicht als äußerst kräftig empfunden worden ist [Deichinspektor CHRISTENSEN 1825,

¹¹⁾ Von einer Berichtigung der wahrscheinlich zu hohen Husumer Pegelablesung HThw (16. 2. 1916) = + 509 cm NN wird hier abgesehen, da sie für die Ermittlung der maßgebenden Sturmflutwasserstände nicht entscheidend ist.

nach SCHELLING (35)], und daß die Wasserstände auch an der niederländischen Küste katastrophal waren (Abb. 24).

Insgesamt wird der Einwand gegen die beliebige einfache (additive) Superposition getrennt gefundener Höchstwerte des Staus und der Gestirnstide bei küstennahen Sturmfeldern als bedeutungsvoll, dagegen bei seewärts ausgedehnten Sturmfeldern als nicht wesentlich beurteilt. Auch die teilweise mittels solcher Superpositionen abgeleiteten Werte der „maßgebenden Sturmflutwasserstände“ (Tab. 4; Abb. 24) werden insofern nur unwesentlich von dem Einwand berührt.

Das Problem der Superposition hat die Londoner Sturmflutkonferenz 1953 eingehend beschäftigt (18):

1. Nach englischen und niederländischen Beobachtungen sei das Maximum des Windstaus einer Sturmflut niemals mit der astronomischen Hochwasserzeit zusammengefallen [THYSSE, ROSSITER (18)].
2. Auch sei bisher niemals ein wirklich großer Windstau mit hoher Springtide [THYSSE, FARQUHARSON (18)] zusammengetroffen.
3. Der Grund für diese Art Gegenwirkung sei, daß die zur Anfuhr des Stauwassers erforderlichen Meeresströmungen auf Reibungswiderstände stießen, die in einem höheren Verhältnis zunähmen als die kombinierten Wasserstände selbst [THYSSE (18), auch STAATSCOMMISSIE 1918—26 (39)].

Zu Punkt 1. ist auf folgendes hinzuweisen. Wenn, wie es scheint, nicht berücksichtigt wurde, daß in angestaumtem Wasser die vorausberechnete Gestirnstide deformiert wird und voreilt, werden fehlerhafte Stauwerte abgelesen (eingetretener minus vorausberechneter Wasserstand), und das Maximum des Staus kann schon deshalb nicht mehr auf die kalendermäßige Tidehochwasserzeit fallen [unter anderem TOMCZAK 1953 (42), WEMELSFELDER 1953 (46), HUNDT 1942 (15)]. Entsprechend berichtigt, würden zum Beispiel in den von SCHELLING (35) gebrachten Sturmflutkurven des 18. 10. 1936 und des 24. 11. 1938 in Husum die beiden Maxima etwa zusammenfallen. Ferner liegt es auf der Hand, daß wegen der kleineren Wassertiefen die Stau-maxima in der Nähe der astronomischen Niedrigwasserzeiten bevorzugt auftreten müssen und nicht zu den Hochwasserzeiten. Zu Punkt 2. ist darauf zu verweisen, daß hohe Springtiden und großer Windstau an sich schon seltene Erscheinungen sind. Ihr kombiniertes Auftreten ist auch ohne physikalische Gegenwirkungen so selten zu erwarten, daß es bisher in dem kurzen Zeitraum von hundert bis hundertfünfzig Jahren noch nicht beobachtet worden zu sein braucht. Den Punkt 3. hatte LORENZ in (39) für die Verhältnisse der Wattensee vor dem Zuiderzee-Abschlußdamm hervorgehoben. Er ist indessen bei den für Schleswig-Holstein gefährlichen Sturmfluten des Skagerraktyps [vgl. SCHELLING (35)], die meist allmählich einsetzen, weniger von Belang. Es ist sogar fraglich, ob nicht hierbei die in das Wattenmeer hineinsetzenden Strömungen schwächer als normal sind und somit den angeführten Effekt umkehren können.

Insgesamt darf in diesen Fragen der von FARQUHARSON (18) ausgedrückten Meinung zugestimmt werden, „daß gegenwärtig keine Gründe bekannt sind, derentwegen noch ungünstigere Kombinationen von Windstau und Gezeit, als bisher beobachtet, in Zukunft etwa nicht auftreten sollten“.

Wenn die hoch erscheinenden Werte der für die schleswig-holsteinischen Deiche maßgebenden Sturmflutwasserstände zur Zeit noch mit nicht ganz einwandfreien Rechnungen begründet werden müssen, so können ihrerseits die Niederländer seit dem 1. Februar 1953 eindeutige Erfahrungstatsachen für sich sprechen lassen, unter anderem auch WEMELSFELDER (46) und Abbildung 24:

4. Entlang der Seeküste der nördlichen und südlichen Niederlande betrug der über heutigem MThw gemessene Stau durchschnittlich fast 3 m und damit rund 0,50 m mehr als je bekannt.
5. Bei Fortfall mehrerer glücklicher Umstände (niedriges SpThw, nur mäßiger Sturm an der Küste, schwaches Oberwasser), deren zahlenmäßige Einflußsumme mehr als 1 m beträgt, hätte der Stau entsprechend höher gewesen sein können. Die Flut zeichnete sich also nicht durch ein extrem ungünstiges Zusammenwirken der beteiligten Faktoren, sondern allein

durch die außerordentlich wirksame Dauer, Lage, Ausdehnung und Energie des Windfeldes aus.

6. Der Sturmflutverlauf bot der derzeitigen Wissenschaft kein Rätsel, sondern wäre bei bekannter Witterung durchaus vorausberechenbar gewesen.
7. Die zentrale Planung hatte Wasserstandshöhen wie am 1. 2. 1953 bereits seit 1939 als möglich und für den Deichbau maßgebend festgesetzt, teils auf Grund statistischer Überlegungen, ohne indessen überall Anerkennung zu finden. Die Begleitumstände der Sturmflut (s. Ziff. 5) zwingen heute zu noch höheren Planwasserständen, woraufhin die DELTACOMMISSIE 1953 eine durchschnittliche „Erhöhung der Deiche um mindestens $1\frac{1}{2}$ —2 m erwogen hat“ (3).

Welche Lehren sind für die schleswig-holsteinische Westküste zu ziehen?

Sturmfluten erreichen zwar durchschnittlich in den Niederlanden wesentlich niedrigere Höhen als an unserer Westküste (Abb. 24), und die niederländischen Seedeiche sind durchweg niedriger als unsere; es wäre jedoch ein gefährlicher Trugschluß, hierin für die Westküste eine größere Sicherheit zu sehen! Warum, wird verständlich, wenn man die ihrer Eintrittshäufigkeit nach aufgetragenen Stauhöhen über MThw vergleicht (Abb. 25). Diese Darstellung entsteht aus den Häufigkeitskurven der Abbildung 3, indem man die Tidehochwasserstände nicht auf Normalnull, sondern auf das MThw jeden Pegels bezieht. Die Abbildung 25 zeigt:

8. Die amtlichen HHThw-Werte, die bis etwa 1940 die maßgebenden Planzahlen der Deichentwürfe darstellten, entsprachen in beiden Ländern einer durchschnittlichen Überschreitungshäufigkeit von rund einmal in fünfzig Jahren (1 : 50).
9. Die Sturmflut vom 1. 2. 1953 hat unmittelbar bewiesen, daß in den Niederlanden Wasserstände von mehr als 3 m über MThw möglich sind, deren Eintrittshäufigkeit kleiner als 1 : 500 ist. Die neuen Wasserstände für die Bestickentwürfe entsprechen bereits Häufigkeitszahlen von weniger als 1 : 1000 (einmal in 1000 Jahren) und liegen höher als rund 3,50 m über MThw. Aus der obigen Ziffer 5 geht hervor, wie berechtigt diese — inzwischen durch Abdämmungsprojekte — teils wieder überholten Absichten waren.
10. Demgegenüber entsprechen die für die Westküste vorgeschlagenen neuen Richtwerte des maßgebenden Wasserstandes (Tab. 4) der heutigen Eintrittshäufigkeit von 1 : 200 (einmal in 200 Jahren), die bei anhaltendem säkularem Anstieg bis zum Jahr 2000 sogar noch auf den Wert 1 : 100 (einmal in 100 Jahren) zunehmen wird.
11. Die verschiedene Neigung der Kurven besagt, daß die einer gleichen Häufigkeitsabnahme zugeordnete Windstauvergrößerung an der Westküste Schleswig-Holsteins fast doppelt so groß ist wie in den Niederlanden; unsere Westküste ist windempfindlicher. Gründe dafür sind unter anderem die zum vorherrschenden westlichen Sturmsektor offene Küstenlage sowie die Lage hinter dem breiten windstaubegünstigenden Seichtwassersaum des Wattenmeeres.
12. Wenn man — grob gesagt — unter dem Sicherheitsmaß eines maßgebenden Sturmflutwasserstandes die Anzahl Jahre versteht, während derer er im langzeitigen Durchschnitt voraussichtlich einmal erreicht oder überschritten wird, dann bedeuten (mit Rücksicht auf Absatz 8 bis 10) die niederländischen Planungen eine zwanzigfache Sicherheitserhöhung gegenüber früher, wogegen die schleswig-holsteinische Planung nur eine zweifache Sicherheitserhöhung darstellen würde.

Z u s a m m e n g e f a ß t ergeben die Betrachtungen des vorstehenden Abschnitts folgendes:

Die nach herkömmlichen Begriffen überaus hoch erscheinenden Richtwerte des maßgebenden Sturmflutwasserstandes an der schleswig-holsteinischen Westküste sind bisher zwar noch nicht eingetreten. Als Ersatz solcher fehlenden Erfahrungen darf indessen die Sturmflut vom 3. bis 4. 2. 1825 angesehen werden, die bei dem heutigen Stand der sikularen Wasserspiegelhebung und unter den heutigen Gewässerverhältnissen auf ähnliche Höhen wie die Richtwerte auflaufen würde.

Die tatsächlichen Erfahrungen aus der Katastrophenflut in Holland am 1. 2. 1953 bestätigen

die anderweitig begründete Feststellung, daß die schleswig-holsteinischen Richtwerte noch nicht die Grenze des physikalisch Möglichen darstellen.

Das durch die Richtwerte gebotene „Sicherheitsmaß“ würde zwar größer als bei den früheren Planzahlen für das Deichbestick sein, aber — bedingt durch die größere Anfälligkeit der Westküste gegen Windstau — immer noch zehnmal so gering wie nach den holländischen Planungen. Es ist mit anderen Worten die Wahrscheinlichkeit, daß die schleswig-holsteinischen Richtwerte überschritten werden, wesentlich größer als für die holländischen Richtwerte, die sich auf die Theorie und unmittelbar auf die Erfahrung von 1953 stützen können.

Zu ergänzen ist, daß die Wahrscheinlichkeit katastrophaler Sturmflutschäden, abgesehen von Gebieten wie der Wilstermarsch und der Insel Pellworm, bei uns im ganzen gesehen etwas kleiner ist als für die niedriger gelegenen Polder Hollands.

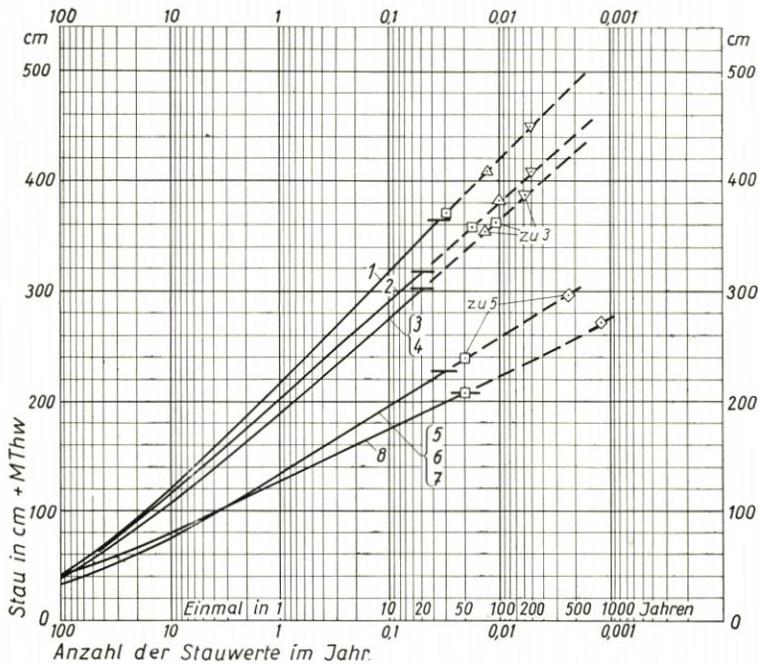


Abb. 25. Mittlere jährliche Überschreitungshäufigkeit des Staus über MThw
Vergleich Schleswig-Holstein und Holland

1. Husum	MThw 1901/50 = + 142 cm NN
2. Tönning	MThw 1936/50 = + 153 cm NN nach der Abdämmung
3. Büsum	MThw 1901/50 = + 144 cm NN
4. Cuxhaven	MThw 1901/50 = + 133 cm NN Kurve ähnlich Nr. 3
5. Hoek van Holland	MThw 1921/36 = + 88 cm NN (nach Wemelsfelder 1939)
6. Ijmuiden	MThw 1921/36 = + 78 cm NN Kurve ähnlich Nr. 5
7. Den Helder	MThw 1921/36 = + 48 cm NN Kurve ähnlich Nr. 5
8. Vlissingen	MThw 1921/36 = + 184 cm NN

- ◇ = Stau-Unterschied der HThw 1. 2. 53 über dem MThw 1921/36
 □ = Stau der amtlichen HHThw " " " 1901/50
 △ = Stau der „höchstmöglichen“ HHThw (SCHELLING 1952) " " " 1901/50
 ▽ = Stau der „maßgebenden“ HThw Zustand 2000. (s. Tab. 4, Sp. 13) " " " 1901/50

VI. Zusammenfassung

1. Die bisherigen Verfahren zur Bestimmung höchster Sturmflutwasserstände werden bewertet und das statistische Häufigkeitsverfahren als zufallsfreies Auskunftsmittel über deren Auftreten eingeführt. Die Auffindung einer oberen Grenze der Wasserstände scheidet sowohl nach physikalisch-analytischen als auch nach dem statistischen Verfahren. Selbst für die niederländische Katastrophenflut vom 1. Februar 1953 erweisen die Begleitumstände, daß die äußerste Möglichkeit der Sturmfluten damit noch nicht erreicht wurde.
2. Der — Sicherheit vortäuschende — Begriff „höchstmöglicher Sturmflutwasserstand“ wird daher durch den Begriff „maßgebender Sturmflutwasserstand“ abgelöst. Dieser wird für die schleswig-holsteinische Westküste als derjenige Wasserstand definiert,
 - a) der im Durchschnitt nicht häufiger als einmal im Jahrhundert zu erwarten ist,
 - b) der außerdem die auf die Gegenwart umgerechneten Sturmflutwasserstände vom 3./4. Februar 1825 nicht unterschreitet,
 - c) der außerdem nicht niedriger ist als die Summe des größten beobachteten Windstaus (über Tidehochwasserstand) und des möglichen höchsten Springtidehochwassers, und
 - d) der mit Rücksicht auf den voraussichtlichen säkularen und raumbedingten Wasserstandsanstieg den unter a) bis c) genannten Bedingungen auch bei zukünftigen Gewässerhältnissen bis zum Jahre 2000 entspricht.
3. Der Anstieg des Mitteltidehochwassers wird unter Berücksichtigung räumlicher Veränderungen im Wattenmeer geprüft. Er dauert wahrscheinlich mehr oder weniger seit mindestens dreihundert Jahren an. Zum Beispiel würde die Sturmflut von 1825 an der Westküste heute 0,25 bis 0,50 m höher auflaufen als damals. Der beobachtete MThw-Anstieg an den Pegeln der schleswig-holsteinischen Westküste betrug in den letzten achtzig Jahren durchschnittlich 2,7 mm im Jahr. Ein ähnlicher Betrag wird für die Zukunft (bis zum Jahr 2000) angenommen.
4. Die zehn höchsten seit 1634 eingetretenen Sturmfluten würden unter heutigen Verhältnissen höher als damals aufgelaufen sein, zum Beispiel in Husum im Mittel auf rund + 5,50 m NN = rund + 4 m MThw.
5. Die Sturmflut vom 3./4. Februar 1825 würde heute an der Westküste im Mittel bis 4 m und maximal (Husum) bis 4,30 m über MThw aufgelaufen sein. Man kann ihre auf die Gegenwart umgerechneten Wasserstände als Muster der maßgebenden Sturmflutwasserstände ansehen.
6. Die Richtwerte des im Sinne der Ziffer 2 maßgebenden Sturmflutwasserstandes betragen in

Husum:	HThw (maßg.) =	+ 5,90 m NN =	+ 4,40 m MThw	1941/50
Tönning:	„ „	= + 5,60 m NN =	+ 4,10 m „ „	
Büsum:	„ „	= + 5,30 m NN =	+ 3,80 m „ „	
Glückstadt:	„ „	= + 5,60 m NN =	+ 4,20 m „ „	
Westküste i. M.:	„ „	= + 5,60 m NN =	+ 4,10 m „ „	

Das Maximum überhaupt wird erwartet in
 Nordfeld/Eider: + 6,90 m NN = + 5,10 m MThw 1941/50
7. Der Wellenauflauf an den Deichen wird unter Berücksichtigung der Wellenlehre, von Modellversuchen und einiger Naturbeobachtungen untersucht.
8. Der den Wellenauflauf an Deichen der Westküste hervorrufende Seegang wird als selbständige Erscheinung des Wattenmeeres ohne wesentlichen Zusammenhang mit der offenen See angesehen.
9. Den Wellenauflauf an Deichen der Westküste bestimmen in erster Linie die Wellenperiode und die Wassertiefe unmittelbar vor dem Deich, weniger die Wellenhöhe.
10. Verschiedene Sturmwindrichtungen sind an der Westküste innerhalb eines Sektors von $\pm 45^\circ$ zur Deichsenkrechten auf die Größe des Wellenaufbaus ohne unterschiedlichen Einfluß.

Ablandige Stürme können unter besonderen Umständen einen Wellenauflauf von 50 bis 75 % des bei auflandigen Stürmen zu erwartenden Wertes erzeugen.

11. Der höchste an der Westküste bisher einwandfrei festgestellte Wellenauflauf betrug an mehreren Strecken auf Südwest-Pellworm am 18. Oktober 1936 mehr als 3 m.
12. Die mittleren Gebietsrichtwerte des maßgebenden Wellenaufbaus, das ist der bei den maßgebenden Sturmflutwasserständen und bei der zugehörigen Windrichtung zu erwartende höchste Wellenaufbau, betragen an der Westküste zum Beispiel

auf West-Pellworm:	A_m (maßg.) = 4,00 m,
westlich Büsum/Dithmarschen:	„ „ = 3,50 m,
bei Friedrichskoogspitze/Dithmarschen:	„ „ = 3,20 m,
an der übrigen Festlandsküste:	„ „ = 1,80 bis 2,50 m.

Das ist bis zu 2 m mehr als nach der herkömmlichen Regel, nach der der höchste Wellenaufbau mit 2 m angenommen wird.

13. An den Elbdeichen der Kremper- und Wilstermarsch wurden die mittleren Gebietsrichtwerte des maßgebenden Wellenaufbaus ermittelt, zum Beispiel für

Deichstrecke Scheelenkuhlen bis Hollerwettern (Wilstermarsch)	A_m (maßg.) = 2,60 m,
Deichstrecke zwischen Kollmar und Bielenberg (Krempermarsch)	„ „ = 2,10 m,
Deichstrecke bei Ivenfleth am östlichen Störmündungsufer (Krempermarsch)	„ „ = 2,40 m.

An den übrigen Deichen rechts der Niederelbe zwischen Schulau und Brunsbüttelkoog einschließlich der Nebenflüsse wird kein höherer Wellenaufbau als 1,50 m erwartet.

14. Die „maßgebende Sturmfluthöhe“ als die Summe des maßgebenden Sturmflutwasserstandes und des Wellenaufbaus ergibt die (Trocken-)Sollhöhe des Deichs, falls absolute Überflutungsfreiheit gefordert wird. Die den Unterschied zwischen Trocken-Sollhöhe und Deich-Isthöhe darstellenden Fehlhöhen ergeben sich für die Festlandsdeiche der Westküste im Gesamtdurchschnitt zu rund 1,20 m, für Pellworm zu rund 2 m. Dies gilt in bezug auf die Deichverhältnisse um 1938, kurz vor Beginn des zweiten Weltkrieges.

Die auszubauende Deichhöhe kann aus praktischen Erwägungen, welche die Standsicherheit des Deiches, den Untergrund, die Geländehöhe über dem Meeresspiegel, die Siedlungsdichte und anderes berücksichtigen, meist niedriger sein.

Die Zugabe des herkömmlichen „Sicherheitszuschlages“ entfällt.

15. Bis etwa 1936 galt in Husum ein Wasserstand von rund + 3,50 m MThw als katastrophal, nach dem Orkan vom 9./10. Februar 1949 ein solcher von rund + 4 m MThw, und heute, nach der niederländischen Katastrophenflut vom 1. Februar 1953, wird eine Höhe von + 4,50 m MThw noch nicht einmal als höchstmöglich angesehen. Diese Steigerung beruht zum Teil auf der Forderung, angesichts des säkularen Wasseranstiegs einen angemessenen Hochwasserschutz auch in absehbarer Zukunft (bis zum Jahre 2000) sicherzustellen.
16. Die jetzt festgesetzten maßgebenden Sturmflutwasserstände bieten eine zweimal so große „Sicherheit“ gegen Überflutung als die amtlichen „überhaupt bekannten äußersten Wasserstände“ (HHThw), die vor 1936 als Grundlage des Besticks dienten; unter dem Sicherheitsmaß wird die Seltenheit verstanden, mit der durchschnittlich diese Wasserstände zu erwarten sind.
17. Verglichen mit den nach dem 1. 2. 1953 revidierten niederländischen Planungen bieten die für die schleswig-holsteinische Westküste maßgebenden Sturmflutwasserstände eine allerdings nur zehnmal so kleine Sicherheit.
18. Die dieser Arbeit vorangestellte, für die zukünftige Hochwasserschutzplanung bedeutsame Frage: „Widersprechen die Merkmale der außergewöhnlichen Sturmflut vom 1. 2. 1953 in den Niederlanden den derzeitigen Erkenntnissen der Wetter- und Meereskunde?“, kann verneint werden: Nach den qualitativen Merkmalen widersprach diese Sturmflut trotz ihrer außerordentlichen Höhe in keinem wesentlichen Umstand dem derzeitigen Stand der hydromechanischen Erkenntnis.

Quantitativ sind aus Wasserstandsstatistiken abgeleitete Voraussagen über das mögliche Auftreten derart hoher Wasserstände durch die Ereignisse bestätigt worden.

Allerdings hat diese Sturmflut die bisherigen quantitativen Erfahrungen über die meteorologischen Erscheinungen so weit übertroffen, daß die Frage nach dem absoluten Maximum der Sturmenergie und des resultierenden Windstaus weiterhin offen bleibt.

19. Die zweite grundsätzliche Frage: „Sind die bisher für die schleswig-holsteinische Westküste geltenden Erkenntnisse, insbesondere die Untersuchungsergebnisse SCHELLINGS, auf Grund der Sturmflut vom 1. 2. 1953 zu ändern?“ wird bedingt bejaht, so zum Beispiel in folgenden Punkten:

a) SCHELLING und andere hatten die an verschiedenen Sturmfluten getrennt beobachteten Größtwerte der sturmflutbildenden Einzelfaktoren in ungünstigem Sinne zu „höchstmöglichen“ Wasserständen kombiniert unter der stillschweigenden Voraussetzung, daß außergewöhnliche Beobachtungen eines relativ kurzen Zeitraumes die möglichen Höchstwerte überhaupt darstellen.

Im zufallsfreien Zusammenhang (s. Ziff. 1) erweist sich diese Voraussetzung als irreführend, und der Begriff „höchstmöglich“ muß aufgegeben werden.

b) Der zur Zeit noch anhaltende säkulare Anstieg des Meeresspiegels verlangt aus Gründen dauerhafter Sicherung, die vermutlichen Verhältnisse der näheren Zukunft ins Auge zu fassen. Aus dieser Forderung ergeben sich höhere maßgebende Sturmflutwasserstände als nach SCHELLING und anderen, die ihre Ermittlungen nur auf die Gegenwart bezogen hatten.

c) Die von SCHELLING mangels geeigneter Unterlagen übernommenen traditionellen Schätzwerte für den höchsten Wellenauflauf müssen auf Grund der neueren Erkenntnisse wesentlich erhöht werden.

20. Mit der Feststellung der für das Deichbestick maßgebenden Sturmflutwasserstände darf die praktische Seite dieses Problems als vorläufig abgeschlossen gelten. Einzelne Ergänzungen, insbesondere eine gründlichere Erforschung der historischen Sturmfluten und des säkularen Wasseranstiegs vor 1850 versprechen weiterführende Einsichten.

Außerdem sollte die Erkenntnis der physikalischen Zusammenhänge so gefördert werden, daß insbesondere der Einfluß der räumlichen Gestaltung und Umgestaltung des Wattenmeeres auf die örtlichen Wasserstände besser als bisher geklärt werden kann.

Die größte aktuelle Bedeutung indessen hat der Aufbau und die Durchführung von Beobachtungen und Untersuchungen über die speziellen Wellenerscheinungen im Wattenmeer und am Deich.

VII. Schriftenverzeichnis

1. ALGEMEENE DIENST VAN DEN RIJKSWATERSTAAT: Tienjarig Overzicht 1931—1940 der Waterhoogten langs Zeeuwsche Stroomen, Noordzee, Lauwerszee, Eemmond, Hoofdrivieren en Ijsselmeer. 's-Gravenhage 1944.
2. BUSCH, A.: Bilder vor und nach den Oktoberfluten 1936. Die Heimat Nr. 1, 1937.
3. DELTACOMMISSIE: Afdamming Zeearmen. Deerde Interim-Advies. 's-Gravenhage 1954. (Deutsche Übersetzung in „Die Küste“ 2, H. 2, 1954.)
4. DITTMER, E.: Die nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. Meyniana Bd. 1, Kiel 1952.
5. FISCHER, O.: Die Wirkungen des Hindenburgdammes auf das Ansteigen der Sturmfluthöhen im Gebiet südlich des Dammes. Bericht an Schlesw. Holst. Min. f. Ern., Landw. u. Forsten Juni 1953. Archiv Landesstelle für Gewässerkunde Kiel (Unveröffentlicht).
6. FISCHER, O.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Teil III. Das Festland. Berlin 1955 (z. Z. im Druck).
7. GAYE, J.: Gutachten für die Gemeinde Pellworm über das Ansteigen der mittleren und höheren Tidewasserstände. Marne 11. 2. 48 (Unveröffentlicht).
8. GAYE, J.: Die Wasserstandsänderungen in der Ostsee und in der Nordsee in den letzten 100 Jahren. Die Wasserwirtschaft, Sonderheft 1951.

9. GROEN, P.: Zeegolfen. 's-Gravenhage 1950.
10. GRÜTTNER, H.: Sturmflut vom 16. Jan. 1954, Messungen des Wellenaufbaus an den Deichböschungen. Marschenbauamt Itzehoe, Dienstbericht Tgb. Nr. 161/54 vom 25. 1. 54 (Unveröffentlicht).
11. HENSEN, W.: Über die Ursachen der Wasserstandshebung an der deutschen Nordseeküste. Bautechnik 1, H. 16, Berlin 1938.
12. HENSEN, W.: Entwicklung der Fahrwasserverhältnisse in der Außenelbe. Berlin 1941.
13. HENSEN, W.: Modellversuche über den Wellenaufbau an Seedeichen im Wattengebiet. Mitt. Franzius-Institut Nr. 5, Hannover 1954.
14. HENSEN, W.: Sturmflut 1. 2. 1953 Holland (unveröffentlichter Vortrag).
15. HUNDT, C.: Dienstbericht betr. Sturmflutuntersuchungen an der Westküste vom 16. 1. 1942. Archiv Marschenbauamt Heide, Pegelaußenstelle Büsum, Akte 2204/1 (Unveröffentlicht).
16. HUNDT, C.: Arbeitsbericht über das Anwachsen der Sturmfluthöhen in der Untereider von 1936 bis 1950 infolge Versandung des Eiderbettes seit der Abdämmung bei Nordfeld. Büsum 9. 12. 50 mit „Erster Nachtrag ...“ vom 10. 4. 52. Archiv MBA Heide, Pegelaußenstelle Büsum, Akte 2204/1 (Unveröffentlicht).
17. HUNDT, C.: Erkundungsreise Juli 1953 in das holländische Sturmflutkatastrophengebiet. Dienstbericht der Pegelaußenstelle Büsum vom 5. 8. 53. Archiv Landesst. f. Gwkde. Kiel (Unveröffentlicht).
18. THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS: Conference on the North Sea Floods of 31 January/1 February 1953. London 1954.
19. KLEIN, J. L.: De overstromingsramp 31 Januari/1 Februari 1953. Dijkbreuken. De Ingenieur Nr. 34. 1953.
20. KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE: Stellungnahme der Untergruppe „Sturmfluten“, Küstenausschuß Nord- und Ostsee, zu der Untersuchung von Reg. Baurat Schelling über die Sturmfluten an der Westküste Schleswig-Holsteins, Januar 1950. Schr. an die Landesregierung Schleswig-Holstein, Min. f. Ernährg., Landw. u. Forsten. Archiv Landesst. f. Gwkde. Kiel (Unveröffentlicht).
21. KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE: Stellungnahme des Küstenausschusses Nord- u. Ostsee, Untergruppe „Sturmflut vom 1. Febr. 1953“ zu Anfragen der Landesregierung Schlesw.-Holst. und Niedersachsen betr. Sturmflutuntersuchungen. Kiel 11. 3. 54. Archiv Landesst. f. Gwkde. Kiel (Unveröffentlicht).
22. LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSERKUNDE KIEL: Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Küstengebiet Nord- und Ostsee. Abflußjahr 1950. Kiel 1953.
23. LEPPIK, E.: Die Sturmfluten in der Elbmündung. Besondere Mitt. z. Dt. Gewässerk. Jahrbuch Nr. 1, Hamburg 1950.
24. LÜDERS, K.: Über das Ansteigen der Wasserstände an der deutschen Nordseeküste. Zentralblatt d. Bauverw. Heft 50, 1936.
25. LUCHT, F.: Geschiebe- und Sinkstofftransport in der Elbe. Mitt. Geol. Staatsinstitut Hamburg, Heft 23, 1954.
26. MÜLLER-FISCHER: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. 2. Teil: Die Inseln, Folge 4. Pellworm. Berlin 1936.
27. PETERSEN, M.: Grundlagen zur Bemessung der schleswig-holsteinischen Landesschutzdeiche. Die Küste, Jg. 2, Heft 3, 1954 (siehe dieses Heft).
28. POSTMA, K. R.: De overstromingsramp 31 Januari/1 Februari 1953: Storm- en Stormvloedprognose. De Ingenieur Nr. 34, 1953.
29. PRÜGEL, H.: Die Sturmflutschäden an der schleswig-holsteinischen Westküste in ihrer meteorologischen und morphologischen Abhängigkeit. Berlin 1942.
30. RODEWALD, M.: Der große Nordseesturm vom 31. Januar und 1. Februar 1953. Die Naturwissenschaften, 1953.
31. ROLL, H. U.: Über die Ausbreitung der Meereswellen unter der Wirkung des Windes, auf Grund von Messungen im Wattenmeer. Dt. Hydr. Ztschr. Bd. 2, Heft 6, 1949.
32. ROLL, H. U.: Von der Initialwelle bis zur Sturmsee. Hansa Nr. 6/7, 1953.
33. SCHALKWIJK, W. F.: A contribution to the study of the storm surges on the Dutch coast. 's-Gravenhage 1947.
34. SCHEFFER: Denkschrift über das ordnungsmäßige Profil für die Deiche der Norderdithmarscher Kirchspiele ... 1865. Archiv Deich- und Hauptsielverband Norderdithmarschen, Heide (Unveröffentlicht).

35. SCHELLING, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum. Die Küste 1, H. 1, 1952.
36. SCHEPERS, J. G. H.: Een stormvloed teisterde Zuidwest-Nederland. Tijdschr. Klk. Nederl. Aandr. Gen., Leiden 1953.
37. SCHIJF, J. B.: Coastal Engineering III. De Ingenieur Nr. 11. 1954.
38. SCHOTT, C.: Die Westküste Schleswig-Holsteins, Probleme der Küstensenkung. Schr. Geogr. Inst. Kiel, Bd. XIII, Heft 4, 1950.
39. STAATSCOMMISSIE: Verslag Staatscommissie Zuiderzee 1918/26. 's-Gravenhage 1926.
40. TOMCZAK, G.: Die Sturmfluten vom 9. und 10. Febr. 1949 an der deutschen Nordseeküste. Dt. Hydr. Ztschr., Band 3, Heft 3/4, 1950.
41. TOMCZAK, G.: Einfluß der Küstengestalt und des vorgelagerten Meeresbodens auf den windbedingten Anstau des Wassers, betrachtet am Beispiel der Westküste Schleswig-Holsteins. Dt. Hydr. Ztschr., Band 5, Heft 2/3, 1952.
42. TOMCZAK, G.: Die Einwirkung des Windes auf den mittleren Wasserstand der Deutschen Bucht vom 15. Februar bis 6. März 1951. Dt. Hydr. Ztschr., Band 6, Heft 1, 1953.
43. VALKEN, K. F.: Een schatting van de kruinhoogte van de Braakman-Dijk. De Ingenieur 65, Nr. 34, 1953.
44. VAN VEEN, J.: Fatal Beliefs on Flooding Level. Dock and Harbour Nr. 401, 1954.
45. WEMELSFELDER, P. J.: Wetmatigheden in het optreden von Stormvloeden. De Ingenieur Nr. 9, 1939.
46. WEMELSFELDER, P. J.: De overstromingsramp 31. Jan./1. Febr. 1953, Waterstanden. De Ingenieur Nr. 34, 1953.
47. WEMELSFELDER, P. J.: De stormvloed van 1 Februari 1953 op de Noordzee. Nadere beschouwing van international gegevens. De Ingenieur Nr. 22, 1954.
48. WOEBCKEN, C.: Deiche und Sturmfluten an der deutschen Nordseeküste. Bremen 1924.

Weitere Quellen nach Akten, Berichten, mündlichen und
schriftlichen Mitteilungen:

Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage, Niederlande,
Herr Andreas Busch, Nordstrand,
Herr Willi Bock, Pellworm,
Herr Max Eikmeyer, Osnabrück,
Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg,
Seewetteramt Hamburg,
Wasser- und Schiffahrtsdirektion Hamburg, Gewässerkundliches Büro,
Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Kiel,
Landesstelle für Gewässerkunde Kiel,
Wasser- und Schiffsamt Tönning,
Wasser- und Schiffsamt Glückstadt,
Marschenbauämter Husum, Heide und Itzehoe,
Pegelaußenstelle Büsum des Marschenbauamtes Heide,
Forschungsstelle Westküste.

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

1. Westküste von Schleswig-Holstein, Übersicht
2. Windeffekt am Pegel Hoek van Holland
3. Mittlere jährliche Überschreitungshäufigkeiten der Tidehochwasserstände am Pegel Husum von 1634 bis 1950
4. Mittlere jährliche Überschreitungshäufigkeiten der Tidehochwasserstände in Schleswig-Holstein und Holland
5. Gewässerzustand der Husumer Bucht 1634 (schematisch)
6. Gewässerzustand der Husumer Bucht 1950 (schematisch)
7. Raumbedingte Entwicklungstendenz des MThw in Husum und Pellworm Ost, 1634 bis 1950
8. MThw-Anstieg Westküste Schleswig-Holstein

9. Beschickungswerte früherer Sturmflutwasserstände für den Gewässerzustand 1950. Schleswig-holsteinische Westküste (nach Tab. 2)
10. Scheitelstände historischer und neuerer Sturmfluten entlang der schleswig-holsteinischen Westküste
11. Wellenauflauf Nordfriesland 18. und 27. 10. 1936
12. Wellenauflauf Eiderstedt und Dithmarschen 16. 1. 1954.
13. Wellenauflauf Goeree und Schouwen 1. 2. 1953
14. Nordstrand Nordwest, Kiehhuk. Schwere Brandung am Außendeich. 18. 10. 1936
15. Nordstrand Nordwest, Kiehhuk. Überschießende Welle. 18. 10. 1936
16. Nordstrand Nordwest, Kiehhuk. Überschießende Wellenfront. 18. 10. 1936
17. Pellworm Südwest, Hölle. Brandung vor dem Deich. 27. 10. 1936
18. Pellworm Südwest, Hölle. Überschießende Welle. 27. 10. 1936
19. Pellworm Südwest, Hölle. Deich und Vorland bei Mittelwasser. Oktober 1936 nach den Sturmfluten
20. Beobachtete Sturmflut-Wellenperioden am 16. Januar 1954 an der schleswig-holsteinischen Westküste
21. Wellen-Auflaufhöhe in Abhängigkeit von der Periode
22. Einfluß der Windstreichlänge auf den Seegang (nach Roll 1949)
23. Höhen der Seedeiche an der Westküste Schleswig-Holsteins und auf den Inseln
24. Kritische Sturmflutwasserstände entlang der Nordseeküste von Schleswig-Holstein bis Holland
25. Mittlere jährliche Überschreitungshäufigkeit des Staus über MThw. Vergleich Schleswig-Holstein und Holland

Tabellen

1. Heutige Windstauverhältnisse, Husumer Bucht
2. Beschickungswerte früherer Sturmflutwasserstände auf den Gewässerzustand 1950. Schleswig-holsteinische Westküste
- 3a. Ermittlung und Beschickung hoher Sturmflutstände auf den Gewässerzustand 1950. Schleswig-holsteinische Westküste
- 3b. Zusammenstellung der Scheitelstände hoher Sturmfluten
4. Ermittlung der Richtwerte des maßgebenden Sturmflutwasserstandes
5. Vergleich höchstmöglicher und maßgebender Sturmflutwasserstände und Stauwerte. Schleswig-holsteinische Westküste
6. Wellenauflauf und Deichlage in Nordfriesland am 18. und 27. 10. 1936
7. Mittlere Richtwerte für den maßgebenden Wellenauflauf an den Deichen der schleswig-holsteinischen Westküste

Über die Grundlagen zur Bemessung der schleswig-holsteinischen Landesschutzdeiche

Von Marcus Petersen*

Inhalt

I. Einführung	153
II. Risiko und Sicherheit	156
III. Rückblick auf die Entwicklung des Deichbaues	157
1. Allgemeines	157
2. Böden für den Deichbau	159
3. Deichhöhe	161
4. Außenböschung	162
5. Deichkrone	164
6. Innenböschung	166
7. Innenberme	168
8. Rhynschlot	169
9. Bauwerke in den Landesschutzdeichen	170
10. Deichpflege	170
IV. Dünen als Schutz des Landes	171
V. Sturmflutwarndienst und Katastrophenschutz	172
VI. Möglichkeiten zur Entlastung des Landesschutzdeiches	172
1. Entlastung des Landesschutzdeiches auf der Landseite	172
2. Entlastung des Landesschutzdeiches auf der Wasserseite	173
VII. Zusammenfassung	177
VIII. Schriftenverzeichnis	178

I. Einführung

Landesschutzdeiche sind Anlagen, welche die an der Küste und in Flußmündungsgebieten gelegenen Marschen und Niederungen (Abb. 1) gegen Überschwemmungen bei Sturmfluten schützen sollen. In Schleswig-Holstein gibt es Landesschutzdeiche an der Westküste von der deutsch-dänischen Grenze bis an die Elbmündung, auf den Inseln Sylt, Föhr, Amrum, Pellworm und Nordstrand, ferner an der Untereider und im Bereich der Niederelbe. Die Schutzanlagen vor den Niederungen an der Ostseeküste sind bisher nicht durch deichpolizeiliche Verordnungen zu Landesschutzdeichen erklärt worden; sie werden deshalb nicht in die nachstehenden Betrachtungen einbezogen. Die Festlandsdeichlinie wird nur an zwei Stellen durch natürliche Bodenerhebungen unterbrochen: bei Schobüll, nördlich Husum, grenzt die Geest unmittelbar an das Wattengebiet, und beim Nordseebad St. Peter wird der Landesschutzdeich teilweise durch Dünen ersetzt.

Die Sollabmessungen eines Landesschutzdeiches werden im Bestick vorgeschrieben. Das Bestick wird amtlich geprüft und durch deichpolizeiliche Vorschrift (45) bekräftigt. Den Begriff „Bestick“ verwendet man nach MÜLLER-FISCHER an der Eider (36) bereits im Jahre 1625 und auf Pellworm (35) 1637. In einer heute noch fast wörtlich zutreffenden Darstellung schreibt BRAHMS (3) vor genau zweihundert Jahren „von denen Deich-Bestecken, oder der eigentlichen Größe und Stärke, so denselben nach Proportion der Größe und Gewalt des anfallenden Gewässers gegeben werden müssen“. BRAHMS weist darauf hin, daß die Höhe der großen Sturm-

*) Nach einem Vortrag am 14. 5. 1954 in Kiel vor dem Bund der Wasser- und Kulturbauingenieure.

fluten und die „Größe und Force derer sich über dem Gleichgewichte des Wassers erhebender rasender Seewellen“ bekannt sein müssen, bevor ein Bestick festgesetzt wird.

Dem Bestick eines Landeschutzdeiches wurde zu allen Zeiten eine außergewöhnliche Bedeutung beigemessen. So gelten in Süderdithmarschen heute noch Vorschriften aus dem Jahre 1789 für Strecken bei Brunsbüttel, am Kaiser-Wilhelm-Koog und vom Friedrichskoog bis Süderwörden. Für den Abschnitt Friedrichsgabekoog bis Karolinenkoog (ausgenommen der neue Deich vor dem Büsumer Hafen und vor dem Hedwigenkoog) ist das von Wasserbaudirektor SCHEFFER (49) 1865 festgesetzte Bestick gültig. In Nordfriesland gehen die Bestickvorschriften zurück bis 1883 für den Porrenkoogdeich, bis 1888 für die Strecke vom Nordende des Osewoldter Kooges bis zur deutsch-dänischen Grenze (ausgenommen der Galmsbüller Koog und der Wiedingharder Neuer Koog) und bis 1891 für den Deich der Südermarsch bei Husum. Bis zu 160 Jahren reicht also der Erlaß dieser Vorschriften zurück. Man hat sie nicht angetastet. Für einige Deichabschnitte ist sogar der Wortlaut des Besticks nicht mehr aufzufinden. Nun haben sich im Lauf der Zeit sowohl die Erfahrungen über Wasserstände und Wellentätigkeit als auch die Auffassungen über die volkswirtschaftliche Bedeutung und über die Querschnittsgestaltung eines Landeschutzdeiches geändert, so daß eine generelle Überprüfung der Vorschriften unter Verwertung neuerer Erkenntnisse notwendig erscheint.

Die Veranlassung für die Überprüfung des Deichbesticks gab die durch die Überschwemmungskatastrophe in den Niederlanden, in Belgien und England bekannte Sturmflut vom 1. Februar 1953¹⁾. Der ungewöhnliche Ablauf der Flut vom 9./10. Februar 1949 mit einem an unserer Westküste bisher noch nie beobachteten Windstau von stellenweise mehr als 5 m (allerdings bei Tnw) war bereits als ernste Warnung verstanden worden. Beide Fluten lösten lebhaft Diskussionen bei den Marschenbewohnern, in allen Deichverbänden, in den Marschenbauämtern, den beteiligten Landkreisen und in den verschiedensten Ministerien aus. Die Abteilung Wasserwirtschaft im Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein ließ Untersuchungen über Sturmfluthöhen zunächst von SCHELLING (50) und später von HUNDT (19) durchführen. Diese Arbeiten wurden in Beratungen der Arbeitsgruppe „Sturmflut vom 1. Februar 1953“ des Küstenausschusses Nord- und Ostsee eingehend geprüft.

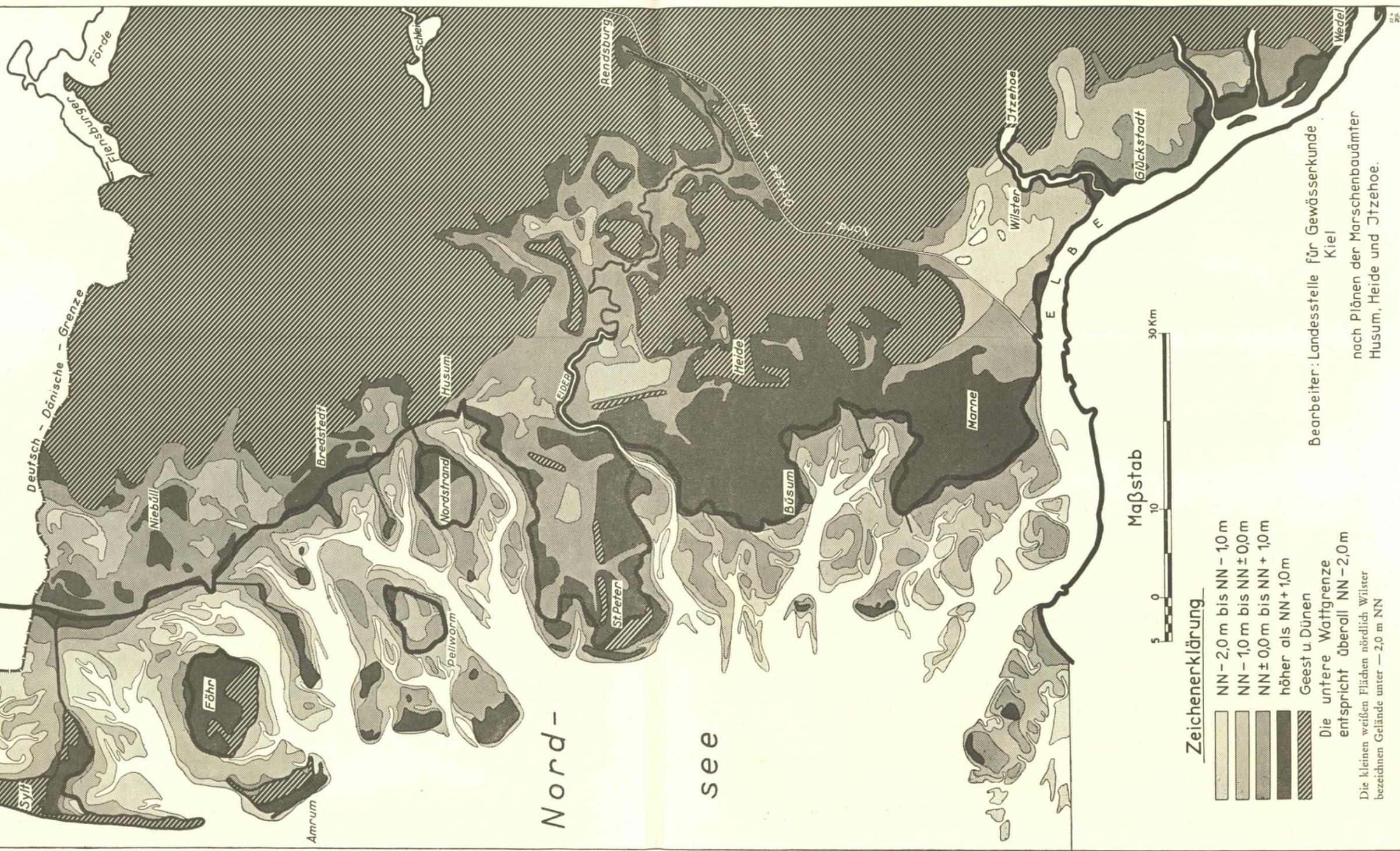
Eine Untersuchung über Grundlagen zur Bemessung der Landeschutzdeiche erschien auch deshalb notwendig, weil die beiden Fluten vom Oktober 1936 und vom November 1938 auf mehreren Strecken recht beachtliche Schäden an den Deichen verursacht hatten, worüber BUSCH (5) und WOHLBERG (72) Darstellungen gegeben haben (Abb. 2 und 3). Es wurden danach einige Deichabschnitte verstärkt und teilweise um wenige Dezimeter erhöht. STADERMANN (56) vertrat noch im Jahre 1937 die Ansicht, die Seedeiche seien „so stark und hoch ausgebaut worden, daß sie nach menschlichem Ermessen auch den höchsten Sturmfluten Trotz bieten“ würden. Diese Auffassung teilte auch BOTHMANN (2) noch im Jahre 1941: „Gegenüber den steileren Deichen früherer Zeiten weisen unsere modernen Seedeiche eine ausreichende Höhe und flachere Außenböschung auf, an denen die Welle besser auslaufen kann.“ MEYER (32) führt 1952 bei einer Betrachtung über die Elbdeiche zwischen Cuxhaven und Hamburg die Flut von 1825 an und sagt: „... es spricht aber eine große Wahrscheinlichkeit gegen eine weitere Steigerung der Sturmfluthöhen.“ „Schließlich liegt noch in der jetzigen Höhe der Deichkrone von 1,0 bis 1,5 m über der Sturmflut von 1825 eine Reserve, die uns mit Vertrauen erfüllen kann.“

Nicht so optimistisch äußerte sich LORENZEN (29), als er 1940 die Ergebnisse der Küstenforschung in dem unveröffentlichten Bericht „Generalplanung Nordfriesisches Wattenmeer“ zusammenfaßte: „Es ist durch wiederholte Sturmflutschäden an den Deichen des Festlandes bekannt, daß die gegenwärtige Verteidigungslage verbesserungsbedürftig ist. Ein erheblicher Teil

¹⁾ Anmerkung des Herausgebers: Die Sturmflut vom 31. Januar/1. Februar 1953 hat an der deutschen Nordseeküste nicht die außergewöhnliche Höhe erreicht, wie in Südholland und Ostengland. Die höchste bekannte Sturmflut an der schleswig-holsteinischen Westküste und in der Unterelbe ist am 3./4. Februar 1825 eingetreten, an der ostfriesischen Küste am 13. März 1906. Das ist auf den Einfluß der grundsätzlich verschiedenen Wetterlagen zurückzuführen.

Aufsatz PETERSEN: Über die Grundlagen zur Bemessung der schleswig-holsteinischen Landesschutzdeiche
Zeitschrift DIE KÜSTE H. 1/2 1954

Höhenplan der Marschen und Watten Schleswig-Holsteins



Zeichenerklärung

- NN - 2,0 m bis NN - 1,0 m
 - NN - 1,0 m bis NN ± 0,0 m
 - NN ± 0,0 m bis NN + 1,0 m
 - höher als NN + 1,0 m
 - Geest u. Dünen
 - Die untere Wattgrenze entspricht überall NN - 2,0 m
- Die kleinen weißen Flächen nördlich Wilsder bezeichnen Gelände unter - 2,0 m NN

Maßstab
0 10 30 Km

Bearbeiter: Landesstelle für Gewässerkunde
Kiel
nach Plänen der Marschenbauämter
Husum, Heide und Itzehoe.



Abb. 2
Kammsturz am Nord-
strander Deich durch die
Sturmflut vom 18. 10. 1936

[aus BUSCH (5), Abb. 7]



Abb. 3
Nach der Überflutung des
Trischen-Koogs wird der
Seedeich von der Innenseite
her zerstört

[aus WOHLBERG (72),
Abb. 25]

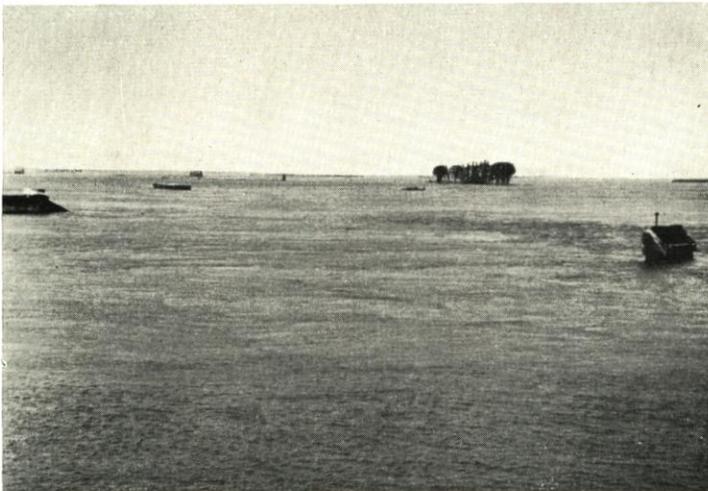


Abb. 4
Deichbruch beim Krüninger
Fährhafen in Süd-Beve-
land. Der Block in der
Mitte des Bildes gehört zu
der früheren Landungsan-
lage außerhalb des den
Hafen umschließenden Dei-
ches. Die Deichbucht ist
völlig verschwunden. Ur-
sache des Deichbruchs: ver-
geblicher Versuch zum
Schließen einer Stöpe

Aufn. PETERSEN, Juli 1953

*der jetzigen nordfriesischen Seedeiche ist Jahrhunderte alt und entspricht nach Höhe und Profil schon heute vielfach nicht mehr den Bedürfnissen einer sicheren Abwehrstellung. Sie müssen deshalb teils sehr bald, teils in absehbarer Zeit verstärkt werden.*²⁾

Wenn wir in unseren Chroniken die Beschreibungen der Sturmfluten lesen oder auch bei WOEBCKEN (69), so unterscheiden sie sich kaum von den Schilderungen über die Katastrophe der ersten Februarwochen des Jahres 1953. Diese Feststellung trifft THIERRY (37) in einer Aussprache nach einer Vortragsreihe. Nicht allein die Beschreibungen des Elends seien immer die gleichen, sondern auch die Erfahrungen in technischer Hinsicht sind dieselben, und man sei betroffen über die vielen Punkte der Übereinstimmung. Es sei gerade so, als ob die Lehren früherer Katastrophen nicht genügend beherzigt wurden. Geschehnisse, die zehn oder höchstens zwanzig Jahre zurückliegen, behalte man im Gedächtnis, aber was davor geschehen sei, würde bald vergessen.

Die Küstenbevölkerung hat bis zu dem denkwürdigen Ereignis nicht an die Möglichkeit geglaubt, daß eine Sturmflut ihr Land so nachhaltig treffen könnte, wie es damals in den Niederlanden der Fall gewesen ist. Man fühlte sich sicher. Nach MARIS (30) war man „nicht bereit“, die Februar-Sturmflut 1953 zu „empfangen“. Die Warnungen auf Grund wissenschaftlicher Arbeiten der „Lorentz-Sturmflutkommission von 1939“ und besonders der Ingenieure VAN VEEN 1939 (zitiert bei 51), WEMELSFELDER 1939 (65) und anderen, sowie der Ruf von RINGERS 1948 (zitiert bei 51) „Die Deiche schreien nach Erhöhung!“²⁾ wurden erst in voller Tragweite erkannt, als die aufgezeigte Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit einer katastrophalen Sturmflut eine bittere Tatsache geworden war (Abb. 4).

II. Risiko und Sicherheit

Eine absolute Sicherheit hat es für die unmittelbar hinter den Deichen der Nordsee, in den Marschen und den Niederungsgebieten wohnenden Menschen im Grunde bisher nie gegeben. Ein gewisses Risiko wird man hier bei allen vorsorglichen Maßnahmen auch künftig in Kauf nehmen müssen. Nach KLEIN (zitiert bei 37) und CUBLEY CROWTHER (8) kann man die Aufwendungen für die Deiche als „Versicherungsprämien“ für den gewünschten Grad der Sicherheit ansehen. BLOCQ VAN KUFFELER (1) vergleicht den Verlust der Menschen durch die Wassernot 1953 mit den Opfern, die der moderne Verkehr innerhalb eines Jahres in den Niederlanden fordert, und kommt zu dem Schluß, daß ein gewisses Risiko der Deichbrüche als unvermeidbar hingenommen werden müsse.

Die Erhebungen über die schleswig-holsteinischen Landesschutzdeiche haben ergeben, daß die bisher angenommenen und für das Deichbestick zugrunde gelegten Sturmflutwasserstände und die Vorstellungen über den Wellenauflauf an den Deichen nicht mehr ausreichend sind. Es muß eine größere Sicherheit angestrebt werden, um der Gefahr einer Überschwemmungskatastrophe vorzubeugen.

Diese Gefahr ist nicht nur von dem Wasserbau, der Meteorologie und Ozeanographie her erkannt worden, sondern auch die Geologie hat es an Warnungen nicht fehlen lassen. DITTMER (11, 13) wies besonders nachdrücklich auf die Neigung der Marschen an der Westküste Schleswig-Holsteins zu Sackungen und Setzungen infolge von Überbelastung und Entwässerung hin. Die Belastung mit dem Gewicht des Deichkörpers führt zu Setzungen. Die Veränderung des Verhältnisses von Wasser und Boden nach Inbetriebnahme von Schöpfwerken verstärkt diese Wirkung. Es kann auch aus diesem Grunde keine absolute Sicherheit gegen Sturmfluten erreicht werden.

Vergleichen wir unsere Verhältnisse hinsichtlich der Sicherheit mit denen in den Niederlanden, so ist ein grundsätzlicher Unterschied festzustellen: Dort war zu entscheiden, ob rund 700 km Deiche in Südholland um 1½ bis 2 m erhöht oder die verschiedenen Seegaten in der

²⁾ Alle fremdsprachlichen Zitate sind in Übersetzung wiedergegeben.

Nähe der Nordsee abgeriegelt werden sollten. Die DELTA-KOMMISSION (31) hat jetzt die zweite Lösung vorgeschlagen. Die Länge der Seedeiche wird dadurch um ein Vielfaches verkürzt, so daß die neuen Deiche ohne nennenswerte zusätzliche Kosten für eine höhere Sicherheit hergestellt werden können.

Für den Deichbau an der deutschen Nordseeküste sind folgende Probleme mit dem Ziele einer Steigerung der Sicherheit zu lösen:

- a) Die wirtschaftlich vertretbare Deichhöhe ist zu suchen und alsbald herzustellen.
- b) Der Querschnitt der Landesschutzdeiche ist so auszubilden, daß über die Deichkrone schwappende (hinweggehende) Wellen keine oder doch keine folgenschweren Beschädigungen an der Innenböschung erzeugen können.
- c) Der Landesschutzdeich, das heißt die Linie des Hauptdeiches, ist zu entlasten: hinter dem Seedeich durch die Erhaltung oder Wiederherstellung der wehrfähigen zweiten Deichlinie, vor dem Seedeich durch Förderung der Landgewinnungsmaßnahmen im Wattengebiet, durch Sommerdeiche, durch Bau von Dämmen und durch Neueindeichungen.
- d) Das Risiko für die Siedlungen bei Überschwemmungen durch Sturmfluten ist durch organisatorische Maßnahmen seitens der Selbstverwaltung und der Aufsichtsorgane (Katastrophenschutz-Ordnung) zu vermindern.

Zur Erläuterung der zeitlichen und örtlichen Verschiedenheiten wird ein Rückblick auf die Entwicklung der schleswig-holsteinischen Landesschutzdeiche gegeben, um daraus Vorschläge für die Planung und Durchführung des neuen Besticks abzuleiten³⁾.

III. Rückblick auf die Entwicklung des Deichbaues

1. Allgemeines

Die Küstenbewohner sind während der tausendjährigen Deichgeschichte oft von den Wellen der Nordsee überrascht worden. Sie haben viele Schläge hinnehmen müssen, bis sorgfältigere und umfassendere Beobachtungen der Naturvorgänge und der Fortschritt der Technik in der Entwicklung von Werkzeugen und Arbeitsverfahren bessere Möglichkeiten für Gegenmaßnahmen brachten. Solange die Marschen und die Niederungen in den Flußmündungsgebieten von Menschen als Siedlungsraum in Anspruch genommen werden, besteht für sie die wichtigste Aufgabe darin, die Widerstandsfähigkeit aller Anlagen gegen das Meer in einem guten Zustand zu erhalten und stets zu verbessern.

Bei einem Rückblick in die Vergangenheit können wir uns auf eine Betrachtung über den Hauptdeich, den späteren Landesschutzdeich, als der Hauptlinie in der Abwehr des Nordseewassers beschränken.

Wir wissen, daß die Deiche anfangs nur niedrige Verwallungen darstellten. Die Marschen wurden extensiv genutzt, so daß die Sturmfluten noch nicht die Bedeutung gehabt haben können wie in den letzten Jahrhunderten und in der jüngsten Gegenwart. Nach SAXO GRAMMATICUS waren die Deiche Ende des 12. Jahrhunderts etwa 2,5 bis 2,8 m hoch. Um 1550 erreichten die Deichkronen bereits 3,50 bis 3,75 m Höhe. Nach der großen Flut vom Jahre 1634 wurden die Deiche bis 4,70 und 5,00 m aufgeschüttet. Zweihundert Jahre später sind sie um weitere 60 bis 70 cm erhöht worden. Heute muß mit Werten von 5,2 bis 6,2 m über MThw gerechnet werden. Ähnliche Angaben machten SOMMERMEIER (55), HINRICHS (17) und andere. Es ist anzunehmen, daß sich die aus den ersten Jahrhunderten der Deichgeschichte überlieferten Höhen nicht auf „Ordinäre Flut“, wie man sich damals auszudrücken pflegte, sondern auf das Vorland oder Maifeld bezogen.

³⁾ Die Vorschläge dürften grundsätzlich auch auf die Landesschutzdeiche der niedersächsischen Küste angewandt werden können.

Die Bezugsebene „Ordinäre Flut“ hat BRAHMS (3) treffend erläutert: „Wenn nun die Fluth so hoch steigt, daß sie die niedrigsten und kleinsten von diesen Gras (Andel-)Flecken erreicht, so nennet man selbige die ordinäre tägliche Fluth und da die Natur diese Merkmale allemal selbst anweist, so kann man sie als einen Grund zu allen Höhen-Messungen unseren Nachkommen verständlich machen, indem die erwähnten Ansätze der Begrünung jederzeit in der nehmlichen horizontalen Lage des Grund und Bodens folgen.“

Die „Ordinäre Flut“ entspricht mithin etwa dem heutigen MThw.

Schriftlich überlieferte Angaben über alte Deichquerschnitte wurden in jüngster Zeit mehrfach und auf verschiedene Weise als richtig bestätigt. JENSEN (23), SAEFTEL (46) und WETZEL (67) untersuchten den Schlafdeich in Büttel-St. Margarethen in der Wilstermarsch. BUSCH (6) legte

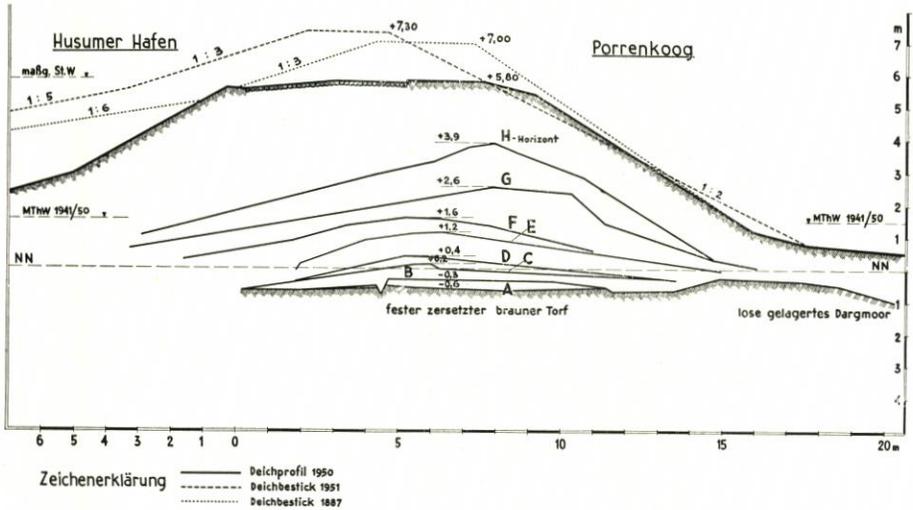


Abb. 5. Aufgeschlossene Profile am Deichsiel Porrenkoog bei Husum
Vermessung: Dipl.-Ing. Kambeck, Husum

bei seinen Grabungen auf Sylt alte Deichprofile frei und verglich sie mit dem Querschnitt des 1936 gebauten Nössedeiches. Auch Deichdurchstiche für den Umbau oder Neubau von Sielen erschlossen bisher wenig beachtete Quellen. Beim Anschluß der Entwässerung des Buphever Kooges an die Vorfluter der Insel Pellworm [PETERSEN (43)] war der Durchstich zweier alter Deiche erforderlich. In eindeutiger Weise konnten hier alte Querprofile eingemessen werden. Eine Anzahl von übereinander gelegenen Deichquerschnitten kam ebenfalls zutage, als das Porrenkoogsiel bei Husum umgebaut wurde (Abb. 5: Horizont A bis H).

Aus all diesen Feststellungen dürfen wir schließen, daß die Deiche durchschnittlich etwa alle hundert Jahre um 30 bis 40 cm erhöht werden mußten (Abb. 6). Da sie meist auf mehr oder weniger belastungs- und setzungsempfindlichen Böden aufgeführt waren, entfällt ein Teil des Höhenverlustes auf das Zusammenpressen des Untergrundes als Folge der Belastung durch den Deichkörper und als Folge der Entwässerungsmaßnahmen. Auch der Wind ist an der Erniedrigung der Deichhöhe beteiligt, wenn die Deichkrone als unbefestigter Verkehrsweg dient und der Staub von Fahrzeugen, Viehherden, Gewitterböen und anderem aufgewirbelt und vom Winde fortgetragen wird. Während diese Erscheinungen lokaler Art sind, haben Vorgänge wie Küstensenkung und Wasserstandshebung (Niveauverschiebung) überörtliche Bedeutung. Zahlreiche Verfasser haben sich mit der Klärung dieser Fragen befaßt. Für den praktischen Hochwasserschutz an der Küste und in den Tideflußmündungen müssen wir vorerst noch mit einer weiteren Verschiebung zu Ungunsten des Landes rechnen.

Die Festsetzung der Deichhöhe gründete sich in jüngerer Zeit auf folgende Grundmaße:

- HHThw = höchstes beobachtetes Tidehochwasser
- + 1,0 bis 1,8 m für Wellenauflauf
- + 0,50 m als Sicherheitsmaß
- + 0,25 m als Sackmaß.

Das HHThw beruhte hierbei meistens auf einer einzigen Beobachtung. Umfaßt die Beobachtungsreihe nur wenige Jahre, so handelt es sich um einen Zufallswert, der zu niedrig ausfallen muß, wenn nicht das HHThw aller benachbarten Pegel ebenfalls bei derselben Sturmflut beobachtet und herangezogen wurde. Da sich ferner die Angaben über die an den Deichen auflaufenden Sturmflutwellen meistens nur auf Schätzungen bei Sturmfluten stützten, die nicht die

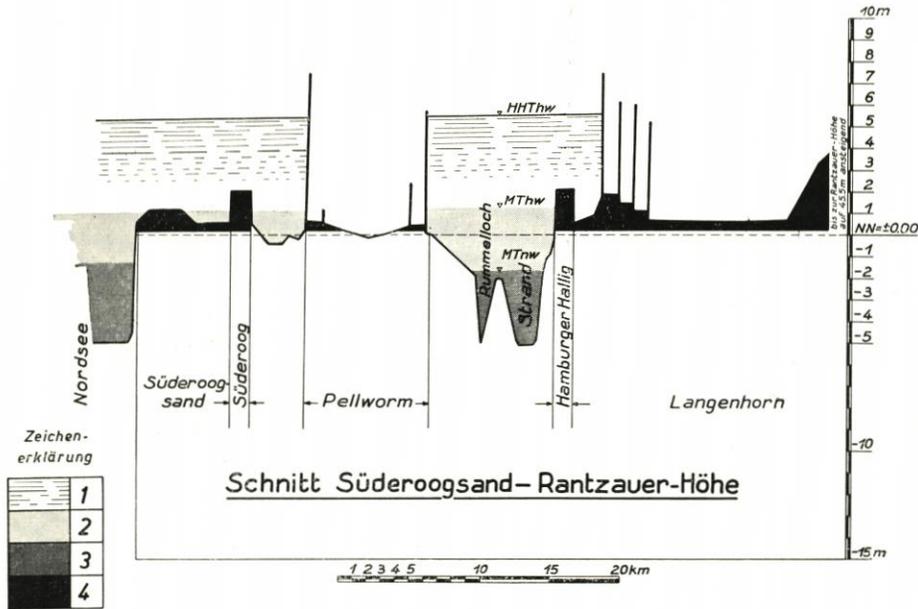


Abb. 6. Schnitt Süderoogsand bis Rantzauer Höhe nördlich Bredstedt. Gelände und Deiche der jüngeren Köge liegen höher als bei den älteren Kögen. Die senkrecht aufragenden Linien oberhalb NN bedeuten Deiche. Das obere Ende der Linien entspricht der Höhenlage der Deichkrone.

- 1 = Sturmflutbereich, MThw bis HHThw
- 2 = Bereich der täglichen Gezeiten, MTnw bis MThw
- 3 = Wasserraum unter MTnw
- 4 = Landflächen über NN

heute maßgebende Sturmfluthöhe erreichen, bedürfen auch sie einer Prüfung. Das Sicherheitsmaß ist ein geschätzter Wert, der die im HHThw liegende Unsicherheit ausgleichen sollte. Er wurde für Flußdeiche in gleicher Weise angesetzt wie für Landesschutzdeiche mit ausgeprägtem Wellenschlag oder Brandung. Das Sackmaß gab die zulässige Unterschreitung der Bestickhöhe an.

In den nachstehenden Abschnitten werden nun diejenigen Gesichtspunkte behandelt, die für die einzelnen Teile des Landesschutzdeiches bei der Festsetzung des Deichbesticks von Bedeutung sind.

2. Böden für den Deichbau

Die für den Deichbau zur Verfügung stehenden Böden wechseln von Ort zu Ort und in ihrem Aufbau zwischen sandigen, bindigen und organischen Böden. Diese verhalten sich im

Hinblick auf ihre Tragfähigkeit als Baugrund und auf ihre Verwendung als Baustoff sehr unterschiedlich.

Die organischen Böden wie Torf und Faulschlamm eignen sich schlecht als Baugrund und als Baustoff. Das Vorkommen solcher Böden muß daher sorgfältig erkundet und bei Planungen besonders berücksichtigt werden.

Bindige Kleiböden sind häufig vorhanden: ihre Eigenschaften ändern sich sehr entsprechend dem jeweiligen Wassergehalt. In trockenem Zustand ist der Klei fest und widerstandsfähig, die Zusammenpressung unter der Baulast ist gering. Bei zunehmendem Wassergehalt wird der Klei weich, er läßt sich leicht verformen und verliert die Oberflächenspannung seines Porenwassers; schließlich geht er in den plastischen Zustand über. Unter einer Belastung entweicht das Wasser nur sehr langsam aus den feinen Poren des Kleibodens, so daß mit Setzungen des Bauwerks noch lange Zeit gerechnet werden muß.

Nichtbindige sandige Böden können als guter Baugrund angesprochen werden.

Für den Deich kommen von diesen Böden als Baustoffe nur Klei und Sand in Frage. Hierbei ist der Klei dem Sand aus folgenden Gründen vorzuziehen:

1. ist die Wasserdurchlässigkeit sehr gering,
2. ist der Klei widerstandsfähiger gegen die Spülwirkung von Wellen.

Infolge des größeren Porenvolumens wird die wesentlich schnellere Wasseraufnahme in Sandböden gefördert. Dies trifft vor allen Dingen für die Sanddeiche zu in Gebieten, in denen nur wenig brauchbarer Klei für die Abdeckung zur Verfügung steht (zum Beispiel in Teilen von Dithmarschen). Aber auch an anderen Strecken wird neuerdings der Deichkern aus Sand hergestellt und mit einer Kleischicht abgedeckt. Dieser Kleimantel darf nicht aus fettem Klei bestehen, da sich dann während der trockenen Jahreszeit Schwundrisse bilden. Schwundrisse treten vor allen Dingen auch an steilen Böschungen auf. Die Sonnenseite wird hiervon besonders betroffen. Der Bildung von Rissen und Spalten sollte bei Neubauten und Deichverstärkungen durch geeignete Zusammensetzungen des Bodens entgegengewirkt werden. Wenn die Wellen bei Sturmfluten an der Außenböschung hinaufschwingen oder gar über den Deich hinwegschwappen, gefährden solche Spalten den Bestand des Deiches ernstlich. Das Wasser tritt dann schnell und tief in den Deichkörper ein, weicht den Kleiboden auf und läßt diesen an der Innenböschung abrutschen.

Sämtliche Deiche an der Nordseeküste haben eine Verdichtung des Untergrundes bewirkt. *„In Gebieten, in denen Torfe am Aufbau erheblich beteiligt sind, ist die Tragfähigkeit ständig gewachsen. Eine Neubedeichung auf demselben, nicht vorverdichteten Boden würde in den meisten Fällen die Bruchlast überschreiten. In Gebieten mit weichem Klei erfordern die Setzungen unter der jetzt vorhandenen Auflast Zeiträume, die Jahrhunderte und Jahrtausende umfassen. An verschiedenen Stellen, zum Beispiel auf Pellworm und Föhr, stellt die heute erforderliche Deichhöhe die äußerste Belastungsgrenze dar“* [DITTMER (13)]. DITTMER folgert daraus, daß sich die Deiche nicht beliebig erhöhen lassen, *„ohne daß die Gefahr eines spontanen Versinkens ganzer Deichstrecken besteht“*.

Daß der Bestand der Deiche gefährdet ist, sobald die Grenze der zulässigen Belastung erreicht oder überschritten wird, erläutert auch SOMMERMEIER (55): von dem Elbdeich vor der Wilstermarsch versanken einzelne Strecken in den Jahren 1792 und 1867 *„nach Ausführung größerer Deichverstärkungen“*. Diese Strecken sind dort heute noch an den aufgequollenen Bodenmassen (auf der Innenseite der Deiche) zu erkennen.

In den Niederlanden schenkt man den Sackungserscheinungen insbesondere seit der Sturmflutkatastrophe 1953 erhöhte Aufmerksamkeit. VAN VEEN (61, 62) vertritt die Ansicht, daß man nicht viel von Deichsackungen weiß und daß deshalb Untersuchungen über Deichsackungen eingeleitet werden sollten. Die DELTAKOMMISSION hat sich der Ansicht angeschlossen und die nötigen Empfehlungen in dieser Richtung gegeben (31).

Für den praktischen Deichbau ist zunächst hinsichtlich der Tragfähigkeit des Untergrundes festzustellen, daß die Deiche nicht beliebig hoch aufgeführt werden können. Man muß also ein Überschwappen von Wellen in Kauf nehmen und deshalb Bauformen und Bauweisen wählen,

die ein Überschwappen von Wellen zulassen. Die Kenntnisse über die Zusammensetzung des verfügbaren Bodens und seines Verhaltens bei statischen und dynamischen Belastungen werden durch Baugrunduntersuchungen gewonnen, „deren Kosten in einem winzigen Verhältnis zu den Gesamtbaukosten stehen und auf Grund besserer Planung und vermeidbarer Fehlschläge vielfachen Gewinn bringen“ [DITTMER (13)].

3. Deichhöhe

Die Ermittlung der Sollhöhe spielte bei der Festsetzung des Besticks für einen Landeschutzdeich von jeher die Hauptrolle. Das Ziel, welches bisher bei der Wahl der Deichhöhe angestrebt wurde, war keineswegs einheitlich. Hierzu zwei Beispiele: Nach SCHEFFER (49) ist um die Mitte des vorigen Jahrhunderts bereits die Wahrscheinlichkeit des Wellenüberlaufs bei der Ausbildung der Deichquerschnitte nicht ausgeschlossen worden. HINRICHS (17) forderte 1931 dagegen, „die Deiche müssen so hoch sein, daß auch die höchsten Sturmflutwellen nicht darüber hinweggehen, denn diese würden deren Krone und die durchweg steile Innenböschung noch beschädigen, daher zu Deichbrüchen Anlaß geben.“

Nach der Februarflut 1949 begann die Suche nach dem „höchstmöglichen“ Wasserstand. Die von SCHELLING (50) empfohlenen Sturmflutwasserstände dienten vom Jahre 1951 an als Richtmaße für die vordringlich zu erhöhenden Landesschutzdeiche. Neuere Untersuchungen von HUNDT (19) führten zu der Erkenntnis, daß absolut sichere Maße für die höchste Sturmflut an den schleswig-holsteinischen Deichen nicht angegeben werden können. Die von HUNDT ermittelten „maßgebenden“ Sturmflutwasserstände fußen auf eigenen Studien im niederländischen Katastrophengebiet, auf Modellversuchen, auf zahlreichen in- und ausländischen Veröffentlichungen der Ozeanographie, Meteorologie und Hydrologie und auf Empfehlungen des „Küstenausschusses Nord- und Ostsee“.

Der für einen Ort „maßgebende“ Sturmflutwasserstand soll danach folgende Bedingungen erfüllen:

1. Er darf durchschnittlich nur einmal in hundert Jahren erreicht oder überschritten werden.
2. Er darf nicht niedriger liegen als der Sturmflutscheitel vom 3./4. Februar 1825 bei Berücksichtigung des säkularen Anstiegs der Wasserstände und der Raumveränderungen im Küstengebiet.
3. Er soll etwa der Summe aus dem höchsten vorausberechneten Springtidehochwasser und dem bisher beobachteten höchsten Windstau entsprechen und soll
4. bis zum Jahre 2000 Gültigkeit haben.

Es werden danach Sturmflutwasserstände erwartet für

Husum:	5,9 m über NN oder 4,4 m über MThw ⁴⁾
Tönning:	5,6 m „ „ „ 4,1 m „ „
Büsum:	5,3 m „ „ „ 3,8 m „ „
Glückstadt:	5,6 m „ „ „ 4,2 m „ „
Nordfeld (Eider):	6,9 m „ „ „ 5,1 m „ „

Nach diesen Richtzahlen lassen sich durch Bezugsverfahren die entsprechenden Werte für die übrigen Orte oder Deichabschnitte bestimmen.

Bei der Wahl der Deichhöhe darf nicht der maßgebende Sturmflutwasserstand (Ruhespiegel) allein zugrundegelegt werden, sondern es muß noch ein weiterer Betrag für den Wellenauflauf hinzugerechnet werden. Als Wellenauflauf gilt der lotrecht gemessene Höhenunterschied zwischen dem an der Deichböschung aufgelaufenen höchsten Wellenscheitel und dem Ruhewasserspiegel. Von HUNDT (19) wurden hierfür folgende Werte mitgeteilt:

für die nordfriesischen Festlandsdeiche im Mittel	2,8 m
für die Westdeiche der Inseln Nordstrand und Pellworm	4,0 m
für die Ostdeiche der Insel Nordstrand	2,0 m

⁴⁾ MThw der Jahresreihe 1941/50.

für die Ostdeiche der Insel Pellworm	2,8 m
für den Deich westlich Büsum	3,5 m
für den Deich bei Friedrichskoogspitze	3,2 m
für den Elbdeich von Scheelenkuhlen bis Hollerwettern	2,6 m
für das östliche Ufer der Störmündung bei Ivenfleth	2,4 m
für den Elbdeich von Kollmar bis Bielenberg	2,1 m

Diese Werte stellen die bis jetzt genaueste Grundlage für allgemeine und besondere Planungen an Landesschutzdeichen in Schleswig-Holstein sowie für die Neufestsetzung des Deichbesticks dar.

Wie das erforderliche Maß für die Wahl der Deichhöhe in den Niederlanden und in England beurteilt wird, ist einer Mitteilung von SANGSTER (48) über die Nordsee-Flut-Konferenz zu entnehmen. Danach hält es DOBBIE (England) für richtiger, ein gewisses Überfluten der Deichkrone durch auflaufende Wellen bei besonderen Maßnahmen für Krone und Innenböschung zuzulassen, als die Deiche besonders hoch zu machen. Nach VER LOREN VAN THEMAAT (48) und VALKEN (60) (Niederlande) wird die Höhe für neue Deiche so gewählt, daß bei ungünstigsten Verhältnissen schätzungsweise 2% der Wellen über die Krone schwappen. Der Bericht des DEPARTMENTAL COMMITTEE ON COASTAL FLOODING (63)⁵⁾ gibt die Empfehlung für die englische Küste, die höchste von der öffentlichen Hand festzusetzende Schutznorm nach der Sturmflut von 1953 zu bemessen und unter gewissen Bedingungen höhere oder geringere Normen anzunehmen.

Das Ergebnis der angestellten Untersuchungen bedeutet für unsere Deichbaupraxis, daß eine obere Grenze der Sturmflutwasserstände und damit auch die von der Wassertiefe abhängigen höchsten Wellenauflaufwerte nicht ausfindig gemacht werden können. Man kann aus diesen Gründen einem Überschwappen der Wellen bei außergewöhnlich hohen Sturmfluten nicht mit Sicherheit entgegentreten und muß dieser Tatsache bei der Querschnittsgestaltung Rechnung tragen. Die Krone des Landesschutzdeiches muß auf jeden Fall höher liegen als der maßgebende Sturmflutwasserstand für den entsprechenden Deichabschnitt, um ein Überströmen des Deiches auszuschließen. Es sollte angestrebt werden, die Deichkrone so hoch zu legen, daß bei einer außergewöhnlichen Sturmflut keine oder möglichst wenige Wellen hinüberschwappen können. Je niedriger die Deichkrone gewählt wird, desto sorgfältiger sind die Vorkehrungen für eine unschädliche Ableitung der Schwappwellen an der Innenböschung zu treffen.

4. Außenböschung

Seit Beginn der Deichgeschichte hat es Schardeiche gegeben. Sie erforderten stets besonders sorgfältige Unterhaltungsarbeiten. Das Vorland wurde nach und nach vom Meere zerstört und fortgeräumt, so daß der Deichfuß schließlich unmittelbar an das Watt oder an einen Strom grenzte und einer besonderen Sicherung bedurfte. Die Schutzwerke am Deichfuß (meist Längswerke) wurden nun bei jeder Flut, das heißt täglich zweimal, mehrere Stunden lang gespült.

Etwa seit 1400 ist der sogenannte Stack- oder Bollwerksdeich bekannt. Dieser bestand aus eingegrabenen, im Deichkörper verankerten Pfählen, gegen die dann Bretter und dahinter Grassoden als Dichtung gebracht wurden. Die Bretterwand ragte schließlich etwa 1,5 bis 3,0 m über das Watt hinaus. Eine ausführliche Beschreibung der „Holzungen“ befindet sich bei BRAHMS (3). Das Bollwerk trug sehr dazu bei, die Brandung hier zu verstärken und das Watt beschleunigt zu vertiefen. Es ist verständlich, daß die Lebensdauer solcher Anlagen insbesondere unter der Wirkung von Sturmfluten nicht groß sein konnte und daß die Wehrfähigkeit auf manchen Strecken als völlig unzureichend bezeichnet werden mußte. Der unerhörte Bedarf an Holz führte in Schleswig-Holstein zu einer Verminderung des Waldbestandes, der um 1800 nur noch etwa 6% der Bodenfläche betrug (gegenüber rund 8% heute). Nach MÜLLER-FISCHER (34) wurde das Holz für diesen Zweck zeitweilig sogar aus Skandinavien eingeführt.

⁵⁾ Vgl. den Auszug in diesem Heft.

In den Sturmflutjahren 1791—94 war der Bedarf an Holz für die Unterhaltung der Bohlwerke besonders groß. Um unabhängig von der kostspieligen Lieferung zu werden, führte der Deichinspektor SIEVERS nach einem Bericht von v. CHRISTENSEN (7) an der Westküste den „Bermedeich“ ein. Die steile Wand wurde durch eine etwa 1:7 geneigte Böschung ersetzt, die mit Soden abgedeckt und mit Stroh bestickt werden mußte. Man hatte so zweifellos eine Verbesserung erreicht, da die Angriffskraft der Wellen an der flachen Böschung stark gebremst wurde. Diese Bermedeiche, auch „Lekdeiche“ genannt, haben sich an einzelnen Stellen bis in die Gegenwart behauptet. Als holländische Deichbauer vor und nach der großen Flut von 1634 in Schleswig-Holstein tätig waren (ROLLWAGEN, BECKER, LEEGHWATER und andere), hatten sie schon die Stackdeiche abgelehnt und im Rahmen ihres Einflußbereiches auf die Ausbildung flacher Außenböschungen hinzuwirken begonnen.

Es hat geraume Zeit gedauert, bis die Stackdeiche vollständig abgelöst wurden. Besonders lange hielt man auf der Insel Nordstrand an den „Holzdeichen“ fest, nach MÜLLER-FISCHER (34) auch noch um die Mitte des 19. Jahrhunderts, als auf der Nachbarinsel Pellworm bereits mit dem Bau von Steindecken begonnen wurde.



Abb. 7
Zuiderzee. Beschädigte
Außenböschung am Ab-
schlußdamm
(vgl. S. 164)

Aufn. PETERSEN, 4. 7. 1953

Auch die strohbestickten Bermedeiche hatten ihre Mängel. Die Bestickung, die zweimal im Jahr ausgeführt werden mußte, wurde zu teuer in der Unterhaltung. Die landwirtschaftlichen Betriebe mußten sich wegen des enormen Bedarfs an Stroh zum Teil auf reinen Ackerbau umstellen⁶⁾.

Die Bermedeiche sind schließlich von den wieder etwas steileren Steindeckwerken abgelöst worden, die bei der Herstellung zwar höhere Kosten erfordern, in der Unterhaltung aber wesentlich wirtschaftlicher sind und dem Deich eine größere Sicherheit geben. Die Berme liegt dabei höher und ist flacher ausgebildet (etwa 1:10); sie schließt nach HINRICHS (17) mit 0,90 m, nach LAFRENZ (26) bis 1,50 m über MThw an das Deckwerk an. KREY (25) erwähnt, daß sich an Stellen mit sehr starkem Wellenangriff Höhen von 3,00 bis 3,50 m über MThw „als ausreichend erwiesen“ haben.

Die in der Zeit von 1923 bis 1938 an der schleswig-holsteinischen Westküste neu gebauten Seedeiche (83,8 km) haben sämtlich flache Außenböschungen mit zunehmender Neigung des Böschungswinkels erhalten. Aus dem Vorland steigen sie zunächst etwa mit 1:10 an, gehen in

⁶⁾ Größenordnung des Strohbedarfs: Für 100 km Deichlänge und 10 m Bestickbreite ergibt sich ein Jahresbedarf an Langstroh von 2 bis 2,5 Mio. kg. Das entspricht bei einem Ertrag von 15 dz/ha um 1800 einer Ackerfläche von 1600 ha, bei einem heutigen Ertrag von 40 dz/ha einer Ackerfläche von 600 ha.

1 : 8, 1 : 5 bis 1 : 3 oder in 1 : 6 bis 1 : 3,5 und ähnliche Böschungsneigungen über, wie Abbildungen bei HINRICHS (17), LORENZEN (27), BOTHMANN (2) und anderen zeigen. Für eine Änderung dieser Form besteht keine Veranlassung, wenn etwas Vorland oder die übliche breite und hohe Außenberme vorhanden ist. Auch die Stabilität des flach geneigten Deichkörpers ist hinreichend gewährleistet, sofern die Deichhaut sorgfältig gepflegt wird. An der langen flachen Böschung findet eine gute Abschwächung der Wellenenergie statt. Die Außenböschungen der Flußdeiche sind im allgemeinen steiler, soweit keine wesentliche Wellentätigkeit zu erwarten ist.

In den Niederlanden findet man auch Außenböschungen mit nach oben abnehmender Neigung des Böschungswinkels, zum Beispiel an dem der Nordsee zugewendeten, 1932 gebauten Zuiderzee-Damm. Fast die gesamte Böschung wurde mit schwerem Steinpflaster abgedeckt. In der Zone, in der man den größten Wellenangriff erwartete, erhielt die Böschung ein außergewöhnlich starkes Pflaster aus belgischen Basaltsteinen (je bis zu 750 kg Gewicht). Während der Februarflut 1953 schwappten die Wellen über die Dammkrone (+ 7,50 m NAP) hinweg. Die aus dem Pflaster abgehobenen schweren Blöcke können wir als unmißverständliche Zeugen für die dort wirksam gewesenen Kräfte ansprechen. Die Blöcke waren vereinzelt hinter die Dammkrone gespült worden! Vor dem Zuiderzee-Damm befindet sich kein Anwachs. Der Fuß des Dammes liegt scharf vor offenem Wasser von rund 4 m Tiefe (Abb. 7 auf S. 163). Deckwerke werden aus unbehauenen Findlingen, Basaltsäulen, Granitquadern, Beton-Formsteinen, aus unregelmäßigem Setzpack, aus Ziegelmauerwerk, Betonplatten und neuerdings aus mannigfachen Bitumendecken hergestellt. Die unterschiedlichen Eigenschaften der Baustoffe und die noch zu erwartenden Neuentwicklungen durch die Baustoffindustrie lassen ein weites Feld für Erprobungen, Kombinationen und wirtschaftliche Überlegungen offen.

Es kann nicht Aufgabe der vorliegenden Arbeit sein, die Entwicklung von Deckwerken im einzelnen weiter zu behandeln. Wir beschränken uns darauf, die Faktoren anzugeben, die bei der Planung von Fußsicherungen vor scharf liegenden Landesschutzdeichen aus hydrodynamischen Gründen angestrebt werden sollten:

- a) Breite der Außenberme 10 m oder mehr,
- b) Höhe der Außenberme am Deckwerk mindestens 1,20 m über MThw,
- c) Neigung der Deckwerke nicht steiler als 1:3, möglichst flacher,
- d) beim Fehlen von Vorland wirken Maßnahmen zur Förderung des Anwachsens auf dem Watt einer Vertiefung am Deichfuß entgegen.
- e) beim Fehlen von Vorland und Watt sind stromabweisende Bauwerke unentbehrlich.
- f) Je schmaler die Berme ist und je höher das Deckwerk an einer Deichböschung angeordnet wird, desto mehr ist mit einem hohen Wellenauflauf zu rechnen. Ein Teil des Wellenaufbaus kann durch rauhe Oberflächengestaltung (Vergrößerung des Reibungsfaktors) gebremst und abgefangen werden.

Auf die Bedeutung der Landgewinnungsarbeiten als Küstenschutzmaßnahmen wies bereits BRAHMS (3) hin. Neuerdings erläuterte und begründete sie BOTHMANN (2) ausführlich. Wir werden in Abschnitt VI 2 auf diese Frage zurückkommen.

5. Deichkrone

In früheren Jahrhunderten wurde die Deichkrone oft in einer Breite von 3 bis 8 m angeordnet. Sie diente dann zugleich als Verkehrsweg, vor allem, wenn die Kleiwege in der Marsch während der Wintermonate grundlos und unpassierbar geworden waren. Nach dem Bau von befestigten Wegen, Chausseen und Straßen in der Marsch entfiel dieses Bedürfnis für die See-deiche. Man beschränkte sich etwa von der Mitte des vorigen Jahrhunderts ab auf eine Breite der Deichkrone von 2,50 m, die für den Fuhrwerksverkehr in einer Richtung bei Unterhaltungsarbeiten am Deich ausreicht. Ein Wenden auf der Deichkrone ist dann zwar nicht mehr möglich. Nach dem Verzicht auf eine größere Kronenbreite wurde die nächste Deicherhöhung mit verhältnismäßig geringem Aufwand durch Aufsetzen einer Kappe gelöst.

In den Niederlanden wurde die breite Deichkrone in vielen Fällen beibehalten und den



Abb. 8
Schouwen, westlich des
Deichbruchs Schelphoek.
Asphaltstraße auf der
Deichkrone. Rißbildung
infolge beginnender Rut-
schung der Innenböschung

Aufn. PETERSEN, 2. 7. 1953

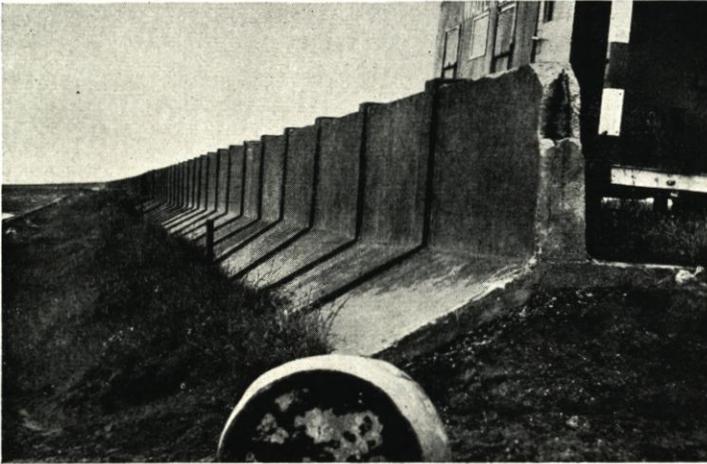


Abb. 9
Schouwen, de Muralt'sche
Deichmauer bei Rengers-
kerke. Mauerhöhe 1,4 m,
steigt bis zur Deichbucht im
Hintergrund auf 1,8 m an.
Oberkante etwa + 6,0 m,
HHW am 1. 2. 1953 etwa
+ 4,3 m. Keine Deich- oder
Mauerbrüche

Aufn. PETERSEN, 2. 7. 1953



Abb. 10
Schouwen, Südennde der
Flauer's Inlaag. Hinter der
Deichmauer keine oder ge-
ringe Schäden. Innenbö-
schung der Deichstrecke
ohne Mauer stark beschä-
digt

Aufn. PETERSEN, 2. 7. 1953

Erfordernissen des modernen Verkehrswesens entsprechend befestigt. Während der Katastrophenflut 1953 haben die dichten und nachgiebigen Asphaltdecken auf der Deichkrone den Deichen einen ausgezeichneten Schutz gegen überschlagende Wellen gegeben (Abb. 8). Abdeckungen mit großen Betonplatten hingegen wurden von VAN NOOTEN (37), KLEIN (24) und anderen als ungeeignet bezeichnet.

Die Breite der Deichkrone konnte in den Niederlanden zum Teil auch beibehalten werden, weil die vor vierzig Jahren als notwendig erkannten Deicherhöhungen mit auf die Deichkrone gesetzten Betonmauern nach DE MURALT erreicht worden waren. SLOET (53, 54) und andere lehnen die Konstruktion völlig ab. Eigene Beobachtungen an den Deichen von Ouwerkerk bis Burgsluis auf Schouwen—Duiveland und am Bathpolder, Kattendijk, Goes'se Sass und Kruiningen in Zuid-Beveland lassen das Urteil als zu hart erscheinen, da manche der besichtigten Deichstrecken mit aufgesetzten Mauern standgehalten haben, während unmittelbar anschließende Abschnitte ohne Mauern zerstört vorgefunden wurden (Abb. 9 u. 10). Die Ursache für die Zerstörungen dürfte in erster Linie darin zu suchen sein, daß die Wellen über die Deiche hinüberschwappten, an sehr steilen Innenböschungen abfließen, den Deich von innen her beschädigten (Abb. 11 u. 12), die Mauern — ebenfalls von innen her — unterhöhlten und diese schließlich zum Einsturz brachten. Könnte das Wasser von der Innenböschung ferngehalten werden, dann blieben die aufgesetzten Mauern erhalten.

Für die schleswig-holsteinischen Landesschutzdeiche kommt die Verwendung von aufgesetzten Betonmauern wegen der zu erwartenden Wellentätigkeit und der Neigung der Deichkrone zu Setzungen nicht in Frage. Ausnahmen könnten als Behelfslösungen nur dort zugelassen werden, wo eine sehr geringe Wellentätigkeit nachzuweisen ist (zum Beispiel in Ortschaften).

6. Innenböschung

Fast sämtliche Beschreibungen von Katastrophen-Sturmfluten enthalten Mitteilungen über Beschädigungen der Seedeich-Innenböschungen. Die Küstenbevölkerung und Chronisten nennen diese Schäden seit Jahrhunderten „Kammstürze“. Nachdem die Wellen einige Zeit über die Deichkrone hinweggeschwappt sind, gerät der Boden infolge Durchnässung irgendwo an der Böschung ins Gleiten, benachbarte Teile verlieren danach ihren Halt und folgen, so daß dort ein Steilhang entsteht. Bei längerem Anhalten des Überschwappens — 14 Stunden lang am 1. Februar 1953 — wird der Querschnitt des Deiches schließlich derart geschwächt, daß die Standsicherheit nicht mehr vorhanden ist [KLEIN (24), BURGER (4) und andere]. Der Deich muß dann brechen — auch bei völlig unbeschädigter Außenböschung.

Diese Erscheinungen konnten an einigen Abschnitten der schleswig-holsteinischen Landesschutzdeiche bei den Oktoberfluten 1936 (Schäden an Innenböschungen ohne Deichbruch, Abb. 2) und in erschütternder Anzahl bei der Überschwemmungskatastrophe 1953 in den Ländern an der südwestlichen Nordsee beobachtet werden (Abb. 11 u. 12).

Kammstürze entstehen, wenn die über die Deiche schwappenden Wassermengen nicht schadloos an den Innenböschungen abgeleitet werden können. Das Böschungsverhältnis beträgt bisher im allgemeinen etwa 1 : 1,5. Bei neueren Deichen ist es bis 1 : 2 erweitert, und bei älteren finden wir Neigungen bis 1 : 1 und vereinzelt auch noch steilere. An diesen Böschungen treten während der Trockenperioden Risse und Spalten auf. Die Bildung einer dichten Grasnarbe und eine systematische Beweidung sind nicht möglich. Deshalb sind hier die besten Voraussetzungen für die Wühl-tätigkeit von Mäusen und Maulwürfen gegeben. Die Schafe treten scharf abgesetzte Pfade und beschädigen oft durch Scheuern an deren Steilrändern die Böschung. Es entstehen dann gelegentlich quadratmetergroße nackte Stufen mit über $\frac{1}{2}$ m hohen senkrechten Wänden. Besonders in der Nähe der unmittelbar hinter dem Deich stehenden Häuser sind solche Schadensstellen zu beobachten. Auch durch das Spielen der Kinder können solche Stellen erweitert werden.

Kammstürze werden auch dann hervorgerufen, wenn der Koog nach einem Deichbruch überschwemmt wird und das Wasser von innen her unmittelbar an den Fuß der Innenböschung



Abb. 11
Schouwen, Cauer's Inlaag.
Abgerutschte Innenböschung.
Deichkrone etwa + 6,3 m. Deich nicht
beweidet, deshalb hochgewachsene
Gräser

Aufn. PETERSEN, 2. 7. 1953



Abb. 12
Schouwen, nördlich Rengerskerk.
Ansicht der zerstörten Innenböschung.
Obere Rutschflächen sollen schon
durch Sturmflut am 1. 2. 1953
vorbereitet sein. Unten Brandungskehle
infolge Überflutung des Polders.
Deichkern aus magerem Ton.
Innenberme nicht sichtbar

Aufn. PETERSEN, 2. 7. 1953



Abb. 13
Schouwen, westlich Zierikzee.
Kolke an der Innenböschung des
Deiches. Innenberme nicht sichtbar

Aufn. HUNDT, 2. 7. 1953

herantritt. Der Deichfuß wird durchweicht, er verliert den Halt, und der Boden der Innenböschung rutscht abwärts.

Über die Vorgänge im Deichkörper bei Sturmfluten ist noch wenig bekannt geworden. Aufschlußreiche Ergebnisse dürften nach Abschluß einer planmäßigen Bearbeitung der zahlreichen Aufschlüsse in den Niederlanden zu erwarten sein.

Unabhängig von diesen Ergebnissen, die voraussichtlich wichtige Hinweise für spezielle Planungen bringen werden, ist festzustellen, daß die Innenböschungen unserer Deiche in Zukunft zur Ableitung von Überlaufwasser hergerichtet werden müssen, wie auch die WAVERLY KOMMISSION (63) für die englischen Deiche vorschlägt. Dies kann durch die Ausführung von flacheren Böschungen und genügend hohen Innenbermen erreicht werden. Dadurch wird auch die Bildung einer dichten Grasnarbe ermöglicht. Es wird empfohlen, die Böschungsneigung im Verhältnis 1:3 oder flacher herzustellen, je nach Art des Deichbodens. Diese Neigung gestattet vielleicht sogar das Beweiden der Böschung mit Großvieh [WENHOLT (66)]. Böschungen 1:2 und steilere werden durch den Weidegang „dauernd beschädigt“, und es kann sich besonders bei Südlagen nur ein spärlicher Graswuchs entwickeln. „Diese Mängel treten bei 1:3 geböschten Deichen nicht mehr auf, wie es bei dem Grohdeich⁷⁾ auf Norderney praktisch erprobt wurde.“ Auf Grund dieser Erfahrungen wurde auch der Störtebeckerdeich in der Leybucht 1947 gebaut. Die Erwartungen hinsichtlich der erreichbaren Deichpflege sind hier zur Zufriedenheit erfüllt worden.

Dort, wo eine Erhöhung des Deiches oder eine Abflachung der Innenböschung aus bestimmten Gründen nicht durchführbar sein sollte, wird entsprechend den holländischen und englischen Forderungen zumindest eine Dränung im Deichfuß eingebaut werden müssen. Nach längeren Regenperioden, die oft mit Sturmzeiten zusammenfallen, sind an vielen Stellen die Innenberme, die Innenböschungen bis weit über 1 m Höhe und die unteren Teile der Deichüberfahrten vollkommen aufgeweicht, so daß man schon beim Darüberhingehen tiefe Fußindrücke hinterläßt. Wie weit an anderen Abschnitten eine größere Stabilität des Böschungsfußes mit Dränungen erzielt werden kann, wird von Fall zu Fall zu prüfen sein. Nach Untersuchungen von ITERSON (20) in den Niederlanden „darf ein frostsicherer Dränungsstrang für das Austreten des Wassers aus dem Deichkörper in Zukunft bei keinem Deich mehr fehlen“. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen COOLING und MARSLAND (48) bei ihren bodenmechanischen Forschungen an den Durchbrüchen von Essex und Kent.

An Deichstrecken, wo nur sehr sandiger Kleiboden zur Abdeckung des Deichkörpers zur Verfügung steht, wird auch die Möglichkeit zu untersuchen sein, ob eine Befestigung der Krone und Innenböschung (etwa mit einer Asphaltdecke) in Frage kommt.

7. Innenberme

Die Aufgaben der Innenberme sind in der Vergangenheit und Gegenwart offenbar nicht immer klar erkannt worden, denn an manchen Deichabschnitten fehlt die Innenberme völlig oder sie ist nur andeutungsweise vorhanden; an andern Stellen (zum Beispiel in tief liegenden alten Kögen) liegt sie auf weiten Strecken so tief, daß bei Überschwemmungen die Berme mit Wasser bedeckt und der Deichfuß von der Innenseite her durchfeuchtet wird. An den Deichen im Katastrophengebiet der Niederlande wurde dieser Nachteil in anschaulicher Weise dargelegt (Abb. 13 u. 14).

Zweifellos ist eine Berme aus Gründen der Standsicherheit und als Zuwegung für die Unterhaltung des Deiches [HINRICHS (17), PFEIFFER (44)] erforderlich. Daraus ergeben sich die Bedingungen für die Ausführung:

Die Innenberme muß trocken gehalten werden. Man hat dies erreicht, wenn die Berme über MThw liegt und ein Gefälle (etwa 1:20) vom Deich zum Rhynschlot hat. In Holland ist sie oft mit einem befestigten Weg versehen (zum Beispiel Asphaltdecke).

⁷⁾ Sanddeich mit geringer Kleidecke.



Abb. 14
Süd-Beveland, Kruininger
Deich an der Westerschelde
(in Sturmlee). Innen-
böschung etwa 1:1, nied-
rige Innenberme
Oberkante der Mauer auf
etwa + 6,2 m, HHW am
1. 2. 1953 etwa + 5,1 m.
Ausbruch der Innen-
böschung. Deichmauer und
Außenböschung in Ord-
nung. Deich nicht beweidet

Aufn. PETERSEN, 3. 7. 1953



Abb. 15
Süd-Beveland im Kruininger
Polder. Unbefestigte
Wege auch bei Ebbe nicht
befahrbar, sie fördern die
Bodenerosion

Aufn. PETERSEN, 3. 7. 1953

Als Breiten für die Innenberme wurden bei den neueren Landesschutzdeichen in Schleswig-Holstein 7 m, in Niedersachsen 10 m gewählt. Nach der Polizeiverordnung von 1938 (45) wird für die Innenbermen der schleswig-holsteinischen Landesschutzdeiche ebenfalls eine Breite von 10 m verlangt.

8. Rhynschlot

Als Rhynschlot bezeichnet man den an der Innenseite des Deiches liegenden Graben, der als Zubehör zum Deich in den zu behandelnden Fragenkomplex einbezogen werden muß. Man findet den Rhynschlot in der Größe eines normalen Parzellengrabens oder eines größeren Vorfluters, aber auch als mehrere Meter tiefe und 25 und mehr Meter breite Rinne oder als „Püttloch“.

Die Abmessungen für den Rhynschlot sollten sich normalerweise *nur* aus den von der Innenböschung des Deiches und der Berme abzuführenden und aussickernden (meist sehr geringen) Wassermengen ergeben.

Ein größerer Vorfluter sollte möglichst nicht mit dem Rhynschlot vereinigt werden. Bei Neueindeichungen ist eine Trennung durchaus möglich, indem der Hauptentwässerungsgraben mindestens 50 m vom inneren Deichfuß entfernt bleibt. Die Verlegung eines Vorfluters dürfte auch bei Deichverstärkungen gelegentlich erreichbar sein.

Die Anordnung der Bodenentnahmestellen für den Bau des Deiches oder für seine Erhöhung und Verstärkung unmittelbar hinter der Binnenberme ist nach den Erfahrungen bei der Sturmflut am 1. 2. 1953 nicht mehr zu vertreten. Die Gesichtspunkte, die HINRICHS (17) für den Bau des Rhynschlotes im Sönke-Nissen-Koog anführte, haben inzwischen an Überzeugungskraft verloren. Dies um so mehr, als HINRICHS die Vor- und Nachteile hauptsächlich auf die damalige Bauausführung bezog. Ein tiefer und breiter Rhynschlot stellt eine Gefahr für die Standsicherheit des Deiches bei außergewöhnlich hohen Sturmfluten dar. Die Entnahme von Boden für den Bau von neuen Landesschutzdeichen sollte grundsätzlich außerhalb des Deiches erfolgen, weil die dabei entstehenden Schächte oder „Püttlöcher“ meist ohne wesentliche zusätzliche Kosten durch die täglichen Fluten wieder aufgefüllt werden. Diese Forderung läßt sich bei Deichverstärkungen nicht immer verwirklichen. Aber dann sollten die Bodenentnahmestellen innen so weit vom Deich entfernt gewählt werden, daß spätere innenseitige Verstärkungen nicht unnötig erschwert werden.

9. Bauwerke in den Landesschutzdeichen

Sämtliche Bauwerke im und am Landesschutzdeich, wie Siele, Schöpfwerke, Schiffahrtsschleusen, Stöpen usw. bedürfen einer besonders sorgfältigen Gründung, Sicherung gegen Um- und Unterläufigkeit sowie Überwachung. Sie stellen als fremde Teile die bei Sturmfluten empfindlichsten Stellen im Deich dar, sofern sie nicht in der Lage sind, die äußersten Beanspruchungen mit Sicherheit aufzufangen. Es ist zwar üblich, die Bauwerke im Deich mit doppelten Verschlüssen zu versehen (Siele mit je einem Stemmtorpaar und einem Schütz, Schleusen mit zwei Sturmflutoren, beziehungsweise Sturmfluttorpaaren). Verwirklicht worden ist dieses Ziel jedoch noch nicht in allen Fällen.

Den Ausführungen von KLEIN (37) ist zu entnehmen, daß in der Provinz Südholland bei allen Kunstbauten des Hauptwasserschutzes ein doppelter Verschuß seit Jahr und Tag gefordert wird, und daß in Südholland alle Schleusen und Siele des Hauptwasserschutzes innerhalb einer Zeitspanne von rund 25 Jahren trocken gelegt werden müssen, um sie kontrollieren zu können. VAN VEEN (14) empfiehlt, man sollte Hebersiele verwenden, wo es möglich ist.

Alle Bauwerke in den schleswig-holsteinischen Landesschutzdeichen sind nunmehr nach den von HUNDT (19) ermittelten „maßgebenden Sturmflutwasserständen“ zu berechnen und zu bemessen. So wird zum Beispiel ein Stöpenverschluß von 3 m Breite, der auf 2 m erhöht werden muß, kaum mit 5 cm starken hölzernen Bohlen ausreichen.

Die Pegel müssen so standsicher aufgeführt werden, daß sie auch bei den höchsten Sturmfluten die zu erwartenden Wasserstände einwandfrei aufzeichnen. Die Meßgeräte sollen in und an standfesten Bauwerken und Bauteilen sicher angebracht und für die Aufzeichnung aller Sturmflutscheitel ausgerüstet sein.

Den Wert der für die Planungen im Deichbau unentbehrlichen Wasserstands- und Wellenbeobachtungen hatte BRAHMS (3) schon 1754 klar erkannt. Er bedauerte, daß ihm nicht die Wasserstände von zwei bis drei Jahrhunderten zur Verfügung standen⁸⁾.

10. Deichpflege

Anlässlich der Deichschau im Frühjahr und Herbst gilt die Aufmerksamkeit der Schaukommissionen auch der Bedeckung des Deiches. Sie bedarf einer sorgfältigen Pflege. Die Pflege

⁸⁾ Es ist ein Zeichen von Weitsicht, wenn BRAHMS einen „Flutmesser“ ausführlich beschreibt, erläutert und abbildet, der mit unseren heutigen Tassenpegeln (Grenzwertpegeln) manche Ähnlichkeit aufweist.

der Landesschutzdeiche umfaßt für Schleswig-Holstein nach der Polizeiverordnung von 1938 über das Deich- und Wasserwesen im Marschengebiet (45) folgende Tätigkeiten:

„Anschwemmungen (Treibsel) sind innerhalb von 5 Tagen in Haufen zu setzen und nach Abtrocknen der Deiche unverzüglich zu entfernen;
Disteln, Brennesseln, Sandgräser und sonstiges Unkraut sind mindestens zweimal im Jahr, das erstemal bis zum 24. Juni, das zweitemal bis zum 24. August, zu mähen; tiefwurzelndes Unkraut ist auszustechen; die Deichpolizei kann je nach den örtlichen Verhältnissen die Fristen verkürzen oder verlängern;
Beschädigungen des Deiches bzw. der Grasnarbe, die durch Fluten, Eisgang, Weiden des Viehs oder sonstige Einflüsse verursacht sind, sind unverzüglich zu beseitigen;
Maulwürfe, Mäuse und andere für den Deich schädliche Tiere sind durch geeignete Maßnahmen zu fangen und zu töten; Maulwurfshügel sind unverzüglich einzuebnen.“

Das Fangen und Töten von Mäusen dürfte so lange kaum befriedigend gelingen, als die Grasnarbe nicht sehr kurz gehalten wird. Die vorgenannte Verordnung untersagt „das Mähen der Deiche und Bermen“ mit Recht. Die Forderung, dauernd eine geschlossene, dichte und kurze Grasnarbe an den Landesschutzdeichen zu erhalten, kann nicht nachdrücklich genug betont werden. Wie nachgewiesen werden konnte, bezieht sich die Forderung auf die gesamte Grasnarbe des Deiches, also auch auf die Innenböschung. Die erwünschte Vegetationsdecke wird durch Herstellung von möglichst flachen Böschungen und durch ein systematisches Beweiden des Deiches mit Schafen erreicht.

Eine zeitgemäße und biologisch begründete Deichpflege führte zu der Auswahl standortgemäßer Grassorten als Saatgut für Deichkrone, Innenböschung und Innenberme [WOHLENBERG (71)]. Diese Flächen brauchen bei neuen Deichen und bei Deichverstärkungen nicht mit den kostbaren Soden abgedeckt zu werden. Die Zusammensetzung der Gräser ergibt sich aus dem Zustand des Mutterbodens und der Lage der Ansaatflächen zur Sonne.

IV. Dünen als Schutz des Landes

Die Dünen bei St. Peter bilden auf einer kurzen Strecke den alleinigen Schutz der Landschaft Eiderstedt gegen Überschwemmungen bei Sturmfluten. Hier drang das Nordseewasser während der Flut am 2./3. Februar 1825 ein und ergoß sich über rund 4000 ha Marschland [SALCHOW (47)].

Der Bestand einer Düne am Strand ist bekanntlich in starkem Maße von der Häufigkeit und Dauer hoher Sturmfluten abhängig. Der Nachschub an Sand erfolgt — über die Länge der Zeit gesehen — in geringen Mengen. Bei den Geländestreifen, die bei einer Sturmflut von einer Düne abgetragen werden können, handelt es sich bisweilen um Beträge von mehreren Metern. Im Jahre 1926 mußten die Dünen der Insel Trischen vor der Dithmarscher Küste in einer Sturmnacht einen Streifen von 25 m Breite hergeben [WOHLENBERG (72)]. An der süd-holländischen Küste wurde der Dünenfuß in der Nacht vom 31. Januar zum 1. Februar 1953 nach SCHEPERS (51) überall mindestens um 10 m, an den meisten Strecken um mehr als 15 m und stellenweise um 25 m landeinwärts verschoben. An den Dünen der ostfriesischen Inseln sind ähnliche Maße beobachtet worden.

Mit den Werten der vorstehenden Größenordnung wird man auch in Zukunft für die Dünen in Schleswig-Holstein zu rechnen haben. Eine Unterschätzung der hinter den Dünen und teilweise vor den Dünen bei St. Peter errichteten Deiche mit Zubehör und des dazwischen gelegenen Dünengebietes könnte bei einer außergewöhnlich hohen Sturmflut abermals zu einer Überraschung führen.

Das breite Vorland, das vor den Dünen von St. Peter liegt, ist dank seiner spezifischen Vegetationszusammensetzung für den Dünenschutz von besonderem Wert.

V. Sturmflutwarndienst und Katastrophenschutz

Nach der Sturmflutkatastrophe 1953 wurden in den betroffenen Ländern England (40, 41, 63), Belgien (39) und in den Niederlanden nach BLIEMOND und VAN NOOTEN (37), nach SCHEPERS (51) und anderen die Vor- und Nachteile der bestehenden Formen der Selbstverwaltung und der Aufsichtsorgane im Hinblick auf den Deichschutz sowie die Notwendigkeit zur Erweiterung des Sturmflutwarndienstes eingehend erörtert.

Für die schleswig-holsteinischen Verhältnisse besteht zur Zeit keine Veranlassung, eine grundlegende Reform anzustreben. Der Sturmflutwarndienst tritt bei uns seit dreißig Jahren bei jeder Sturmflut in Tätigkeit, welche Wasserstände von einem Meter über MThw und höher erwarten läßt oder erreicht. Die Warnungen kommen in einer Arbeitsgemeinschaft zustande unter der verantwortlichen Leitung des Deutschen Hydrographischen Instituts in Hamburg und unter Beteiligung des Seewetteramtes in Hamburg, der Marschenbauämter Husum und Heide, der Wasser- und Schifffahrtsämter Tönning und Glückstadt, mehrerer Dienststellen an der niedersächsischen Küste und der Schifffahrt. Über die Entwicklung des deutschen Sturmflutwarndienstes berichtete TOMCZAK (59) anlässlich des dreißigjährigen Bestehens. Darüber hinaus gibt es eine Katastrophenschutzordnung, die eine erhöhte Bereitschaft auslöst, sobald eine Hochwassermeldung einen Wasserstand von 2,50 m oder mehr über MThw voraussagt und, falls die Voraussage nicht erfolgen sollte, wenn der Wasserstand 2,50 m über MThw an den Pegeln Husum, Büsum und Glückstadt erreicht oder überschritten wird. Voraussetzung für den erwünschten Verlauf des Sturmflutwarndienstes und des Katastrophenschutzes ist die Sicherung der Nachrichtenmittel gegen Versagen bei Sturmfluten. Da Strom- und Fernsprechoberleitungen dabei häufig beschädigt und außer Betrieb gesetzt wurden, sind im Boden verlegte Kabel den Oberleitungen vorzuziehen. Kabel sollten nicht im Seedeich angeordnet werden.

VI. Möglichkeiten zur Entlastung des Landesschutzdeiches

Die Überschwemmungskatastrophe am 1. Februar 1953 in den Ländern an der südwestlichen Nordsee zeigte mit aller Deutlichkeit, wie weit sich eine Flut ausbreiten kann, wenn die Aufgabe der Wasserwehr auf eine einzige Deichlinie beschränkt bleibt.

Wie nachgewiesen werden konnte, war die Suche nach der „höchstmöglichen“ Sturmfluthöhe vergeblich. Aber auch die für erforderlich gehaltene, maßgebende Sturmfluthöhe eines Landesschutzdeiches ist wegen des Bodenaufbaues nicht überall erreichbar, so daß ein Überlaufen eines Teiles der Wellen in den hinter den Deich gelegenen Koog nicht ausgeschlossen ist.

Überschwemmungen können auch künstlich, z. B. aus militärischen Gründen veranlaßt werden. Seit Jahrhunderten sind bis in die jüngste Zeit zahlreiche Ereignisse dieser Art in die Geschichte der Marschen eingegangen.

Es werden deshalb im folgenden die Möglichkeiten zur Entlastung der Hauptverteidigungslinie sowohl im rückwärtigen Gebiet als auch auf der Wasserseite untersucht.

1. Entlastung des Landesschutzdeiches auf der Landseite

Wo ein neuer Landesschutzdeich vor einem früheren Schaudcich liegt, ist dieser den Beanspruchungen bei Sturmfluten nicht mehr ausgesetzt — er wurde zum Mitteldeich oder Reserve-deich. Der Mitteldeich tritt als Wehranlage nur im Katastrophenfall in Funktion. Die Bedeutung der Mitteldeiche für die Sicherheit der Marschen ist bei der Küstenbevölkerung seit langem angezweifelt oder gar nicht erkannt worden, obwohl sie in alten und neuen Verordnungen klar und unmißverständlich zum Ausdruck kam. Man hat die Mitteldeiche für den Straßenbau abgetragen, um die erforderliche Breite zu gewinnen, man verwendete den Boden zum Bau von Warfen für trockene und sichere Wohnplätze, zur Erhöhung und Verstärkung von Schaudcichs,

zum Verfüllen von Senken und Gräben auf benachbarten Grundstücken, zur Verbesserung der Äcker und Weiden, es wurden auf Mitteldeichen Häuser gebaut, Gärten angelegt und anderes mehr. Auf weiten Strecken sind sie ganz abgetragen worden. Das wird zum Beispiel auch für die Mitteldeiche des Polders Schouwen vermutet (38). Gegen den Abtrag eines Schlafdeiches (der dritten Deichlinie hinter einem Landesschutzdeich und einem Mitteldeich) wird im allgemeinen nichts einzuwenden sein, sofern die Wehrfähigkeit der zweiten Deichlinie gewährleistet ist.

Nach der schleswig-holsteinischen Polizeiverordnung für das Deich- und Wasserwesen (45) sind Mitteldeiche *„in wehrhaftem Zustande zu erhalten. Abgrabungen, Durchstiche, Errichtung von Baulichkeiten jeder Art bedürfen der Genehmigung des Landrats und des staatlichen Deichinspektors. Die Genehmigung zu Neu- und Wiederaufbauten kann mit der Auflage verbunden werden, daß die Gebäude ohne Entschädigung zu entfernen sind, wenn es im Deichinteresse von den zuständigen Behörden gefordert wird. Mitteldeiche sind nach Bedarf, d. h. nach pflichtmäßigem Ermessen der Deichaufsichtsorgane, zu schauen.“* Sinngemäß ist diese Bestimmung schon im „Allgemeinen Deichreglement“ von 1803 enthalten (33).

Auf den großen Wert, welcher der Unterhaltung oder Schaffung von Mitteldeichen beizumessen ist, haben die niederländische DELTAKOMMISSION (31) und die englische WAVERLY-KOMMISSION (63) erst vor kurzem nachdrücklich hingewiesen. Während der Sturmflut im Februar 1953 bewährten sich vorhandene Mitteldeiche vorzüglich, indem sie die Überschwemmungen begrenzten. Später mußten zum Schließen der Deichlücken in den überschwemmten Poldern, wo keine Mitteldeiche vorhanden waren, erst neue Ringdeiche hergestellt werden. Die im Rhythmus der Gezeiten durch eine Deichlücke ein- und ausströmenden Wassermengen wurden auf diese Weise verringert. Auf der Insel Goeree-Overflakkee wird das Deichsystem jetzt grundsätzlich so erneuert, daß der Kern der Insel durch einen Ringdeich als Innendeich eingefaßt wird, während die gesamte Insel von einem höheren Außendeichring umschlossen wird. Der Innenring ist wieder durch verschiedene Innendeiche unterteilt, und zwischen Innen- und Außenring werden in bestimmten Abständen Schenkeldeiche gebaut.

Der schleswig-holsteinische Landesschutzdeich erstreckt sich über rund 535 km, davon rechnen 155 km für die Niederelbe, 60 km für die Untereider und 320 km für die Westküste mit den nordfriesischen Inseln. Auf rund 120 km ist eine zweite Deichlinie mit Schenkeldeichen vorhanden, die als wehrfähig zu bezeichnen sind oder mit geringen Mitteln entsprechend hergerichtet werden können. Als geringste Höhe für einen Mitteldeich sollte das Maß 1,0 m über MThw nicht unterschritten werden. Die Fläche zwischen dem Schaudedeich und der zweiten Deichlinie umfaßt 15 000 ha in 25 Kögen oder im Durchschnitt 600 ha/Koog.

Die Bauwerke im Mitteldeich wie zum Beispiel Siele, Durchlässe, Stöpen bedürfen ebenfalls einer sorgfältigen Unterhaltung und Überwachung. Es muß sichergestellt sein, daß die Öffnungen im Falle einer Überschwemmung geschlossen werden können, um eine weitere Ausbreitung der Flut zu verhindern. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein von Schützen, das Bereithalten von Dammbalken und eine Regelung für die Bedienung der Anlagen.

Bei der Überschwemmung in den Niederlanden hat sich weiter gezeigt, daß unbefestigte Wege eine Prielbildung im Polder begünstigen können (Abb. 15 auf S. 169). Nach dem Deichbruch waren sie nicht mehr befahrbar. Auf den befestigten Straßen dagegen war der Verkehr bei Ebbe immer (auch für Hubschrauber) und bis zu einem bestimmten Grade auch dann noch möglich, wenn die Flut bereits die Fahrbahn bedeckte.

Für unsere Verhältnisse geht die Lehre aus diesen Erfahrungen dahin, daß die Wege hinter dem Landesschutzdeich dort, wo es wirtschaftlich gerechtfertigt ist, so vollständig wie möglich befestigt werden sollten.

2. Entlastung des Landesschutzdeiches auf der Wasserseite

Außerhalb des Landesschutzdeiches oder an der Wasserseite können Sommerköge, Anwachgebiete (Vorland), hohe Watten, vorgelagerte Inseln und Halligen, Dämme sowie Neueindeichungen eine Entlastung bewirken.

Der Deich eines Sommerkooges wird von vornherein als Überlaufdeich mit flacher Innenböschung (meist 1 : 4) und mit einer Kronenhöhe von 2,20 m und mehr über MThw gebaut. Dadurch wird am Landesschutzdeich die Wellenenergie weitgehend abgeschwächt und der Wellenaufschlag verringert. Mitteilungen über Erfahrungen beim Bau und bei der Unterhaltung von Sommerdeichen, bei Entwässerungsanlagen und bei der Behandlung der Sommerköge liegen von HINRICHS (17) für den Bezirk von der deutsch-dänischen Grenze bis Husum und von LAFRENZ (26) für den Bezirk von Husum bis zum Nord-Ostsee-Kanal vor. In Nordfriesland befinden sich 9 km, vor der Küste Eiderstedts und Dithmarschens 36,4 km der Schaudedeiche im Schutze von Sommerdeichen.

Auch die über MThw liegenden Vorlandflächen und die bei normaler Flut nur wenige Stunden mit Wasser bedeckten hohen Watten spielen für die Bildung und Verformung der Wellen und infolgedessen auch für das Maß des Wellenaufschlags am Deich eine wichtige Rolle; denn letzterer ist in starkem Maße von der Wassertiefe vor dem Deich abhängig. Je höher und breiter das Vorland ist, desto geringer ist die Wellenhöhe. Die von TELLEGEN (57) mitgeteilte Vermutung, daß sich das Vorland bei hohen Fluten nachteilig auswirken könnte, steht dazu scheinbar in Widerspruch. Ein breites Watt und Vorland verursacht eine Erhöhung des Windstaues; die Wellentätigkeit wird jedoch schwächer. Aus Modellversuchen ging hervor, daß bereits ein schmaler Vorlandgürtel von etwa hundert Metern Breite den Wellenaufschlag entscheidend dämpft [HENSEN (16)].

Inseln, Halligen und Dämme im Wattengebiet stellen zusammen mit den Außensänden, die bei MThw nicht überflutet werden, vorgeschobene Wellenbrecher dar. Auf die Erhaltung dieser Landesteile und Bauwerke darf aus Gründen des Küstenschutzes nicht verzichtet werden. Mit Ausnahme der Außensände sind sie seit langem bei den generellen Planungen an der Westküste entsprechend berücksichtigt worden.

Die Aufgaben der vor dem Landesschutzdeich gelegenen Gebiete für den Küstenschutz im erweiterten Sinne hat BOTHMANN (2) richtungweisend herausgestellt: *„Es wird zukünftig mehr darauf ankommen, den Küstenschutz nicht nur als rein örtliche Verteidigung einer Ufer- oder Deichlinie zu betreiben, sondern das Augenmerk dabei auch auf die Vorgänge im Bereich des vorgelagerten Wattenmeeres zu richten.“* Es wird gefordert, daß die Landgewinnungsarbeit sich nicht auf die Strecken des günstigsten Anwuchses beschränken darf, sondern sie *„ist vielfach wichtiger an solchen gefährdeten Stellen der Küste, wo sie ohne Aussicht auf schnelle Erfolge etwas mehr mit Gewalt betrieben werden muß.“* Ähnliche Wirkungen versprach sich HINRICHS (17) von den Landgewinnungswerken: *„und es wird die Zeit kommen, wo auch vor Steindeichen neues Land entsteht“.*

Zu Beginn des Jahres 1954 betrug der Bestand an Busch- und Erdlahnungen vor der schleswig-holsteinischen Westküste rund 920 km oder im Durchschnitt rund 3 km je km Deichlänge (ohne Eider- und Elbdeiche). Etwa 150 km oder 28 % der gesamten Länge des Landesschutzdeiches liegen schar, so daß sie mit Deckwerken geschützt werden. Nach WEINNOLDT und SUHR (64) ist die stetige Fortsetzung der Landgewinnungsarbeiten *„im Interesse der Sicherheit der schleswig-holsteinischen Marschgebiete und ihrer zeitgemäßen Weiterentwicklung unbedingt erforderlich“.*

WOHLENBERG (70) erbrachte den Nachweis, daß die Ausbreitung des Quellers, der bei geschlossener Bestandsbildung die Sedimentation fördert, durch künstliche Aussaat an geeigneten Stellen unterstützt und dadurch die Anwachsung gefördert werden kann. Es ist also durchaus möglich, das Watt vor dem Deich mit geeigneten Verfahren aufzuhöhen.

Wenn deichwürdiger Anwachs in hinreichender Ausdehnung vorhanden ist, wird das Neuland eingedeicht. Das Deichsystem erhält durch den zusätzlichen modernen Seedeich einen weiteren Schutzwall. Dem alten Landesschutzdeich verbleiben dann die Aufgaben eines Mitteldeiches. Mit der Neueindeichung ist der Gewinn von wertvollem Siedlungsraum verbunden. Die Bedeutung der Neueindeichung wurde 1931 vom MARSCHENVERBAND SCHLESWIG-HOLSTEIN (42) herausgestellt und zur Grundlage des von LORENZEN (28) erläuterten 10-Jahresplanes für die

Westküste gemacht. Daß es sich hierbei um eine echte volkswirtschaftliche Aufgabe handelt, wurde von WITT und PETERSEN (68) nachgewiesen.

Von der Möglichkeit der Neueindeichungen sollte nach den Untersuchungen von IWERSEN (21) über die Kultivierung eingedeichter Watten mehr als bisher Gebrauch gemacht werden, denn „nach Einführung der verbesserten künstlichen Entwässerung und bei folgerichtiger Anwendung neuerer Erkenntnisse in der Kultivierung ist in manchen deich- und dammnahen Wattzonen das langwierige, sinkstoffverschwendende Verfahren der langsam fortschreitenden Auflandung nicht mehr vertretbar“. Die planmäßige Eindeichung von Wattflächen schafft zugleich die Voraussetzung für die Herstellung von weiträumigen Süßwasserbecken, welche der zunehmenden Gefahr einer Versalzung des Grundwassers unter der Marsch entgegenwirken können.

In den Niederlanden geht man nach den Empfehlungen der DELTA-KOMMISSION (31) einen wesentlichen Schritt weiter, als es an der Westküste Schleswig-Holsteins zweckmäßig erscheint. Dort sollen mehrere Seegaten durchdämmt werden, um die jetzigen Hauptdeiche zu Reservedeichen degradieren zu können. Die Gründe für diesen Plan haben sich aus der außergewöhnlichen Situation ergeben, in der sich die Niederlande befinden.

Solche Möglichkeiten wären auch in den offenen Flußmündungen Schleswig-Holsteins vorhanden. Hier bedarf es jedoch im Einzelfall sorgfältiger Sonderuntersuchungen. Generell läßt sich diese Frage nicht beantworten.

Bei den Elbmarschen fehlen einerseits die Mitteldeiche, andererseits die Sommerkøge, das Vorland und das Watt. Der Landesschutzdeich zum Beispiel vor der Wilstermarsch, der eine Fläche von rund 17 000 ha umgibt, weist einige gefährdete Stellen auf, die bei einer extremen Sturmflut zu Überschwemmungen mindestens vom Umfang wie 1953 auf Schouwen (Niederlande) führen können. Das Land liegt bis 4 m und mehr unter MThw (Abb. 16). Im Falle eines Deichbruches muß nach JANSEN (22) und THIJSSSE (58) in kurzer Zeit mit Lücken von mehreren 100 m und Tiefen von 30 bis 40 m gerechnet werden, denn die täglich ein- und ausströmenden Wassermengen und der ungünstige Untergrund sind für die Ausdehnung derartiger Lücken bestimmend. Es gibt im Wilstermarschdeich vor allem drei Stellen, die eine baldige Verstärkung benötigen: die Deichstrecken in den Ortschaften Beidenfleth (Stör) und Wewelsfleth (Störmündung) sowie der Deich bei Scheelenkuhlen. Daß die Häuser, Gartenmauern und -pforten in den Ortschaften einem Wasserstau bis etwa 1,80 m bei dem maßgebenden Sturmflutwasserstand über dem Straßenniveau widerstehen könnten, ist nicht anzunehmen.

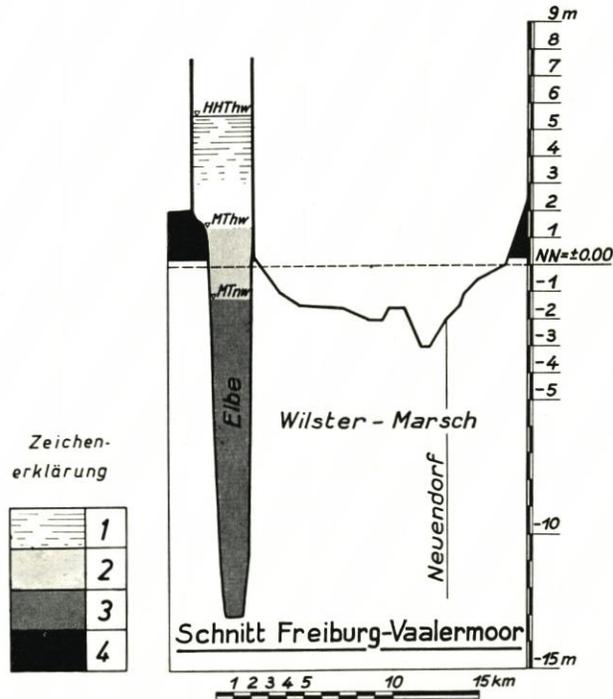


Abb. 16. Höhenlage der Wilstermarsch zu den Wasserständen der Elbe. Die senkrecht aufragenden Linien oberhalb NN bedeuten Elbdeiche. Das obere Ende der Linie entspricht der Höhenlage der Deichkrone

- 1 = Sturmflutbereich, MThw bis HHThw
- 2 = Bereich der täglichen Gezeiten, MTnw bis HHThw
- 3 = Wasserraum unter MTnw
- 4 = Landflächen über NN

Bei Scheelenkuhlen hat sich die Elbe immer näher an den Deichfuß heran verlagert, eine Entwicklung, die schon SOMMERMEIER (55) darlegen konnte. Die Tragfähigkeit des Bodens ist wegen der Moorschicht begrenzt, so daß hier kaum eine Erhöhung des Elbdeiches wird durchgeführt werden können. Als im Deich bei Scheelenkuhlen während der Oktobersturmflut 1634 ein Durchbruch entstanden war, hat man bereits den Plan erwogen, einen Einlagedeich hinter dem Hauptdeich zu bauen. SOMMERMEIER berichtete über die Schwierigkeiten „wegen der niedrigen und moorigen Gründe, auf die der eingelegte Deich gelegt werden müßte“.

Inzwischen sind unmittelbar vor dem Deichfuß Wassertiefen bis 27 m gelotet worden. Für diese besonders gefährdete Stelle muß in absehbarer Zeit eine Lösung sowohl hinter dem Deich als auch an der Elbseite gefunden werden. Ähnlich liegen die Verhältnisse am Deichfuß vor Vollerwiek in Eiderstedt.

Während der Zutritt in die Wilstermarsch im Falle einer Überschwemmung von der Geest her möglich sein dürfte, ist die Lage auf den Halligen und auf der Insel Pellworm insofern noch ungünstiger, als die Bevölkerung hier bei einer Sturmflut keinerlei Hilfe vom Festland her bekommen kann. Die Frage, ob und wie eine größere Sicherheit für die Wohnplätze auf den Halligen erreichbar ist, wurde bisher noch nicht entschieden. Für diesen Sonderfall ist noch eine besondere Untersuchung notwendig.

Der Landesschutzdeich der Insel Pellworm hat eine Länge von rund 25 km und ist mit Ausnahme von etwa 5 km durch eine Fußsicherung aus gepflasterten Steindecken geschützt. Stromabweisende Bühnen und Landgewinnungswerke sollen Prielbildungen am Deichfuß verhindern und nach Möglichkeit eine Verlandung des Watts vor dem Deich erzielen. Die aus fruchtbarem Marschboden bestehende Insel von 3600 ha liegt fast vollständig unter MThw (Abb. 6 auf S. 159). Die Mitteldeiche wurden im Laufe der Zeit teilweise bis auf MThw, teilweise auch völlig abgetragen; ihnen ist also keine Wehrfähigkeit mehr beizumessen. Bei einem Deichbruch erhält die Sturmflut freien Eintritt in die Insel. Wie vorher nachgewiesen wurde, kann der Landesschutzdeich von Pellworm nicht beliebig hoch aufgeführt werden. Andererseits sind hier die höchsten Wellenauflaufwerte an den schleswig-holsteinischen Deichen überhaupt zu erwarten. Diese Tatsachen bleiben für die Wahl der Deichabmessungen ausschlaggebend.

Man hat zu einer gewissen Zeit geglaubt, daß für die Entlastung der Landesschutzdeiche in Nordfriesland eine großzügige Lösung durch den „Friesendamm“ erreicht werden würde, der von Sylt über Amrum—Hallig Hooge—Pellworm—Hallig Südfall nach Eiderstedt vorgeschlagen wurde. Das Projekt ähnelt in manchen Teilen den großen von DIBBITS (9) beschriebenen Eindeichungsvorhaben der niederländischen Waddenzee. IWERSEN (21) lehnte das Projekt noch vor kurzem ab, weil bei Eindeichung größerer ausgesprochener Sandwattflächen die nachhaltige natürliche Erzeugungskraft des Bodens „zu gering und die Aufwendungen zur Beseitigung der Minimumfaktoren auf die Dauer zu groß werden“. Nach WEINNOLDT und SUHR (64) verbieten außerdem die technischen Schwierigkeiten bei der Herstellung der Abdämmungswerke zwischen den Inseln, die durch Wassertiefen bis über 30 m geführt werden müssen, abgesehen von den Baukosten die Weiterverfolgung solcher Pläne.

Eine wertvolle Anregung für großzügige Wattbedeichungen verdanken wir SIEMONSEN (52) schon 1932. HEISER (15) versuchte 1934, die Grenzen anzugeben, bis zu denen die Deichlinie in hundert Jahren vorverlegt werden könne. Auf umfangreichen wissenschaftlichen Untersuchungen fußend, entwarf LORENZEN (29) schließlich 1940 die „Generalplanung nordfriesisches Wattenmeer“. Nicht die Trockenlegung des Wattengebietes bis zur äußeren Inselkette, sondern die Sicherung des Bestandes von Küste, Watt, Inseln und Halligen, die Erweiterung der Dammbauten (als Hauptschutzwerke) vom Festland aus und die teilweise Vorverlegung der Küstenlinie nach Westen wurde als Planungsziel herausgestellt. Die Verwirklichung dieses Planungszieles würde wesentlich zur Entlastung des Landesschutzdeiches auf der Wasserseite und damit zur Steigerung der Sicherheit für die Bevölkerung der Marschen und der Niederungsgebiete beitragen.

VII. Zusammenfassung

Die Sturmflut vom 1. Februar 1953 gab die Veranlassung für eine grundlegende Bearbeitung der an den schleswig-holsteinischen Landesschutzdeichen zu erwartenden Sturmflutwasserstände und Wellenauflaufwerte. Gleichzeitig war eine allgemeine Überprüfung des für die einzelnen Deichabschnitte deichpolizeilich festgesetzten Besticks und der Grundlagen für die Bemessung der Landesschutzdeiche erforderlich.

Die Festsetzung des Besticks liegt bis 160 Jahre zurück und entspricht nicht mehr den heutigen Vorstellungen über die Sicherheit und Bauweise.

Eine absolute Sicherheit gegen Überschwemmungen durch Sturmfluten kann nicht gewährleistet werden, weil die „höchstmögliche“ Sturmflut nicht angegeben werden kann und weil die Grenzen der Deicherhöhungen in bestimmten Gebieten wegen der geringen Tragfähigkeit des Bodens erreicht worden sind.

Es ist jedoch möglich, das Risiko zu vermindern durch:

- a) direkte Maßnahmen am Landesschutzdeich, das heißt in der Deichlinie.
Die Deiche sind so auszubilden, daß ein Überschwappen von Wellen ertragen werden kann. Es wird die Herstellung einer flachen Innenböschung, einer über MThw gelegenen trockenen Innenberme und eines möglichst kleinen Rhynschlots empfohlen. Die Bauwerke im und am Deich sind nach den maßgebenden Sturmfluthöhen zu berechnen und zu bemessen. Das Ziel der Deichpflege muß sein, dauernd eine geschlossene, dichte und kurze Grasnarbe auf der gesamten Deichoberfläche zu erhalten, sofern diese nicht durch Deckwerke befestigt ist.
- b) indirekte Maßnahmen hinter dem Landesschutzdeich, soweit wehrhafte Mitteldeiche vorhanden sind. An der Wasserseite tragen Sommerköge, Vorländereien, Verlandung und Erhöhung des Watts, die Erhaltung von Inseln und Halligen, Unterhaltung und Neubau von Dämmen sowie Neueindeichungen zur Entlastung bei. Es ist vom Standpunkt des Küstenschutzes notwendig, das gesamte Wattengebiet hinsichtlich seiner Entwicklungstendenzen sorgfältig zu beobachten und mit dem Ziele einer weitgehenden Verlandung zu beeinflussen.

Aus der Gesamtschau der Vorgänge an der Küste sind die Grundlagen für die Bemessung der Landesschutzdeiche abzuleiten. Der Deich stellt zwar die Hauptverteidigungslinie dar. Diese Linie kann jedoch nicht überall für die zu erwartende Beanspruchung ausgebaut werden. Der Hochwasserschutz wird deshalb auf einen breiteren Küstenstreifen ausgedehnt. Die bisherigen Dammbauten im Wattengebiet haben den Beweis erbracht, daß sie zur Sicherung des bestehenden Landes in erfreulichem Maße beitragen. Nach einer weiteren planmäßigen Aufteilung des Wattengebietes in einzelne fest begrenzte Buchten werden auch diese, dem Fortschritt der Verlandung entsprechend, nacheinander abgeriegelt werden können und die erwünschte Entlastung der alten Seedeiche bringen.

Die am meisten gefährdeten Abschnitte des Landesschutzdeiches befinden sich im Wilstermarschdeich, auf der Insel Pellworm und in Eiderstedt (Vollerwiek).

Die Wege unmittelbar hinter dem Landesschutzdeich sollten weitgehend als Zubringerstraßen mit festen Fahrbahnen hergerichtet werden.

Im Hinblick auf das weiterhin zu erwartende Ansteigen der Wasserstände und auf die Veränderung des Flutraumes im Wattengebiet, auf weitere Setzungen und Sackungen der Deiche sowie auf mögliche großräumige ozeanographische und meteorologische Veränderungen muß das Deichbestick in Zukunft rechtzeitig wieder überprüft werden. Auf die nach der Polizeiverordnung von 1938 (45) vorgeschriebene regelmäßige Nachmessung der Deichmaße kann selbstverständlich nicht verzichtet werden.

VIII. Schriftenverzeichnis

1. BLOCQ VAN KUFFELER, V. I. P. de: Enkele beschouwingen naar aanleiding van de watersnood 1953. *De Ingenieur* 65, H. 8, 1953.
2. BOTHMANN, W.: Die Bedeutung der Landgewinnungsarbeiten für den Küstenschutz an der Nordsee. *Landwirtschaftl. Wasserbau*, H. 6, 1941.
3. BRAHMS, A.: Anfangsgründe der Deich- und Wasserbaukunst. Aurich 1754.
4. BURGER, A.: Overstroming en Drooglegging. *Weg en Waterbouw* 13, Nr. 3—4, 1953.
5. BUSCH, A.: Bilder von und nach den Oktoberfluten 1936. *Die Heimat*, H.1, 1937.
6. BUSCH, A.: Alte Deichquerschnitte auf Sylt, ein Beitrag zu den Fragen der Anfangsentwicklung des Deichbaues. *Westküste* 2, H. 1, 1939.
7. CHRISTENSEN, VON: Darstellung der längs der Westküste Holsteins durch die Sturmflut vom 3./4. Februar entstandenen Deichschäden im allgemeinen. L.A. Schleswig Akte A XVIII (nicht veröffentlicht), Mai 1825.
8. CUBLEY CROWTHER, G.: Land Drainage and Sea Defence in S.E. England. *Civil Engineering* 48, H. 565 und 566, 1953.
9. DIBBITS, H. A. M. C.: Landaanwinning in het Waddengebied. *De Ingenieur* 66, H. 29, 1954.
10. DITTMER, E.: Der Mensch als geologischer Faktor an der Nordseeküste. *Eiszeitalter und Gegenwart* H. 4/5, 1954.
11. DITTMER, E.: Küstensenkung, Setzungen und Wasserstandsänderung (nicht veröffentlicht). *Dienstbericht*, 28. 4. 1954.
12. DITTMER, E.: Zur Geschichte der Landschaft und der Warften Nordfrieslands. *Jaarverslag van de Vereniging voor Terponderzoek*, Groningen 1954.
13. DITTMER, E.: Deichverstärkung und Baugrund. *Die Küste* 3, H. 1, 1954.
14. GAYE, J. und LORENZEN, J. M.: Reisebericht der Arbeitsgruppe „Sturmflut 1. 2. 1953“ des Küstenausschusses Nord- und Ostsee in die Niederlande zur Besichtigung der Sturmflutschäden vom 1. 2. 1953 (nicht veröffentlicht). Kiel, 16. 1. 1954.
15. HEISER, H.: Landgewinnung an der deutschen Nordseeküste. *VDI Bd. 78*, Nr. 4, 1934.
16. HENSEN, W.: Modellversuche über den Wellenauflauf an Seedeichen im Wattengebiet. *Mitt. Franzius-Inst. Techn. Hochschule Hannover*, H. 5, 1954.
17. HINRICHS, W.: Nordsee, Deiche, Küstenschutz und Landgewinnung. Husum 1931.
18. HUNDT, C.: Erkundungsreise Juli 1953 in das holländische Sturmflutkatastrophengebiet (nicht veröffentlichter Dienstbericht). Büsum, 5. 8. 1953.
19. HUNDT, C.: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste. *Die Küste* 3, H. 1/2, 1954 (siehe dieses Heft).
20. ITERSOM, F. K. Th. van: Dijkdoorbraken. *De Ingenieur* 65, H. 47, 1953.
21. IWERSEN, J.: Das Problem der Kultivierung eingedeichter Watten. *Die Küste* 2, H. 1, 1953.
22. JANSEN, P. Ph.: De overstromingsramp 1953. *Dijkherstel*. *De Ingenieur* 65, H. 35, 1953.
23. JENSEN, W.: Der alte Moordeich bei Büttel—St. Margarethen in der Wilstermarsch. *Nordelbingen*, 1933/34.
24. KLEIN, J. L.: De overstromingsramp 1953. *Dijkbreuken*. *De Ingenieur* 65, H. 34, 1953.
25. KREY, H. D.: Das Wattengebiet, die Marschen und Halligen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. *Zentralbl. d. Bauverw.* 38, 1918.
26. LAFRENTZ, P.: Küstenschutz, Uferschutz und Landgewinnung an der Küste Dithmarschens und vor dem Nordufer der Eider unterhalb Friedrichstadt (nicht veröffentlichter Dienstbericht). Heide 1951.
27. LORENZEN, J. M.: Die Geschichte der Inseln Alt-Nordstrand, Nordstrand und Pellworm, insbesondere die Entwicklung der Querschnitte ihrer Deiche bis zur Jetztzeit. *Zentralbl. d. Bauverw.* H. 28, 1938.
28. LORENZEN, J. M.: Planung und Forschung im Gebiet der Schleswig-Holsteinischen Westküste. *Westküste* 1, H. 1, 1938.
29. LORENZEN, J. M.: Generalplanung Nordfriesisches Wattenmeer. *Marschenbauamt Husum — Unterlagenammlung Nr. 933* (nicht veröffentlicht). 1940.
30. MARIS, A. G.: De overstromingsramp 1953. *De Ingenieur* 65, H. 31, 1953.
31. MARIS, A. G.: Drittes Zwischengutachten der Deltakommission über die Zweckmäßigkeit der Abdämmung der Meeresarme zwischen Rotterdamsche Waterweg und Westerschelde. 's-Gravenhage, den 27. Februar 1954. Deutsche Übersetzung in „*Die Küste*“ 2, H. 2, 1954.
32. MEYER, H.: Halten unsere Deiche? *Wasser und Boden* H. 11, 1952.

33. MÜLLER-FISCHER: Das Wasserwesen an der Schleswig-Holsteinischen Nordseeküste, II. Teil, Die Inseln. Folge 1. Allgemeines. Berlin 1938.
34. MÜLLER-FISCHER: Folge 3. Nordstrand. Berlin 1936.
35. MÜLLER-FISCHER: Folge 4. Pellworm. Berlin 1936.
36. MÜLLER-FISCHER: III. Teil, Das Festland. Folge 1. Allgemeines. Im Druck.
37. Ohne Verfasser: De overstromingsramp 1953. De Ingenieur 65, H. 36, 1953.
38. Ohne Verfasser: De vermodellijke oorzaak van het ontbreken van binnendijken in de polder Schouwen. De Ingenieur 65, H. 48, 1953.
39. Ohne Verfasser: De stormvloed van 1 Februari 1953 en zijn gevolgen in België. De Ingenieur 65, H. 50, 1953.
40. Ohne Verfasser: Küstenschutz und Fluten. Übersetzung aus: Dock and Harbour Auth. Nr. 388, 1953.
41. Ohne Verfasser: Küstenschutz und Sturmfluten. Übersetzung aus: Dock and Harbour Auth. Nr. 396, 1953.
42. Ohne Verfasser: Die Landgewinnung und ihre wirtschaftliche Bedeutung für Küstenschutz, Siedlung und Arbeitsbeschaffung an der schleswig-holsteinischen Westküste. „Denkschrift der freien Arbeitsgemeinschaft der Deichbände an der schleswig-holsteinischen Westküste“, 1931.
43. PETERSEN, M.: Der Buphever Koog auf der nordfriesischen Insel Pellworm. Wasser und Boden H. 9, 1954.
44. PFEIFFER, H.: Die Arbeiten an der schleswig-holsteinischen Westküste seit 1953. Westküste 1, H. 1, 1938.
45. Polizeiverordnung betr. das Deich- und Wasserwesen im Marschengebiet vom 1. 9. 1938. Amtsblatt der Regierung zu Schleswig, Stück 44, 1938.
46. SAEFTEL, F.: Schnitte durch den „Schlafdeich“ in Büttel bei St. Margarethen. Nordelbingen, 1933/34.
47. SALCHOW: Bericht über den jetzigen Zustand der durch die Sturmflut vom 3./4. Februar beschädigten Deiche. L.A. Schleswig, Akte A XVIII (nicht veröffentlicht). 22. Mai 1825.
48. SANGSTER, H.: North Sea Floods Conference. London, 16 en 17 December 1953. De Ingenieur 66, H. 4, 1954.
49. SCHEFFER: Denkschrift über das verordnungsgemäße Profil für die Deiche der norderdithmarscher Kirchspiele Büsum, Wesselburen, Lunden, Hennstedt und Delve. Archiv Deich- und Hauptsielverband Norderdithmarschen, Heide in Holstein (nicht veröffentlicht). 12. 9. 1865.
50. SCHELLING, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum. Die Küste 1, H. 1, 1952.
51. SCHEPERS, J. H. G.: Een stormvloed teisterde Zuidwest-Nederland. Tijdschr. Kon. Nederl. Aardr. Genootsch. H. 2, 1953.
52. SIEMONSEN: Eine Anregung zur Frage der Landgewinnung. In: Zweite Denkschrift über die Bedeutung der Ausführung landeskultureller Aufgaben in den Marschen Schleswig-Holsteins. Husum 1932.
53. SLOET, I. W. G.: Watersnood 1953 door een ooggetuige. De Ingenieur 65, H. 8, 1953.
54. SLOET, I. W. G.: Ervaringen met dijksverhogingen system de Muralt. De Ingenieur 65, H. 8, 1953.
55. SOMMERMEIER: Entwicklung des Uferschutzes vor dem Elbdeich bei Scheelenkuhlen in der Wilstermarsch. Ztschr. f. Bauwesen, 1901.
56. STADERMANN, R.: Landerhaltung und Landgewinnung an der deutschen Nordseeküste. In: Werdendes Land am Meer, Berlin 1937.
57. TELLEGEN, C.: De factoren, die samenwerkten tot de hoge vloed op 1 Februari 1953. De Ingenieur 65, H. 13, 1953.
58. THIJSSSE, J. Th.: Herstellings- en verbeteringswerken na de ramp van 1 Februari 1953. I. Algemene beschouwingen over het dichten van de grote gaten en de daarvoor verrichte laboratoriumproeven. De Ingenieur 66, H. 22 und 23, 1954.
59. TOMCZAK, G.: Der Windstau- und Sturmflutwarndienst für die deutsche Nordseeküste beim Deutschen Hydrographischen Institut. Deutsche Hydrogr. Zeitschr. 7, H. 1/2, 1954.
60. VALKEN, K. F.: Een schatting van de kruinhoogte van de Braakman-dijk. De Ingenieur 65, H. 34, 1953.
61. VEEN, J. VAN: Verhängnisvolle Ansichten über Sturmflut-Wasserstände. Übersetzung aus: Dock and Harbour Auth. Nr. 401, 1954.
62. VEEN, J. VAN: Tide-Gauges, Subsidence-Gauges and Flood-Stones in the Netherlands. Geologie en Mijnbouw, NW. Serie 16^e, 1954.
63. WAVERLY, G. C. B.: Report of the Departmental Committee on Coastal Flooding-London, 21st April 1954.
64. WEINNOLDT, E. und SUHR, H.: Wasserwirtschaft zwischen Nord- und Ostsee. Kiel 1951.

65. WEMELSFELDER, P. J.: Wetmatigheden in het optreden van Stormvloed. De Ingenieur 54, H. 9, 1939.
66. WENHOLT, K.: Deichbauten in Ostfriesland. Wasser und Boden 11, 1952.
67. WETZEL, W.: Geologische Untersuchungen der Materialien, die bei den Aufgrabungen des Bütteler Schlafdeiches gefördert worden sind. Nordelbingen 1933/34.
68. WITT, W. und PETERSEN, M.: Wasserwirtschaftliche Probleme Schleswig-Holsteins im Rahmen der Landesplanung. Raumforschung und Raumordnung 13, H. 1 (im Druck), 1955.
69. WOEBCKEN, K.: Deiche und Sturmfluten an der Deutschen Nordseeküste. Bremen 1924.
70. WOHLBERG, E.: Biologische Kulturmaßnahmen mit dem Queller *Salicornia herbacea* L. zur Landgewinnung im Wattenmeer. Westküste 1, H. 2, 1938.
71. WOHLBERG, E.: Die Gefährdung einer Halligwarft durch Käferlarven. Verhdl. Deutscher Zoologen in Kiel. 1948.
72. WOHLBERG, E.: Entstehung und Untergang der Insel Trischen. Mitt. Geogr. Ges. Hamburg 49, 1950.
73. WOHLBERG, E.: Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. Die Küste 2, H. 2, 1954.

Deichverstärkung und Baugrund

Von Ernst Dittmer

Die durch den Krieg zum Erliegen gekommenen ersten Arbeiten für die Erhöhung der Seedeiche beziehungsweise für die Verbesserung ihrer Profile wurden nach dem Kriege in verstärktem Maße wieder aufgenommen. Durch die Sturmflutkatastrophe vom 1. Februar 1953 in den Niederlanden und in England rückten auch die Deiche unseres Landes stärker in den Vordergrund öffentlichen Interesses, so daß die im Gang befindlichen Deicherhöhungen in größerem Umfange als bisher in Angriff genommen werden konnten. Neue Berechnungen, die sich bemühen, den größtmöglichen Windstau, den Wellenaufwurf, den vermutlichen Betrag der positiven Niveauveränderung und andere örtlich wirksame Faktoren zu ermitteln, haben für die Deichhöhen Werte ergeben, denen die meisten Deiche an der Nordseeküste nicht entsprechen. Die Fortschritte in der Berechnung der höchstmöglichen Wasserstände bei dem Zusammentreffen aller ungünstigen Umstände haben zu den früher gültigen Richthöhen erhebliche Zuschläge erforderlich gemacht. Außerdem waren Veränderungen der Tideverhältnisse, die infolge wasserbaulicher Maßnahmen und dadurch bedingter morphologischer Umgestaltungen eintraten, zu berücksichtigen. So wurden z. B. unabhängig von den meteorologischen und hydrographischen Verhältnissen des Nordseeraums durch die Abdämmung der Eider und deren weitreichende Folgen Deichverstärkungen in diesem Gebiet notwendig. Viele Deiche haben durch Eigensetzung und Setzung des Untergrundes nicht mehr ihre ursprüngliche Sollhöhe, so daß ihre Verstärkung und Erhöhung aus mehreren Gründen erfolgen muß.

Die angestrebten Deichhöhen werden nach menschlichem Ermessen für die nächsten Jahrzehnte Sicherheit bieten. Die zur Zeit errechneten Deichhöhen mit einem weiteren Zuschlag für absolute Sicherheit zu versehen, wäre aus wirtschaftlichen Gründen kaum tragbar und würde die technischen Schwierigkeiten, die ohnehin bereits vielfältig in Erscheinung treten, weiter vergrößern. Denn der Deichverstärkung sind auch vom Boden her Grenzen gesetzt. Der Baugrund soll nicht nur tragfähig sein, nicht nur bei normalen Tiden die erhöhte Auflast, sondern auch bei höchsten Sturmfluten die zusätzlich waagrecht und senkrecht wirksamen Kräfte aufnehmen können. Als Baustoff für die Deiche muß möglichst in wirtschaftlich tragbarer Nähe genügend Boden und vor allem auch geeigneter Boden vorhanden sein.

Die Tragfähigkeit des Bodens wird in erster Linie von der geologischen Entwicklung bestimmt. Die marinen Sedimente Dithmarschens, Eiderstedts, von Teilen von Pellworm und Nordstrand sowie der Wiedingharde sind unter einer mehr oder weniger starken, verdichteten Kleidecke meist schluffig-feinsandig. Sie erleiden unter der Auflast der Deiche zwar gewisse Setzungen, die Bruchlast wird jedoch nie erreicht. Wesentlich schwieriger liegen die Verhältnisse auf den meisten Strecken in den Elbmarschen, besonders in der Wilstermarsch mit ihrem tiefgründigen, weichen Baugrund, auf einigen Strecken auf den Inseln Pellworm und Nordstrand, auf Föhr und an der Festlandsküste zwischen Husum und Südwesthörn. In allen diesen Gebieten sind am geologischen Aufbau weitgehend, zum Teil ausschließlich Brackwasserabsetze, nämlich Torfe, Faulschlamm in allen möglichen Übergängen sowie fette und sehr weiche Kleiböden beteiligt. Alle diese Sedimente verhalten sich gegenüber Belastungen außerordentlich verschieden. Reine Schilftorfe pflegen sich bei langsam steigender Auflast verhältnismäßig schnell und je nach dem bereits vorhandenen Grad der Verdichtung erheblich zu setzen. Die Verdichtung und damit die Tragfähigkeit nimmt im allgemeinen schon mit dem Baufortschritt bedeutend zu. Zu Grundbrüchen kommt es bei langsamer Bauweise nicht. Die faserige Struktur der Schilftorfe, die die Wasserabgabe begünstigt, führt bei starker Belastung zu sehr festen Böden, die an Tragfähigkeit schließlich die meisten anderen holozänen Sedimente übertreffen.

Alle als Darg bezeichneten Schilftorfe mit hohem Tonanteil setzen sich viel langsamer. Von Einfluß ist der Zersetzungsgrad der als Drainröhrchen wirksamen Schilfrhizome. Mit zu-

nehmendem Tonanteil steigt die Neigung, unter stärkerer Auflast seitlich auszuweichen. Derartige Sedimente können erstmalig mit höchstens 0,2 bis 0,3 kg/cm² belastet werden.

Die Tragfähigkeit stark zersetzter Torfe sowie von Fein- und Grobdetritusgytten und anderen Faulschlammarten mit hohem organischen Anteil, die sich häufig in alten Flußstälern aus vorflandrischer Zeit finden, ist sehr gering. Sie setzen sich zwar sichtbar im Laufe der Bauzeit, also mit zunehmender Belastung, aber meist entsprechend dem Baufortschritt nicht schnell genug und führen häufig zu spontan verlaufenden Grundbrüchen. Unter alten Deichen können solche Ablagerungen jedoch einen hohen Grad der Verfestigung angenommen haben. Sie können dann die Last einer weiteren Erhöhung ohne Gefahr aufnehmen.

Weit verbreitet und meist in engster Verbindung mit Schilftorfen sind tonige, ungeschichtete Brackwasserabsätze, die oft eine Mächtigkeit von mehreren Metern haben. Ihr Tonanteil liegt oft mit 70 bis 90 % sehr hoch, der Wassergehalt steigt häufig auf über 80 %, die Verdichtung hat trotz des teilweise beträchtlichen Alters von 4000 bis 6000 Jahren erst einen sehr geringen Grad erreicht. Auch unter Belastung verlaufen die Setzungen außerordentlich langsam. Diese Kleiböden, die größtenteils während des Verlandungsvorgangs am Ende der ausgehenden Flandrischen Transgression entstanden sind, teilweise aber auch ehemalige, während der mittelalterlichen Sturmflutkatastrophen entstandene Priele, Tiefs und Wehlen ausfüllen, sind die häufigsten Ursachen für Grundbrüche und daher besonders gefürchtet. In nahezu allen Fällen, in denen Ausquetschungen zunächst auf Torfe zurückgeführt wurden, hat es sich erwiesen, daß die Grundbrüche durch weichen Klei verursacht worden waren. Auch in den Fällen, in denen dieser Klei Torf überlagerte, war der Torf unberührt geblieben und unbeteiligt gewesen.

Als Beispiel mag ein Vorgang angeführt werden, der zu Beginn des ersten Bauabschnitts einer Deichverstärkung auf der Strecke westlich Untjehörn im Westerkoog auf Pellworm im Sommer 1953 in Erscheinung trat. Die Ausquetschung wurde dadurch begünstigt, daß die Innenberme an einen ausgedehnten Späting¹⁾ grenzte und ein Widerlager also fehlte. Während der Deich nahezu die verlangte Höhe erreicht hatte, kam es plötzlich zu einer örtlich begrenzten Rutschung. Die ganze innere Hälfte des Deichkörpers sank an einer fast senkrechten Scherfläche in die Tiefe. Die liegenden weichen Kleischichten von 2 bis 3 m Stärke wichen zum Teil seitlich aus und drückten die bereits erhöhte Innenberme und die angrenzenden Teile des Spätingbodens halbkreisförmig heraus und preßten diese durch breite Zerrungsrisse zerklüfteten Bodenmassen bis nahezu 2 m hoch. Die Abbildungen 1 und 2 veranschaulichen den Zustand nach der Rutschung. Die Grenzfläche der Ausquetschung verlief auf der einen Seite an der Grenze des verstärkten und nicht verstärkten Deiches, auf der anderen Seite führte die scharfe Begrenzung des weichen Kleis gegen sandigen Baugrund zu einer senkrecht zum Deichverlauf stehenden Scherfläche. Die Verstärkung der anschließenden Deichstrecke über dem weichen Baugrund führte im folgenden Jahr zu einer weiteren Rutschung.

Alle setzungsfähigen Böden nehmen im Laufe der Zeit an Tragfähigkeit derart zu, daß sie erhöhte Deichlasten aufzunehmen imstande sind, sofern sie langsam aufgebracht werden. Es besteht also bei gleichem geologischen Aufbau ein wesentlicher Unterschied im Verhalten des Baugrundes gegenüber Verstärkungen und Deichneubauten, besonders bei dem heute üblichen schnellen Baufortschritt.

Bei Baugrund jedoch, der aus dem beschriebenen weichen Klei besteht, nimmt die Verdichtung auch unter starker Belastung Zeiträume von Jahrhunderten und Jahrtausenden in Anspruch. Derartige Baugrundvorkommen setzen der gewünschten Deichhöhe absolute Grenzen, die bisher mit einer brauchbaren und wirtschaftlichen Methode noch nicht überwunden werden können. Die in torfigem Untergrund im Dammbau mit gutem Erfolg angewandte Methode der Sandpfahldrainage ist in dichten Kleiböden noch nicht erprobt. Sie dürfte zwar zu einer

¹⁾ Späting: eine bei früheren Deichverstärkungen an der Innenseite des Seedeichs entstandene Bodenentnahmestelle, heute meist mit dichtem Schilfbestand.

Erhöhung der Tragfähigkeit führen, aber nicht die gleiche Wirksamkeit wie in gut setzungsfähigen Böden erreichen.

Die Grenze der Belastbarkeit wurde auf der Insel Pellworm nach zuverlässigen Berichten bereits bei Deichverstärkungen zu Beginn des 19. Jahrhunderts, auf der Insel Föhr durch die Verstärkungen nach den Oktobersturmfluten des Jahres 1936 überschritten. An diesen Stellen kann von vornherein angenommen werden, daß weitere Verstärkungen zu erneuten



Abb. 1 und 2
Grundbruch infolge Ausquetschung weicher Kleinschichten bei der Deichverstärkung im Westerkoog auf Pellworm

Aufn. GERDES, 1953

Rutschungen führen. An anderen Stellen wird die Belastbarkeit durch die heutige Deichhöhe erreicht sein, sofern nicht inzwischen die Tragfähigkeit erheblich zugenommen hat, und es werden auch auf solchen Strecken Grundbrüche auftreten können, die sie bisher nicht zeigten. Selbst wenn aber, etwa auf der Grundlage bodenmechanisch ermittelter Werte, die äußerste Belastbarkeit in der Voraussicht in Anspruch genommen würde, daß die Tragfähigkeit langsam zunimmt, so sind doch die Kräfte, die durch Höchstwasserstände und Erschütterungen durch Brandung einwirken, zu berücksichtigen.

An der schleswig-holsteinischen Westküste ist im allgemeinen der Baugrund mit seinen

Eigenschaften in großen Zügen gut bekannt. Vielfach kann bei geplanten Deichverstärkungen auf vorhandene Unterlagen zurückgegriffen und dann auf besondere Untersuchungen verzichtet werden. In vielen Fällen lassen sich mit einfachen Mitteln sichere Voraussagen sowohl positiver als auch negativer Art über das Verhalten des Baugrundes machen. In Gebieten mit nicht einwandfreiem Untergrund aber empfehlen sich vorherige Baugrunduntersuchungen, deren Kosten in einem winzigen Verhältnis zu den Gesamtbaukosten stehen und auf Grund besserer Planung und vermeidbarer Fehlschläge vielfachen Gewinn bringen.

Außer der Tragfähigkeit des Baugrundes ist aber auch die Beschaffung und die Beschaffenheit des einzubauenden Bodens vielfach zu einem ernstem Problem geworden, das nicht nur die Zuverlässigkeit des zu erstellenden Deichkörpers beeinflusst, sondern zuweilen in erheblichem Maße die Baukosten. Die Anforderungen, die dabei an den Boden gestellt werden, sind durchaus nicht immer dieselben. Wenn die Außenböschung nicht den heutigen Erfahrungsgrundsätzen entspricht, wird man eine Deichverstärkung mit einer Verbesserung des Besticks verbinden und eine Außenverstärkung bevorzugen. Sehr sandige Böden, die gegen Wellenschlag nicht widerstandsfähig genug sind, sowie sehr fette Kleiböden, die bei anhaltender Trockenheit stark schrumpfen und bei starker Nässe erweichen, sind hier unerwünscht. Am besten eignet sich ein halbfetter, bröckeliger und schon verdichteter Kleiboden, der außerdem möglichst frei von pflanzenschädlichen Stoffen sein soll, damit eine möglichst schnelle Durchwurzelung stattfinden kann. Derartige Kleiböden gibt es im Vorland und in der bedeckten Marsch, jedoch in beiden Gebieten nicht überall. Die Mächtigkeit guter Vorkommen ist meist auf 0,75 bis 1,50 m begrenzt. Da man aber im allgemeinen bestrebt sein wird, Entnahmeflächen in der wertvollen Marsch aus Gründen einer rationellen Betriebsweise so klein wie möglich zu halten, werden auch die tieferen Schichten, die gewöhnlich einen ganz anderen Charakter haben, in Anspruch genommen. Leider sind sie oft für denselben Zweck nicht brauchbar. Getrennter Ausbau und getrennte Verwendung aber lassen sich selten technisch durchführen. Torfe und Faulschlammbildungen scheiden ganz aus, die Vermischung von sandigen Schichten mit fetterem Klei ist sehr schwer zu erreichen, weiche und fette Kleiarten lassen sich schwer verarbeiten, sie bedingen starke Differenzen zwischen Rohbau- und Fertigmaßen und erheblich höheren Aufwand an Arbeits- und Transportleistung. Zudem enthalten sie fast immer stark giftige Schwefelverbindungen und sind zumindest für Ansaat ganz ungeeignet. Alle dadurch bedingten Schwierigkeiten werden nicht in allen Fällen zu umgehen sein, wenn nämlich kein anderer und besserer Boden zur Verfügung steht. Zuweilen wird jedoch zu überlegen sein, ob nicht ein längerer Transport besseren Bodens rationeller ist als die Betriebsweise, die bei Einsparung an Baustelleneinrichtungs- und Transportkosten erhebliche Aufwendungen für Schrumpfungen, Rutschungen und sonstige Betriebserschwerungen erforderlich macht, den Baufortschritt hemmt und das Erreichen des Bauziels vor Anbruch der ungünstigen Jahreszeit oft unmöglich macht. Eine Untersuchung der zu verwendenden Böden und Entnahmeflächen sollte unter allen Umständen stets erfolgen. Sowohl der verantwortlichen Bauleitung als auch dem ausführenden Unternehmer müssen die Eigenschaften des Bodens bekannt sein, wenn es nicht zu meistens vermeidbaren Mißerfolgen und Auseinandersetzungen kommen soll.

Für Innenverstärkungen werden meistens weniger hohe Ansprüche gestellt. Magere Kleiböden lassen sich besonders gut verarbeiten. Selbst schluffige und schluffig-feinsandige Böden können eingebaut werden. Eine abdeckende Schicht guten Mutterbodens ist allerdings immer erwünscht. Sehr wenig geeignet sind aber gerade hier fette, weiche Kleiböden, da sie abgesehen von den Verarbeitungsschwierigkeiten und hohen Schrumpfmäßen bei dem auf der Innenseite der Höhe nach meist stärkeren Baufortschritt schlecht austrocknen, deswegen leicht zu Betriebserschwerungen oder häufigen Rutschungen führen, die wegen des erheblich größeren Böschungswinkels an der Innenböschung besonders begünstigt werden²⁾. Da an der Innenseite eine Soden-

²⁾ Die unter Berücksichtigung der Bodenverhältnisse günstigste Neigung der Außen- und Innenböschung ist Aufgabe wasserbaulicher und bodenmechanischer Untersuchungen. Siehe den Aufsatz von M. PETERSEN in diesem Heft.

abdeckung meistens nicht vorgenommen werden kann, sollten nur Böden eingebaut werden, die kalkreich sind und aus denen gegebenenfalls vorhandene pflanzenschädliche Stoffe schnell ausgeschwemmt werden können.

Es ist selbstverständlich, daß außer den qualitativen Eigenschaften des Bodens auch die jeweils wirksamen klimatischen Verhältnisse berücksichtigt werden müssen. Ein Boden, der in den Monaten April bis Juli noch mit bestem Erfolg eingebaut werden kann, kann zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Niederschläge die Verdunstung übersteigen, unüberwindliche Schwierigkeiten bereiten.

Der Fortschritt in der Entwicklung des Deichbaus hat dazu geführt, daß an die Stelle des mit seiner Scholle verwachsenen Marschbauern, der nach jahrhundertelanger Tradition und Erfahrung seinen Deich mit Spaten, Störte und Karre baute, der technische Großeinsatz getreten ist, dessen Leistung nach Menge und Zeit zwar überlegen ist, der aber ohne geologische, bodenkundliche und biologische Überlegungen keinen Deich zustande bringt, dessen Beschaffenheit allen geforderten Ansprüchen genügt.

Von der Schriftenreihe

„Die Küste“ **Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee**

sind bisher erschienen:

Jahrgang I Heft 1

1952, 146 Seiten, 99 Abbildungen, Preis DM 10,—

Inhalt:

Organisation und Aufgaben des „Küstenausschusses Nord- und Ostsee“

THILO, Rudolf, Regierungs- und Baurat und

KURZAK, Günther, Regierungsbaurat

Die Ursachen der Abbrucherscheinungen am West- und Nordweststrand der Insel Norderney

LÜDERS, Karl, Dr.-Ing., Oberregierungsbaurat

Die Wirkung der Buhne H in Wangerooge-West auf das Seegat „Harle“

„Küstenausschuß Nord- und Ostsee“, Arbeitsgruppe Norderney

Gutachtliche Stellungnahme zu den Untersuchungen über die Ursachen der Abbrucherscheinungen am West- und Nordweststrand der Insel Norderney sowie zu den zum Schutze der Insel vorgeschlagenen seebautechnischen Maßnahmen

NIEBUHR, Wulff, Dr.-Ing., Regierungsbaurat

Über die neuere Entwicklung der Außenems und ihre vermutlichen Ursachen

SCHELLING †, Heinz, Oberregierungsbaurat

Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum

Jahrgang I Heft 2

1952, 158 Seiten, 86 Abbildungen, Preis DM 10,—

Inhalt:

KANNENBERG, Ernst-Günther, Dr.

Das Lübecker Lokal-Schrifttum über das Brodtener Ufer

GRIPP, Karl, Professor Dr.

Die Entstehung der Lübecker Bucht und des Brodtener Ufers

SEIFERT, Gerhard

Der Aufbau und die geologische Entwicklung des Brodtener Ufers und der angrenzenden Niederungen

DÜCKER, Alfred, Dr.

Über die physikalischen Eigenschaften der das Brodtener Ufer aufbauenden Bodenarten und ihre Bedeutung für den Steiluferrückgang und Errichtung eines Uferschutzwerkes

SCHMITZ, Heinz, Professor Dr.

Pollenanalytische Untersuchungen an der inneren Lübecker Bucht

OTTO, Wolfgang

Sedimentpetrographische Untersuchungen an der Küste der inneren Lübecker Bucht

RUCK, Klaus-Wolfgang

Seegrundkartierung der Lübecker Bucht

SPETHMANN, Hans, Dr.

Studien an den Flanken des Brodtener Ufers

STARK, Erich

Hohe Wasserstände in der Lübecker Bucht 1885 bis 1949

DIETRICH, Günther, Dr. und
WEIDEMANN, Hartwig, Dr.

Strömungsverhältnisse in der Lübecker Bucht

HANSEN, Walter, Oberregierungsrat Dr.

Hydrographische Untersuchungen in der Lübecker Bucht

CHRISTIANSEN, Willi, Dr. h. c. und
PURPS, Hans

Die Pflanzenwelt des Brodtener Ufers

PETERSEN, Marcus, Regierungsbaurat Dr.-Ing.

Abbruch und Schutz der Steilufer an der Ostseeküste (Samland bis Schleswig-Holstein)

KÖSTER, Erhard

Die Veränderungen im Steilufer und in der Strandterrasse des Naturschutzgebietes Stoltera bei Warnemünde

Jahrgang II Heft 1

1953, 142 Seiten, 112 Abbildungen, Preis DM 10,—

Inhalt:

DITTMER, Ernst, Dr.

Zur Geologie und Bedeichungsgeschichte der Finkhaushallig

WOHLENBERG, Erich, Dr. habil. und

PLATH †, Martin, Dr.

Produktionsbiologische Untersuchungen auf eingedeichten Wattflächen

IWERSEN, Jens, Professor Dr.

Das Problem der Kultivierung eingedeichter Watten

Jahrgang II Heft 2

1954, 164 Seiten, 115 Abbildungen, Preis DM 12,—

Inhalt:

DELTAKOMMISSION, Den Haag

Drittes Zwischengutachten der Deltakommission über die Zweckmäßigkeit der Abdämmung der Meeresarme zwischen Rotterdamsche Waterweg und Westerschelde

BOTHMANN, Walter, Oberregierungsbaurat

Die Sicherung des Seedeichs vor dem Wesselburener Koog in Norderdithmarschen

WOHLENBERG, Erich, Dr. habil.

Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm

JACOBY, Gustav, Oberregierungsbaurat i. R.

Helgoland bei Johannes MEJER und Adam von BREMEN

DIETRICH, Günter, Dr. habil.

Ozeanographisch-meteorologische Einflüsse auf Wasserstandsänderungen des Meeres am Beispiel der Pegelbeobachtungen von Esbjerg

NIEBUHR, Wulff, Oberregierungsbaurat Dr.-Ing.

Bemerkenswerte Veränderungen am Großen Vogelsand in der Außenelbe seit der Jahrhundertwende

LINKE, Otto, Dr.

Eine selbsttätige Pegel-Spüleinrichtung

Alle Hefte sind noch vorrätig

Zu beziehen durch jede Buchhandlung

Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co.

Heide in Holstein