

Deichbau in Abhängigkeit von Sturmfluten und Wellenwirkung an der Nordsee

Von Johann Kramer

1. Einführung

1.1 Geographische Situation

Die Nordseeküste der Bundesrepublik ist durch verschiedene Buchten und Flußmündungen unterteilt (Abb. 1). Typisch für die Nordseeküste mit einem Tidehub von rd. 2,5 m ist das Wattgebiet, zur offenen See hin abgegrenzt durch Düneninseln. Die geographische Situation des Küstengebietes ist das Ergebnis der aufbauenden und zerstörenden Kräfte der See; denn durch Tidenströmungen und Wellenwirkung beeinflußt die See die Entwicklung der Küste auf verschiedenste Weise, woraus sich die Probleme des Küstenschutzes ergeben.

Das Land Niedersachsen grenzt direkt an die Nordsee mit ihren Tideflüssen Ems, Weser und Elbe. Niedersachsen hat rd. 870 km Deiche zwischen der holländischen Grenze und Hamburg zu unterhalten. Die Deiche werden nach See-, Strom- und Flußdeichen mit verschiedenartigen Profilen unterschieden. Eine große Anzahl von Sielen, Schleusen und Schöpfwerken liegt in den Deichen, um das niedrig gelegene Küstengebiet mit seinen Marschen und Mooren zu entwässern.

1.2 Landverlust und Landgewinn

In früheren Jahrhunderten hatten die Deiche eine ungenügende Höhe; ihre Böschungen waren zu steil. Das war die Ursache vieler Deichbrüche und der Zerstörung langer Strecken der Deichlinie durch außergewöhnlich hohe Sturmfluten. Der Verlust großer landwirtschaftlich genutzter Flächen konnte nicht verhindert werden, so daß die See weiter vordrang. Am Ende des 15. Jahrhunderts hatte die Nordsee verschiedene Buchten an der Küste ausgebrochen und ihre größte Ausdehnung erreicht. Auch späterhin konnten Landverluste nicht verhindert werden, jedoch konnte die Küstenlinie mit der beginnenden Landgewinnung wieder gegen die See vorgeschoben werden. Neue Deichlinien wurden angelegt und neue Polder gewonnen. Die ursprüngliche Ausdehnung des Jadebusens wurde bis heute auf ein Drittel seiner ursprünglichen Größe verringert, denn die Entwicklung der Küsten-Wasserbautechnik ermöglichte es, zunächst die Küstenlinie zu halten und sie später durch Eindeichung neuer Polder vorzuverlegen.

1.3 Untersuchungen der Februar-Sturmflut 1962

Die katastrophale Sturmflut vom 16./17. 2. 1962 führte in bestimmten Bereichen der Nordseeküste zu höheren Tidewasserständen, als sie jemals zuvor beobachtet worden waren. Infolgedessen entstanden schwere Schäden an Küstenschutzwerken, wobei besonders die See- und Stromdeiche betroffen wurden. Unter Nutzung der praktischen Erfahrungen und der Beobachtungen dieser Sturmflut wurden Untersuchungen mit dem Ziel begonnen, festzulegen, in welcher Weise Deiche zu gestalten sind, um höheren Sturmfluten als 1962, die möglicherweise künftig eintreten, zu widerstehen. Drei Probleme wurden besonders untersucht:

- a) Kronenhöhe der Deiche,
- b) Neigung der Deichböschungen sowie
- c) Grasdecke, Deichboden und Untergrund.

Über die Ergebnisse und Folgerungen aus diesen Untersuchungen wird nachstehend berichtet.

2. Kronenhöhe der Deiche

2.1 Sturmflutwasserstände

Die Wasserstände der Sturmfluten steigen an, was bis heute beobachtet werden kann. Ein Beispiel war die Sturmflut 1962, die sich entwickelte, indem die am 12. 2. 1962 beginnende Sturmweatherlage mit Winden aus westlichen Richtungen ungewöhnlich große Wassermassen in

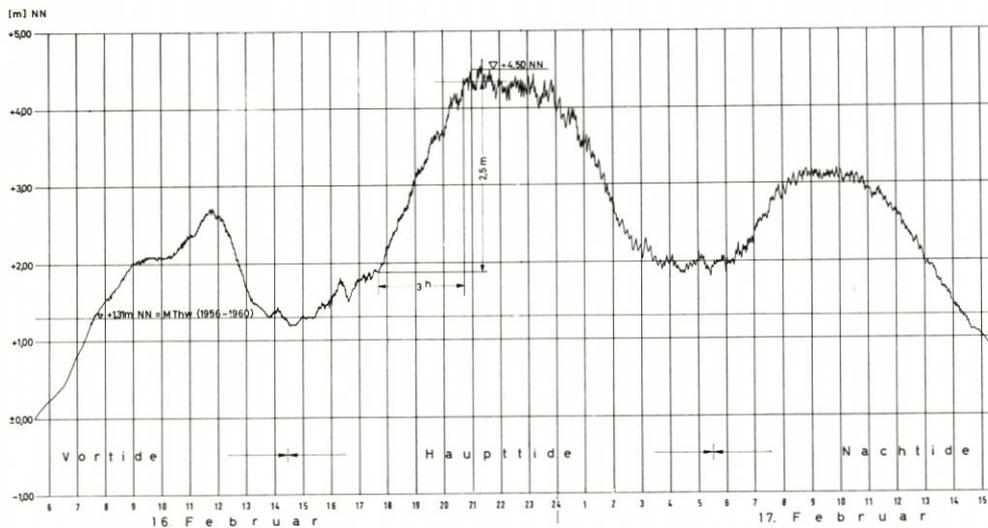


Abb. 2. Vortide, Haupttide und Nachttide der Sturmflut vom 16./17. 2. 1962; kennzeichnend ist der Anstieg der Flut von 2,5 m in 3 Stunden während der Haupttide (aus KRAMER, LIESE, LÜDERS 1962)

den inneren Teil der Nordsee gegen die deutsche Küste drückte (1). Auf diesen hohen Wasserstand der See traf der Sturm vom 16./17. 2. 1962 und verursachte in verschiedenen Küstenbereichen und besonders in den Tideflüssen Wasserstände mit einer niemals vorher erreichten Höhe (2). Die höchste Tide war in der Nacht vom 16./17. 2. 1962 (Abb. 2). An sechzehn von zweiundzwanzig Tidepegeln entlang der Küste und Ströme wurde das bisher bekannte höchste Hochwasser überschritten.

Die Verteilung der Wasserstände im Vergleich zu früher beobachteten Wasserständen zeigt, daß diese maximal an der Weser und Elbe überschritten wurden. Von der Ems entlang der Küste bis zur Weser wurden die vorher gemessenen höchsten Wasserstände mit örtlichen Ausnahmen nicht erreicht. Der Unterschied betrug bis -79 cm und wurde an der Knock nahe Emden gemessen. In der Weser und Elbe und an der Küste zwischen Bremerhaven und Cuxhaven wurden alle vorher bekannten Wasserstände überschritten mit dem maximalen Anstieg in der Weser bei Elsfluth mit $+43$ cm und in der Elbe nahe Schulau mit $+62$ cm.

2.2 Anstieg des Meeresspiegels oder Küstensenkung

Das Phänomen höherer Sturmflutwasserstände als in der Vergangenheit bestätigt die Beobachtung, daß die Tidewasserstände angestiegen sind. Die höchsten Wasserstände verschiedener in den letzten Jahrhunderten beobachteter Sturmfluten können an einer Hochwassermarke an der Südküste des Jadebusens verglichen werden (3):

Höchstes Tidehochwasser	1. 11. 1570	+ 4,80 m NN
Höchstes Tidehochwasser	24. 12. 1717	+ 4,89 m NN
Höchstes Tidehochwasser	3./4. 2. 1825	+ 5,26 m NN
Höchstes Tidehochwasser	13. 3. 1906	+ 5,33 m NN
Höchstes Tidehochwasser	16./17. 2. 1962	+ 5,57 m NN

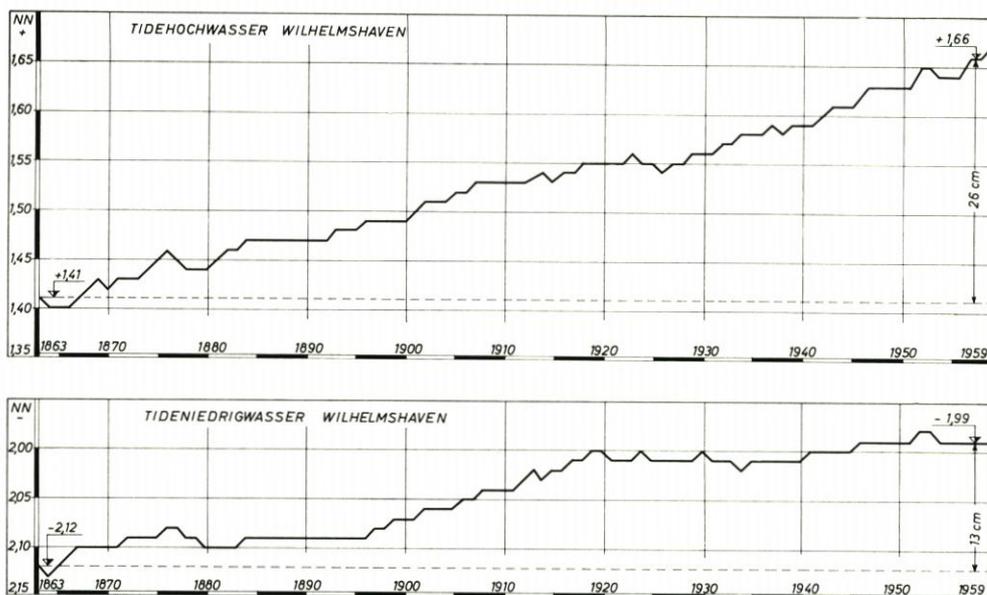
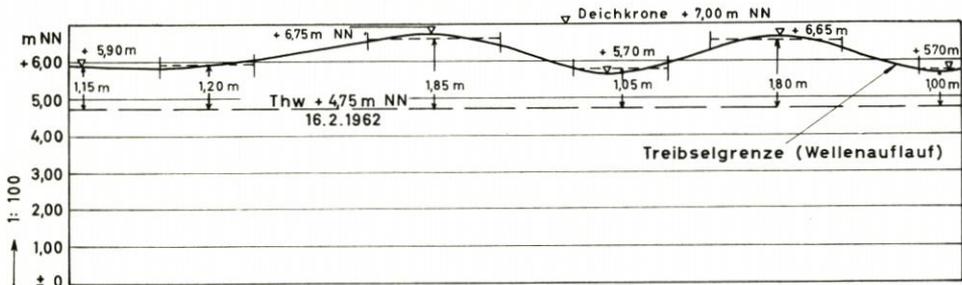


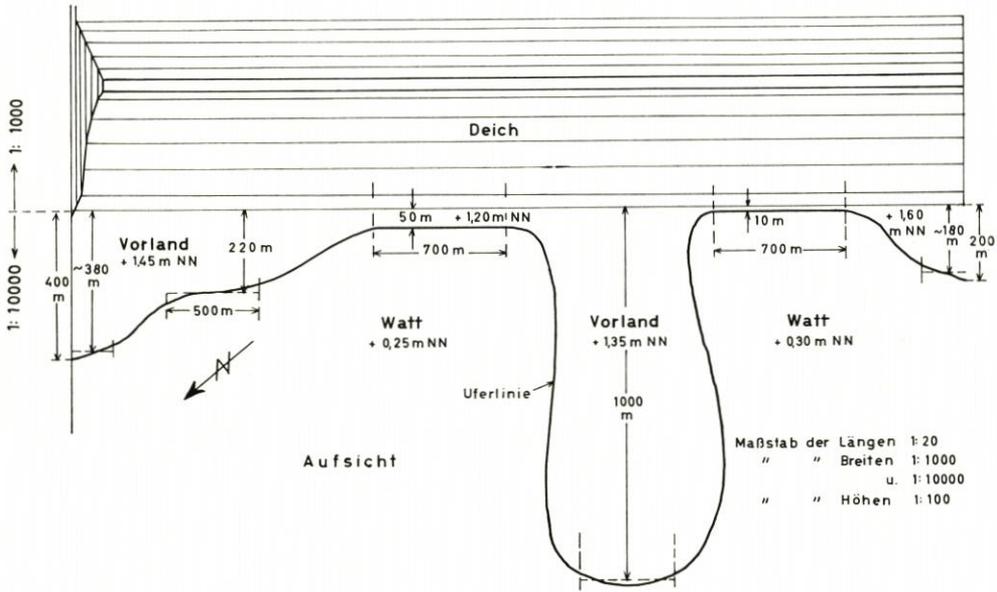
Abb. 3. Der Anstieg des mittleren Tidehochwassers und mittleren Tideniedrigwassers am Pegel Wilhelmshaven von 1863 bis 1959, dargestellt durch das 19jährige überlappende Mittel

Unverkennbar ist der Genauigkeitsgrad der Beobachtungen unterschiedlich, jedoch ist der Anstieg der Sturmflutwasserstände deutlich. In diesem Jahrhundert haben Untersuchungen begonnen, um die Ursache dieses Vorganges zu bestimmen. Aus geologischen Untersuchungen im Gebiet des Jadebusens (4) und entlang der ostfriesischen Küste (5) schien ein Sinken des Festlandes im Vergleich zum Wasserspiegel der Nordsee erkennbar zu sein. Dieser Vorgang wurde als „Küstensenkung“ bezeichnet. Das Maß der vertikalen Bewegung wurde auf 30 cm im Jahrhundert geschätzt.

Eine genaue Bestimmung der Küstensenkung ist bedeutsam für den Entwurf von Küstenschutzwerken, da verhindert werden muß, daß diese überströmt werden oder Wellen überlaufen. Aus diesem Grunde wurden Festpunkte im Küstengebiet nivellitisch mit Festpunkten im Teutoburger Wald, einem Urgebirge, verbunden, dessen Höhe als konstant angenommen werden kann (6). Der Vergleich der Nivellements der Jahre 1928/31 und 1949/59 führt zu dem Ergebnis, daß eine vertikale Bewegung während dieser geologisch sehr kurzen Periode nicht festgestellt werden kann, obgleich sie mit einem hohen Grad an Genauigkeit ausgeführt wor-



Ansicht



Aufsicht

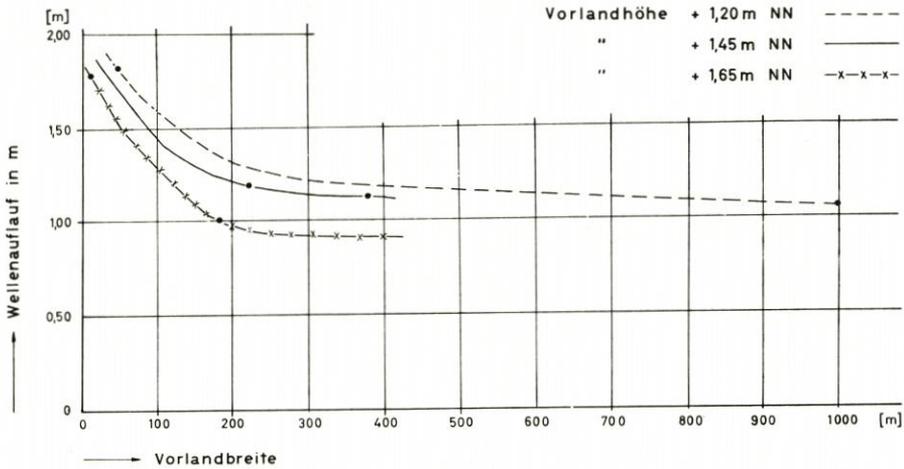


Abb. 4. Wellenauflauf an einem Seedeich in Abhängigkeit von der Höhe und Breite des Deichvorlandes (aus KRAMER, LIESE, LÜDERS 1962)

den sind. Die geologischen Untersuchungen der letzten Jahre (7) zeigten, daß eine vertikale Bewegung der Erdoberfläche in der Gegenwart praktisch nicht besteht.

Die langzeitigen Pegelbeobachtungen an der Nordseeküste (8) zeigen einen Anstieg des mittleren Tidewasserstandes an. Aus den Pegelbeobachtungen in Wilhelmshaven läßt sich ein Anstieg von ungefähr 20 cm im Jahrhundert ableiten (Abb. 3). Eine ähnliche Tendenz ist an anderen Pegelstandorten entlang der Küste erkennbar. Infolgedessen nehmen verschiedene Autoren einen mittleren Anstieg des Tidewasserstandes an der deutschen Nordseeküste zwischen 20 bis 30 cm im Jahrhundert an. Möglicherweise sind langperiodische Klimaschwankungen (8) die Ursache dieses Vorganges.

2.3 Sicherheitszuschlag

Für den praktischen Küstenwasserbau ist es nicht so bedeutsam, die Ursachen der Küstensenkung zu kennen, da ein Anstieg des Wasserstandes der Nordsee dieselbe Auswirkung wie ein Sinken des Festlandes hat. Jedoch ist die Erkenntnis dieses Phänomens sehr bedeutsam, da es zum Teil die oft wiederholten katastrophalen Deichbrüche und Überschwemmungen in früheren Jahrhunderten erklärt. In Zukunft wird ein säkularer Anstieg von 25–30 cm beim Entwurf von Küstenschutzwerken als „Sicherheitszuschlag“ berücksichtigt werden müssen.

2.4 Wellenauflauf

Das Maximum des Sturmflutwasserstandes in der Nacht vom 16./17. 2. 1962 (Abb. 2) hatte eine sehr flache Krone, die dazu führte, daß der höchste Wasserstand mehrere Stunden anhielt (9) und sehr schwerer Seegang mit hohen Wellen gegen die Deiche entlang der Festlandsküste lief. Die Wellenhöhe konnte nur an wenigen Stellen beobachtet, jedoch der Wellen-

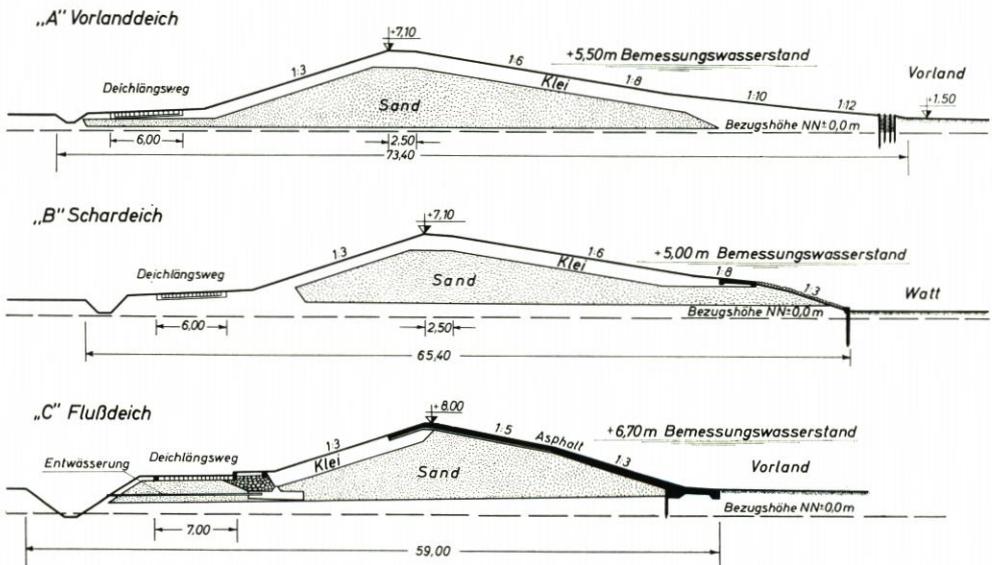


Abb. 5. Querschnitte von Deichen mit Sandkern und einer Klei- oder Asphaltdecke; wenn Klei in genügender Menge zur Verfügung steht, wird er anstelle von Sand für den Kern benutzt

auflauf an den Deichen entlang der Küste nach der Treibselgrenze eingemessen werden, die durch die Höhe von vertrittetem Holz, Gras oder Busch gekennzeichnet ist, das durch die Wellenwirkung auf die Deichböschung geworfen wurde. Der Wellenauflauf in der Nacht des 16./17. 2. 1962 übertraf die bis dahin bekannten maximalen Werte (10). Auf der Außenböschung von Seedeichen ohne Vorland betrug der Wellenauflauf bis zu 3,5 m. Deiche mit Vorland hatten einen geringeren Auflauf bei gleicher Wellenhöhe (Abb. 4).

Die Höhe des Wellenauflaufes ist eine Funktion der Neigung der Außenböschung, der Wellenhöhe sowie der Lage des Deiches zur Windrichtung (11). Ebenso hängt sie von der Art des Deiches, ob mit oder ohne Vorland und Watt, ab (Abb. 5). Die Außenböschungen sind konkav oder konvex geformt. Im allgemeinen haben sie eine konkave Form als Vorlanddeich, wenn vor ihnen Vorland liegt (Abb. 5 A) und eine konvexe Form bei angrenzendem Watt als Schardeich (Abb. 5 B). Der Fuß eines Schardeiches ist mit einem Deckwerk aus Steinen, Beton, Asphalt usw. zu befestigen.

2.5 Ermittlung der Kronenhöhe von Deichen

In den letzten Jahrzehnten wurden verschiedene Verfahren benutzt, um die künftige Höhe von Deichen zu berechnen. Als Ergebnis derartiger Untersuchungen nach der Sturmflut von 1962 wird gegenwärtig entweder das „a-b-c-d-Verfahren“ oder das „HHThw + Zuschlag-Verfahren“ angewendet (Abb. 6).

Im a-b-c-d-Verfahren (Abb. 6 A) ist der Parameter „a“ der mittlere Tidehochwasserstand, bezogen auf Normalnull, „b“ der größtmögliche Springanstieg, „c“ der Windstau und „d“ der Sicherheitszuschlag, um den säkularen Anstieg des Meeresspiegels zu berücksichtigen. Das HHThw + Zuschlag-Verfahren (Abb. 6 B) wird in besonderen Fällen benutzt, vor allem um die Höhe von Strom- und Flußdeichen zu ermitteln. Es geht vom beobachteten höchsten Tidehochwasserstand aus, der um den Sicherheitszuschlag erhöht wird, der den säkularen Anstieg, die örtliche Situation, die Höhenlage des geschützten Hinterlandes und ähnliches berücksichtigt.

In beiden Verfahren ist der Wellenauflauf hinzuzufügen, der zwischen 0,5 und 3,5 m an der Nordseeküste in Abhängigkeit von der Lage der Deichlinie und dem Wellenangriff beträgt.

Angenommen wird, daß die Berechnung der Kronenhöhe nach diesen Verfahren genügend Sicherheit gegen Wasserüberlauf und Überschwemmung des Hinterlandes während des nächsten Jahrhunderts bietet.

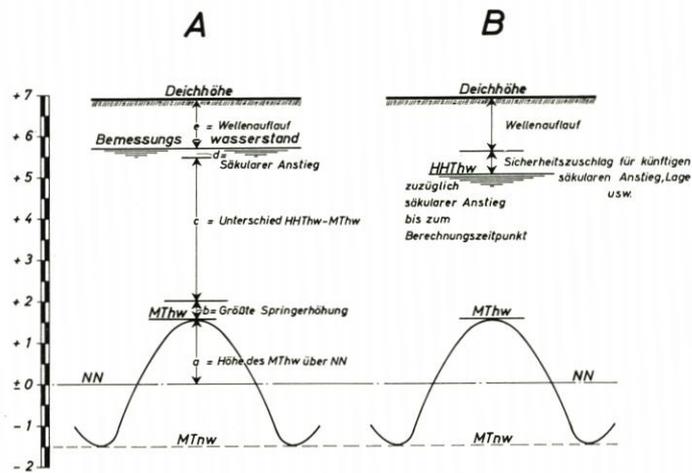


Abb. 6. Bestimmung der Kronenhöhe von Deichen:
 A) a-b-c-d-Verfahren
 B) HHThw + Zuschlag-Verfahren

3. Deichprofile

3.1 Erfahrungen mit Deichböschungen während der Sturmflut 1962

Die Höhe und Breite von Deichen, die Neigung der Außen- und Innenböschung, Anlagen in und auf dem Deich sowie seine Unterhaltung waren entscheidend für den Ansatzpunkt und das Ausmaß von Zerstörungen durch Wellenwirkung oder Überströmung der Deichkrone. Der

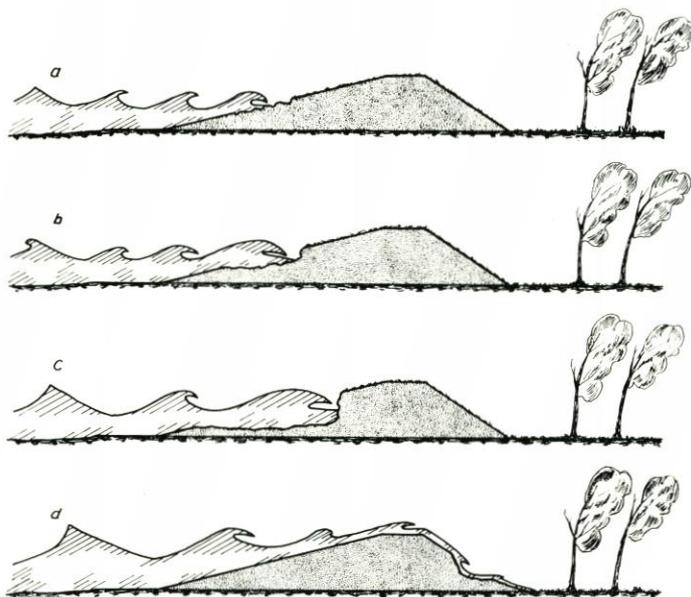


Abb. 7. Schematische Darstellung von Deichschäden
a) leichte Schäden, b) mittlere Schäden, c) schwere Schäden, d) Erosion auf der Innenböschung

erste Ansatz von Schäden war gewöhnlich durch ungenügende Unterhaltung der Grasnarbe bedingt, während deren spätere Ausweitung von der Qualität des Deichbodens abhängig war. Es begann mit dem Druckschlag des aufprallenden Wassers in kleinen Schadensstellen und setzte sich sofort mit Auswaschungen als Folge der Turbulenz brechender Wellen.

Die kleineren Schäden in der Grasnarbe verteilten sich über die gesamte Außenböschung. Dagegen wurden die mittleren und schweren Schäden in der Höhe des höchsten Wasserstandes angetroffen, weil hier die Wellenwirkung am längsten mit der stärksten Wirkung anhält. Auf unbefestigten

Deichkronen waren die Hauptursachen von Schäden Fahrspuren, die sich bei Wellenüberlauf oder Überströmung sehr schnell ausdehnten.

Die Innenböschungen von Deichen waren vielfach zu steil mit Neigungen von 1:2 bis 1:0,5, so daß bei Überströmung oder Wellenüberschlag Erosion durch das abwärts laufende Wasser einsetzte, die an Stellen schlechter Grasnarbe begann. Durch Trockenrisse in den Deichkörper eindringendes Wasser führte zu Rutschungen, besonders bei steilen Innenböschungen. Außerdem waren Schäden von Wühltieren, durch deren Höhlen Wasser in den Deichkörper eindrang, der Grund für anschließende Rutschungen und Deichbrüche (13). In verschiedenen Fällen hatten Kabel und Wasserleitungen die gleiche Wirkung.

3.2 Art der Deichschäden

Zerstörungen von unterschiedlichem Ausmaß und Art sind charakteristisch. Sie sind das Ergebnis der auf die Deichböschung wirkenden tangentialen und vertikalen Kräfte infolge Sturz- und Schwallbrechern an den Deichen oder durch Überströmung und Wellenüberlauf:

- a. Leichte Schäden in der Grasnarbe, die über die gesamte Außenböschung verteilt sind (Abb. 7a).
- b. Mittlere Schäden mit Löchern bis zu 50 cm Tiefe, unregelmäßig über die Außenböschung verteilt (Abb. 7b).
- c. Schwere Schäden in Höhe der langanhaltenden Wellenwirkung mit mehr oder weniger horizontaler Grundfläche und senkrechter Wand, die sich entlang des Deiches erstrecken (Abb. 7c).
- d. Erosion an der Innenböschung infolge Überströmung oder Wellenüberlaufs, von deren Ausmaß Rutschungen oder Deichbrüche abhängen (Abb. 7d).

3.3 Empfehlungen zur Profilgestaltung

Die wichtigsten Empfehlungen für den künftigen Bau von Deichen mit Kleidecke sind:

1. Außenböschungen so flach wie möglich, an Seedeichen nicht steiler als 1:6 und an Flußdeichen nicht steiler als 1:3 (Abb. 5 A/B). Ausnahmen sind bei Verwendung fester Materialien, wie Asphalt, Beton usw., möglich (Abb. 5 C).
2. Die konvexe Form von Außenböschungen ist der konkaven Form vorzuziehen, um den Wellenauflauf zu vermindern.
3. Deckwerke am Deichfuß bis zu 1,5 m Höhe über MThw in massiver Bauweise.
4. Breite der Deichkrone von 2,5 m bis 3,0 m mit Neigung zur Außenseite, um die Oberfläche zu entwässern. Dauernder Verkehr ist zu unterbinden mit der Ausnahme auf befestigten Deichkronen.
5. Innenböschungen nicht steiler als 1:3, um Rutschungen und Erosion durch überlaufendes Wasser zu verhindern (5 A/B/C). Steilere Böschungen erfordern eine massive Abdeckung.

Körnungskurven von Deichbodenproben des Seedeiches zwischen Bensersiel - Neuharlingersiel

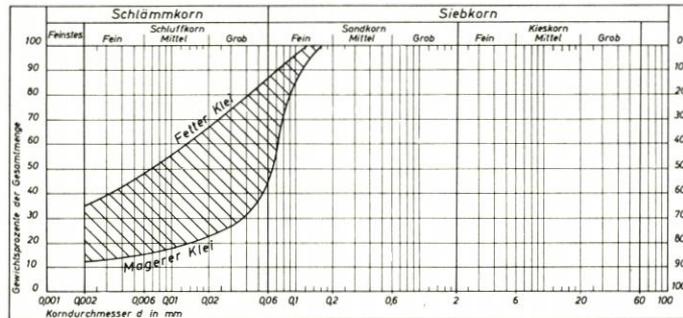


Abb. 8. Kornverteilung von Deichboden, der als Kleidecke geeignet ist

4. Grasdecke, Deichboden und Untergrund

4.1 Grasdecke

Eine schlechte Grasdecke gibt im allgemeinen den Ansatz für Auswaschen von Löchern durch Wellenwirkung, vor allem, wenn diese seitlich von Treppen, Zäunen, Pfählen oder Gebäuden durch Menschen oder Vieh zertreten ist. Sehr oft wurden Schäden in der Grasdecke durch Löcher von Wühltieren, die den Boden aufgraben, gefunden (13). Ebenfalls lag Treibsel oft zu lange auf der Deichböschung und hinderte das Wachstum des Grases, so daß der dann noch ungeschützte Boden ausgewaschen werden konnte. Grassoden, die im vorhergehenden Jahr verlegt worden waren, wurden oft durch Wellenwirkung herausgeschlagen und abgetrieben.

4.2 Deichboden

Der Deichboden (15) war noch nicht genügend verfestigt, wenn seit dem Bau des Deiches erst einige Jahre vergangen waren. Dann konnte der Deichboden dem Auswaschen durch Wellen nicht widerstehen, da die Konsolidierung von Erddäichen eine längere Zeit dauert. In einem Deich mit sehr fettem Klei (Abb. 8) ohne sandige Bestandteile treten oft Trockenrisse bis zu einer Tiefe von 2 m auf, die durch Schrumpfen nach Wasserverlust des Bodens entstehen. Wassereintritt fördert dann das Abrutschen steiler Böschungen. Ebenfalls führte sehr sandiger Deichboden zur Durchsickerung und weiterhin zu Deichbrüchen, wie es an verschiedenen Flußdeichen beobachtet werden konnte.

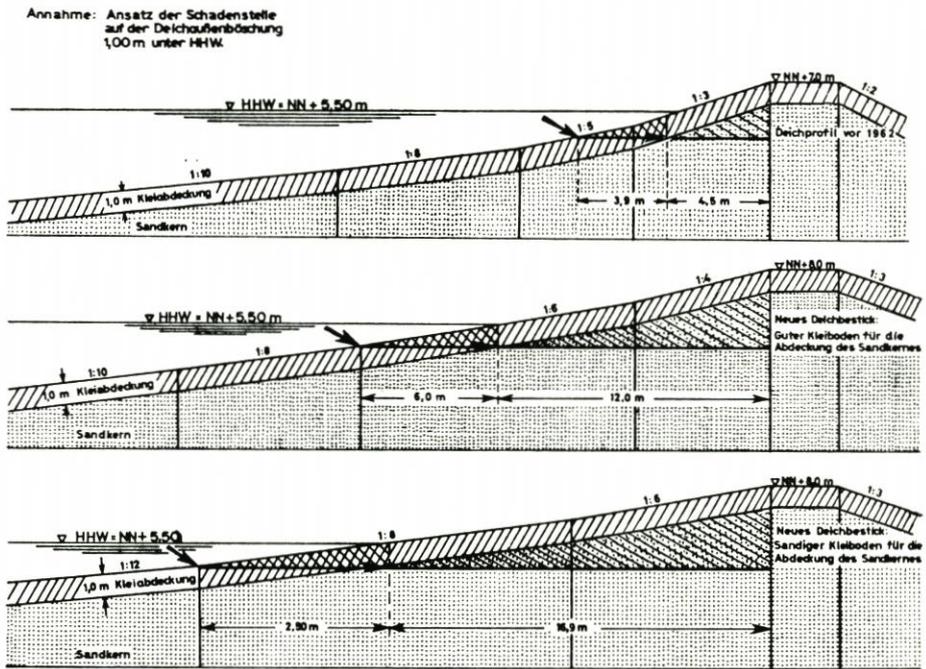


Abb. 9. Die wirksame Kleidecke gegen Wellenwirkung bei unterschiedlich geneigten Außenböschungen von Seedeichen (aus RODLOFF 1966)

4.3 Untergrund

Ungenügende Tragfähigkeit des Untergrundes war an verschiedenen Stellen die Ursache von Deichbrüchen, wenn weiche Schlack- oder Torflagen nicht die vertikale und horizontale Belastung aus dem Deich bei Hochwasserstand zusammen mit der Wellenwirkung aufnehmen konnten.

4.4 Empfehlungen zur Grasnarbe, zum Deichboden und zum Untergrund

Die Empfehlungen hierzu sind:

1. Der Unterhaltung der Grasnarbe ist mehr Bedeutung als bisher zuzumessen (16). Alle kleinen Schäden sind sofort zu beseitigen. Das Gras muß durch grasende Schafe und Jungvieh kurz gehalten werden, was gleichzeitig die beste Möglichkeit ist, den Boden zu verdichten und wühlende Tiere zu bekämpfen, indem ihre Löcher zugetreten werden. Die Innenböschung von Deichen soll auch für die Unterhaltung und das Grasens nicht steiler als 1:3 sein, um den erwarteten Erfolg zu bringen.
2. Die Qualität des Deichbodens ist mehr als zuvor zu analysieren, und eine spezielle Zusammensetzung aus Klei- und Sandanteilen ist zu fordern (Abb. 8). Meistens wird der örtlich verfügbare Kleiboden benutzt und kann für den Deichbau als geeignet angesehen werden. Wenn jedoch solcher Boden nicht verfügbar ist, sind andere Bauweisen anzuwenden.
3. Die Eignung des Deichbodens ist ebenfalls im Zusammenhang mit dem Querschnitt des Deiches und den hydraulischen Kräften zu betrachten (17). Auf flachen Böschungen dauert es länger, bis Auswaschungen den Sandkern erreichen (Abb. 9).
4. Wo geeigneter Deichboden knapp ist, kann der Deichkern aus Sand bestehen und mit Klei von guter Qualität abgedeckt werden (Abb. 5). Die Kleidecke ist in einer Mindestdicke von 1,0 m auf Außenböschungen und von 0,5 m auf Innenböschungen anzulegen. In besonderen Fällen, wenn kein Klei verfügbar ist, können massive Decken gewählt werden.
5. Trockenrisse sind mit kleiigem Boden aufzufüllen, um Wassereintritt und Durchsickerung des Deichkörpers zu verhindern.
6. Die bodenmechanischen Daten des Deichbodens und Untergrundes haben sorgfältig untersucht zu werden, um die Standfestigkeit von Deichen zu sichern und ihr Setzmaß zu erkennen. Im allgemeinen besteht der Untergrund aus Kleilagen. Örtlich jedoch sind diese durch Torflagen von geringerer Tragfähigkeit unterbrochen, die das Gewicht eines Deiches nicht tragen können. Dann hat die Torflage entfernt und durch Sand oder anderen Boden mit genügender Tragfähigkeit ersetzt zu werden. In solchen Fällen kann auch die Basis des Deiches verbreitert werden, um das Gewicht des Deichkörpers auf eine größere Fläche zu verteilen.

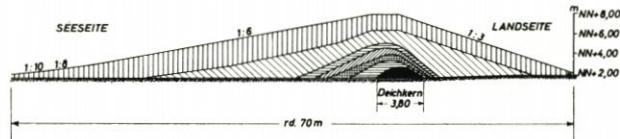


Abb. 10. Vergleich älterer Deichquerschnitte mit modernen. Der älteste Querschnitt wurde ungefähr 1000 n. Chr. mit einer Breite von 3,80 m und steilen Böschungen angelegt, der höchste nach 1962 mit flachen Böschungen und einer Breite von ungefähr 70 m

5. Weitere Empfehlungen für den Entwurf und die Bauweise von Deichen

5.1 Vorland und Landgewinnung

Der Wert von Vorland oder Landgewinnungswerken (12) zeigte sich sehr deutlich in der Verminderung des Wellenauflaufes an Deichen während der Februar-Sturmflut 1962. Kleine Deiche auf dem Vorland, sogenannte Sommerdeiche, hatten eine zusätzliche wellenbrechende Wirkung. Landgewinnungswerke im Watt vor Seedeichen verminderten ebenfalls den Wellenangriff auf Grund der Abhängigkeit der möglichen Wellenhöhe von der Wassertiefe während

Sturmfluten. Die vorteilhafte Wirkung von Vorland konnte besonders am Leybuchtdeich beobachtet werden (Abb. 4). Entlang langer Strecken der Nordseeküste besteht Vorland mit unterschiedlicher Breite. Andere Strecken dagegen werden direkt von der See durch Mittelhochwasser berührt. Das Ergebnis praktischer Erfahrung (14) und von Modellversuchen (11) war, daß ein ungefähr 200 m breites Vorland notwendig ist, um die Wellenhöhe um rd. 1,0 m zu vermindern, wenn die Verhältnisse der Sturmflut vom 16./17. 2. 1962 herrschen.

Die Folgerungen für künftige Arbeiten sind:

1. Ein hohes und breites Vorland vermindert den Wellenangriff und Wellenauflauf an Deichen. Deshalb sollte Vorland dort gewonnen werden, wo die natürlichen Voraussetzungen es begünstigen.
2. Niedrige, sogenannte Sommerdeiche auf dem Vorland vermindern zusätzlich den Wellenangriff und Wellenauflauf am Hauptdeich oder Winterdeich. Sommerdeiche sollten gebaut werden, wenn das Vorland die dazu notwendige Ausdehnung hat.

Die vorher erörterten Fragen über Erfahrungen in der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 und ihre zukünftige Berücksichtigung beinhalteten die hauptsächlichen baulichen Gegebenheiten. Sie beziehen sich auf Erddeiche aus Klei oder solche mit einem Sandkern und einer Kleidecke, wobei nur der Deichfuß durch eine massive Konstruktion abgedeckt ist. Derartige Erddeiche an der Nordseeküste oder entlang der Flüsse sind die normalerweise gebauten Deicharten. Deiche mit massiven Mauern oder Decken sind Ausnahmen, weil sie sehr viel teurer sind. Deshalb werden sie nur dann entworfen, wenn es auf Grund der örtlichen Gegebenheiten notwendig und geeigneter Klei nicht verfügbar ist, oder zwischen Gebäuden der Platz fehlt, um einen Deich mit ausreichendem Querschnitt anzulegen.

5.2 Bauwerke an und in Deichen

Weiterhin wurden andere Probleme behandelt. Die Anlage von Bauwerken auf und in Deichen wurde erörtert und geeignete Konstruktionen vorgeschlagen, um soviel Deichsicherheit wie möglich zu gewinnen. Die Anzahl der Bauten hat auf die unvermeidlichen beschränkt zu bleiben.

Kreuzungen von Deichen mit Rohrleitungen, Telefon- und elektrischen Kabeln sind nur senkrecht zur Deichachse anzulegen, weil sie die Homogenität des Deichkörpers beeinträchtigen. Ihre Anlage in Längsrichtung fördert die Ausdehnung von Schäden über längere Bereiche.

Straßen über die Deichkrone oder durch Deiche erfordern besondere Maßnahmen, um zu verhindern, daß die Deichsicherheit geschwächt wird. Straßen auf über den Deich führende Rampen haben befestigt zu werden. Verkehrswege durch Deiche sind in Stahlbeton mit Toren aus Harthölzern oder Stahl zu bauen. Eine doppelte Sicherheit ist herzustellen, indem die Durchgänge mit zusätzlichen Verschlussvorrichtungen versehen werden.

6. Schlußbetrachtung

Die modernen Deiche werden als „bruchsicher“ wegen ihres Profiles mit flacher Außen- und Innenböschung angesehen, welche die Gefahr des Druckschlages und der Erosion durch Wellenwirkung vermindern. In außergewöhnlichen Fällen können hohe Wellen während des kurzen Zeitraumes des höchsten Tidewasserstandes gelegentlich unerwartet hoher Sturmfluten über die Deichkrone laufen. Jedoch ist die dann über die Deichkrone laufende Wassermenge unbedeutend im Vergleich zu derjenigen, die durch einen Deichbruch strömen und das Hinterland überschwemmen würde.

Alle Untersuchungen zum Entwurf und zur Konstruktion von Deichen hatten das Ergebnis, daß gegenwärtig die Deiche höher als vorher — 7,0 m bis 8,0 m über Landoberfläche — und breiter mit flacheren Böschungen als früher gebaut werden (Abb. 10). Erwartet werden kann, daß mit der Erfahrung von fast 1000 Jahren und modernen Untersuchungen die Deiche künftig stark genug sein werden, um Sturmfluten zu widerstehen.

7. Schrifttum

1. RODEWALD, M.: Zur Entstehungsgeschichte der Sturmflutwetterlagen in der Nordsee im Februar 1962. Die Küste 10 (1962), H. 2.
2. SCHULZ, H.: Verlauf der Sturmflut vom Februar 1962 im deutschen Küsten- und Tidegebiet der Nordsee. Die Küste 10 (1962), H. 1.
3. JANSSEN, T.: Die Allerheiligenflut von 1570 und ihre Spuren in Ostfriesland. Ostfriesland, Z. f. Kultur, Wirtschaft u. Verkehr 3 (1970).
4. HAARNAGEL, W.: Das Alluvium an der deutschen Nordseeküste. Ein Beitrag zur Geologie der deutschen Nordseeküste auf Grund neuerer Untersuchungen im Jade-Weser-Gebiet. Probleme der Küstenforschung 4 (1950).
5. WILDVANG, G.: Der Einbruch der Nordsee in das Mündungsgebiet der Ems. Abh. Naturw. Ver. Bremen 30 (1937), H. 1/2,
6. GRONWALD, W.: Welche Erkenntnisse zur Frage der vermuteten neuzeitlichen Nordseeküstensenkung hat die Wiederholung des Deutschen Nordseeküstennivellements gebracht? Die Küste 8 (1960).
7. DITTMER, E.: Neue Beobachtungen und kritische Bemerkungen zur Frage der Küstensenkung. Die Küste 8 (1960).
8. GAYE, J.: Die Wasserstandsänderungen in der Ostsee und in der Nordsee in den letzten hundert Jahren. Die Wasserwirtschaft, Sonderheft, 1951.
9. KRAMER, LIESE, LÜDERS: Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 im niedersächsischen Küstengebiet. Die Küste 10 (1962), H. 1.
10. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein: Die Sturmflut vom 16./17. Februar an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste 10 (1962), H. 1.
11. HENSEN, W.: Modellversuche über den Wellenauflauf an Seedeichen im Wattengebiet. Mitt. Franzius-Inst. Hannover 5 (1954).
12. FREISTADT, KRAMER, LORENZEN, LÜDERS, RODLOFF, TRAEGER: Empfehlungen für den Deichschutz nach der Februar-Sturmflut 1962. Die Küste 10 (1962), H. 1.
13. BLASZYK, P.: Zur Vermeidung von Deichschäden durch Tiere und Unkräuter bei Sturmfluten. Wasser und Boden 8 (1962).
14. BOTHMANN, W.: Die Bedeutung der Landgewinnung für den Küstenschutz an der Nordsee. Landwirtschaftlicher Wasserbau, H. 6-8, 1941.
15. DITTMER, E.: Deichverstärkung und Baugrund. Die Küste 3 (1954), H. 1/2.
16. WOHLBERG, E.: Deichbau und Deichpflege auf biologischer Grundlage. Die Küste 13 (1965).
17. RODLOFF, W.: Küstenschutz, Regelung der Wasserwirtschaft, Wirtschaftswegebau. Wasser und Boden 18 (1966), H. 10.