Die Küste, 19 (1970), 125-185

Küstenschutz durch Vorlandgewinnung, Deichbau und Deicherhaltung in Ostfriesland

Von Heie Focken Erchinger

Summary

In Ostfriesland the main stress of coastal protection has to be put on dike construction and land reclamation on the tidal flats before the dikes. The actual works for land reclamation are described. Especially newer constructions of heavy groins for land reclamation with a core of earth or of waste of smelt, with a plastic membrane around this and concrete blocks interlocking horizontally and vertically on top as well as other constructions are explained in detail.

After the experiences of the storm surge in 1962 it was found out that most of the east-friesian dikes along the coastline, on the islands and along the rivers had to be constructed higher and heavier. These experiences led to new calculations of the height of the dikes, together with recent scientific knowledge they determined the new profile of the dikes. The wave-wash conditioned the shape of the outside slope, which suitably should be concave for dikes with land between water and dike and convex for dikes directly along the shore with bank protection. Further the construction of the shape of the inside slope and the necessary protection at the toes of the dikes are described. The underground, the soil and the vegetation and its evaluation according to researches are important for a safe dike too. Finally the summer dikes and the maintenance of the dikes are evaluated with regard to coastal protection.

Inhalt

1. Einführung 126
2. Vorlandgewinnung als aktiver Küstenschutz
   2.1. Bedeutung des Vorlandes für den Deichschutz 129
   2.2. Ziel und Umfang der Vorlandgewinnung in Ostfriesland 129
   2.3. Neue Lahnungsbauweisen 130
   2.4. Maschinelle Begrüppung 134
   2.5. Vorlandaufspülung 135
3. Hauptdeiche
   3.1. Die Deiche Ostfrieslands und das geschützte Gebiet 136
   3.2. Geschichtliche Entwicklung 138
   3.3. Deichbauten vor und Lehren aus der schweren Sturmflut 1962 141
   3.4. Neue Deichhöhen 143
      3.41. Allgemein 143
      3.42. Berechnung des Bemessungswertes 144
      3.43. Wellenauflauf 146
   3.5. Grundsätze der Querschnittsgestaltung 151
      3.51. Außenböschung 151
         3.511. Allgemein 151
         3.512. Vorlanddeich 152
         3.513. Schardeich mit Deckwerk 154
         3.514. Strom- und Flußdeiche 159
         3.515. Inseldeiche 159
      3.52. Deichkrone 160
      3.53. Binnenböschung 161
      3.54. Binnenberme 161
      3.55. Besondere Deichformen, Deichmauern 161
   3.6. Baugrund, Boden und Begrünung 162

3.61. Baugrund 162
3.62. Deichboden 165
3.63. Begrünung 168
3.7. Bauwerke im Deich 170
3.8. Linienführung, zweite Deichlinie, Schutzlinien in den Dünen 172
3.9. Stand des Ausbaus der Deiche Ende 1968 174
4. Sommerdeiche 175
5. Erhaltung und Pflege des Deiches 176
5.1. Allgemeines 176
5.2. Pflege der Grasnarbe 177
5.21. Deichbeweidung 177
5.22. Teekräumung und Unkrautbekämpfung 178
5.3. Tierische Schädlinge 179
5.4. Beseitigung von Deichschäden 181
6. Zusammenfassung 182
7. Schriftenverzeichnis 183

1. Einführung

Das heutige Ostfriesland bildet den niedersächsischen Regierungsbezirk Aurich. Seine rd. 3137 km² große Fläche wird eingefaßt durch den sogenannten „Goldenen Ring", der 207 km langen Hauptdeichlinie entlang der Küste und den Flüssen Ems und Leda. Die beiden im 13. und 14. Jahrhundert entstandenen Meeresbuchten Dollart und Leybucht bewirken eine Verlängerung der Küstenstrecke, obwohl der größere Teil ihrer ursprünglichen Ausdehnung im Laufe der Jahrhunderte zurückgewonnen werden konnte. Durch Sturmfluten werden rd. 2200 km² gefährdet. Das große Interesse der Bevölkerung an den Arbeiten zur Sicherung der Küste mag angesichts der entscheidenden Bedeutung des Küstenschutzes für rd. 70 % der Gesamtfläche des Landes nicht überraschen.

Im Mündungstrichter der Ems und entlang der Nordküste Ostfrieslands lagern als langgestreckte Kette die Inseln Borkum, Memmert, Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog und Spiekeroog. Östlich schließt die zum oldenburgischen Verwaltungsbezirk gehörende Insel Wangerooge diese Kette ab. Mit Ausnahme der im Emsmündungstrichter liegenden und durch den Emsstrom wesentlich mitgeformten Inseln Borkum und Memmert, haben alle Inseln eine langgestreckte, nahezu west-ostgerichtete Form. Sie sind jeweils nur durch verhältnismäßig schmale Seegaten unterbrochen. Von der Gesamtstrecke von Juist-Westende bis Wangerooge-Ostende von rd. 73 km nehmen die Seegaten 11 km ein, so daß die Inseln mit rd. 62 km Gesamtausdehnung etwa 85 % der Küstenstrecke abschirmen und damit ein nicht zu unterschätzendes Bollwerk gegen die Angriffe der See bilden. Die Entfernung zwischen dem Festland und den östlich der Emsmündung liegenden Inseln schwankt zwischen 4 und 10 km. Dieses flache Wattengebiet wird von einem System von Gaten, Baljen und Prielen durchzogen, das von dem jeweiligen Seegat ausgeht. Auch dieser im Schutz der Insel liegende Flachwasserbereich bringt für den Küstenschutz erhebliche Vorteile.

Die 207 km lange Hauptdeichstrecke Ostfrieslands gliedert sich in 118,5 km Seedeiche, 45,0 km Stromdeiche und 43,5 km Flußdeiche (Abb. 1). Die Seedeiche reichen von der östlichen Bezirksgrenze bei Harlesiel bis zur Ems bei Emden sowie entlang der Ostseite des Dollarts. Auf etwa 65 km liegt der Seedeich schar. Soweit die örtlichen Verhältnisse es zulassen, wird vor den Schardeichen Landgewinnung zur Schaffung des schützenden Deichvorlandes betrieben. Nur auf 53 km der Seedeichstrecke konnte ein ausreichend breites Deichvorland erhalten bzw. bereits wieder geschaffen werden. Heute gilt es, dieses für den Küstenschutz so

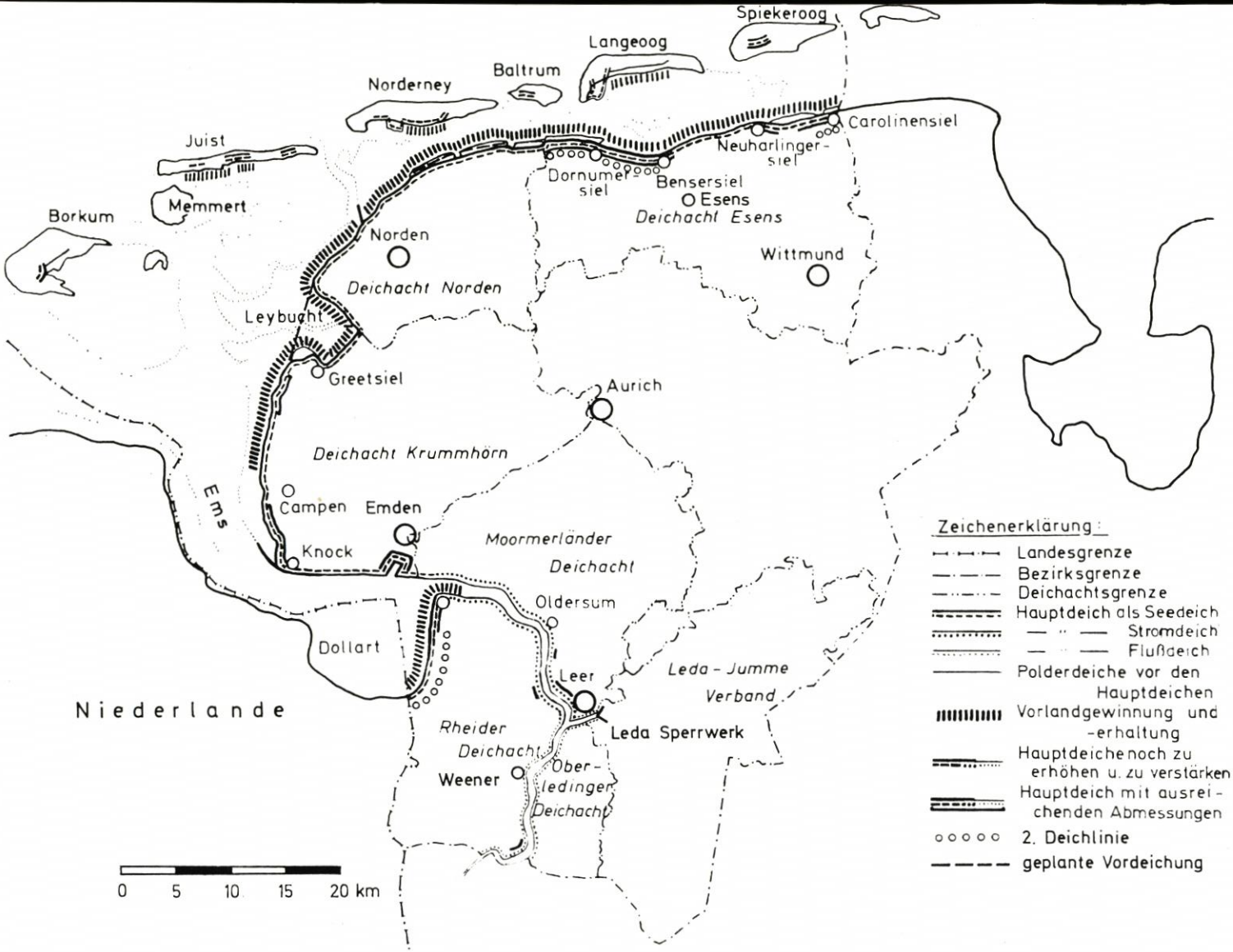


Abb. 1. Übersichtskarte Ostfrieslands (Regierungsbezirk Aurich) mit Gliederung und Ausbauzustand der Hauptdeiche mit Arbeitsgebieten der Vorlandgewinnung und -erhaltung und anderen deichtechnischen Angaben

wichtige Deichvorland ggf. durch Anlage von Schutzwerken endgültig zu sichern (Arbeitsgruppe „Küstenschutz", 1955).

Landgewinnung ist seit Jahrhunderten in Ostfriesland mit großem Erfolg betrieben worden. Besonders in den ehemaligen Meereseinbrüchen konnten große Flächen fruchtbaren Bodens zurückgewonnen werden. Die günstige Wirkung des Vorlandes für den Deichschutz war zwar immer schon bekannt (Brahms, 5; Bothmann, 4a); sie ist jedoch früher vielfach nur als Beigabe bei der Schaffung neuer landwirtschaftlicher Nutzflächen angesehen worden. Heute ist der aktive Küstenschutz durch Vorlandgewinnung ganz auf den Schutz der Küste ausgerichtet. Diese Zielsetzung sowie die dadurch bedingte Ausdehnung der Arbeiten auf ungünstige Arbeitsbereiche mit niedrigen Wattlagen führten zu einer Weiterentwicklung der Bauweisen. Das Ziel der Arbeiten ist die Gewinnung bzw. die Erhaltung eines rd. 200 m breiten Vorlandes vor allen Seedeichen. Die niedersächsische Wasserwirtschaftsverwaltung führt heute durch das Bauamt für Küstenschutz in Norden Küstenschutzarbeiten zur Gewinnung und Erhaltung eines Deichvorlandes auf etwa 94 km Küstenstrecke Ostfrieslands aus[1]).

Die Stromdeiche an der Ems zwischen Pogum und Leerort haben fast überall ein Vorland, das allerdings infolge der durch die Schiffahrt verursachten starken Uferabbrüche mehr und mehr einer Sicherung bedarf.

Für die Flußdeiche entlang der Ems oberhalb Leerorts gilt dasselbe. Die Flußdeichstrecke der Leda ist nach Inbetriebnahme des Ledasperrwerkes bei Leer auf 2 km zusammengeschrumpft. Durch das Sperrwerk wurden allein in Ostfriesland rd. 100 km und zusammen mit dem auf den Verwaltungsbezirk Oldenburg entfallenden Anteil rd. 250 km stark gefährdeter Deiche mit ungünstigen Untergrundverhältnissen entlastet und ihrer Aufgabe als Sturmflutkehrung enthoben (Krause, 29). Als Hochwasserdeiche behalten sie allerdings weiterhin ihre Aufgabe.

Im Schutze der Düneninseln haben sich im Laufe der Zeit an ihrer Wattseite durch geringe Schlickablagerungen grüne Heller gebildet. Die niedrigen Teile der Ortschaften sowie Teile der bewirtschafteten Heller sind durch Hauptdeiche vor Sturmfluten geschützt worden. Insgesamt bilden rd. 22 km Hauptdeiche den Sturmflutschutz an der Wattseite der Inseln Borkum, Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog und Spiekeroog. Die besondere Lage dieser Deiche sowie der Mangel an deichfähigem Boden führen zu Besonderheiten beim Bau und bei der Unterhaltung dieser Deiche.

Die schwere Sturmflut, die die deutsche Nordseeküste am 16./17. Febr. 1962 heimgesucht hat, hat neue Erkenntnisse und Erfahrungen für die Bemessung der Deichhöhe, die Gestaltung des Deichquerschnitts sowie für die Deichbautechnik und die Deichpflege gebracht. Auch an den Hauptdeichen Ostfrieslands traten schwere Schäden auf. Es zeigte sich, daß nahezu die gesamte Hauptdeichstrecke des Regierungsbezirks erhöht und verstärkt werden mußte. Bis Ende 1967 sind von den gefährdetsten Deichen rd. 37 km auf das neue Bestick gebracht.

Die angewandten Bemessungsgrundsätze und Bauweisen sind nachfolgend eingehend beschrieben. Aber auch den neuen Bemessungsverfahren haften noch Unsicherheiten an. Weder über etwa zu erwartende höchste Sturmflutwasserstände noch über die maßgebenden Seegangswerte an der deutschen Küste liegen ausreichende Kenntnisse vor. Trotz dieser Unsicherheiten müssen die Deiche erhöht und verstärkt werden, und zwar möglichst schnell. Es ist zu hoffen, daß die Zeit bis zu einer neuen schweren Sturmflut ausreicht, das Werk zu vollenden.

---

[1]) Hierüber wird in Kürze in einem gesonderten Aufsatz noch ausführlich vom Verfasser berichtet werden.

Die Küste, 19 (1970), 125-185

2. Vorlandgewinnung als aktiver Küstenschutz

2.1. Bedeutung des Vorlandes für den Deichschutz

Die günstige Wirkung des Deichvorlandes für den Deichschutz durch Verringerung der Wellenkräfte und des Wellenauflaufs ist seit langem bekannt. Schon 1754 weist ALBERT BRAHMS in seiner grundlegenden Anweisung „Anfangsgründe der Deich- und Wasser-Baukunst" auf die Bedeutung des Vorlandes für den Deichschutz hin (5). 1770/71 beschreibt HUNRICHS (25) Baumaßnahmen zur Erhaltung des schützenden Deichvorlandes, und 1788 finden wir bei TETENS (57a) ähnliche Angaben. Auf die Schaffung dieses schützenden Vorlandes sind die Arbeiten für den aktiven Küstenschutz ausgerichtet. Das Vorland bewirkt nämlich eine Vorverlegung des Angriffsbereiches der Wasserkräfte weiter seewärts („Vorwärtsverteidigung", LÜDERS, 33).

Folgende Hauptvorteile eines ausreichend hohen Deichvorlandes seien genannt:

1. Bei einem Deich hinter einem Deichvorland übernimmt dieses den natürlichen Schutz für den Deichfuß, so daß die Kosten für das teure schwere Deckwerk, wie es beim Schardeich notwendig ist, eingespart werden können.
2. Weitaus wichtiger aber ist die durch das Vorland bewirkte Verringerung des Wellenauflaufs am Deich sowie der die Deichböschung beanspruchenden Wellenkräfte. Die Deichhöhe kann somit niedriger als bei Schardeichen gehalten werden, und die Gefahr von Böschungsschäden bei Sturmfluten ist wesentlich geringer.
3. Ein nicht zu unterschätzender Vorteil eines Deichvorlandes liegt ferner darin, daß bei einem Deichbruch kein Strombruch entstehen kann, durch den das Wasser auch nach dem Abklingen der Sturmflut zunächst in jeder Tide ein- und ausströmt. Auf dem bei normalen Tideverhältnissen nicht überschwemmten Vorland kann hingegen schnell ein Notdeich aufgeworfen werden.
4. Auch für die Deicherhaltung und Deichpflege bringt ein Deichvorland entscheidende Vorteile. Für die Ausbesserung von Ausschlägen am Deichkörper eignen sich der auf dem Vorland zu gewinnende Klei und zur Abdeckung im unteren Deichbereich ausschließlich die im Vorland geschnittenen Salzwassersoden (LAFRENZ, 30).

2.2. Ziel und Umfang der Vorlandgewinnung in Ostfriesland

Das Ziel der Neulandgewinnung war seit Jahrhunderten bis etwa zur Mitte unseres Jahrhunderts die Schaffung möglichst großer Neulandflächen für bäuerliche Siedlungen. Die Arbeiten wurden dabei an Stellen der Küste durchgeführt, wo gute natürliche Anlandungsverhältnisse bestanden. Die Anlandungswerke lagen durchweg auf höherem Watt. Sie konnten in einfacher Bauweise als Buschdämme gebaut werden, denn sie waren oft nach wenigen Jahren verlandet.

Nach dem großen Rückschlag im zweiten Weltkrieg und dem weitgehenden Verfall der Anlandungswerke wurden die Arbeiten in den 50er Jahren wieder aufgenommen, jedoch mit anderer Zielsetzung. Wegen der günstigen Wirkung des Vorlandes auf den Deichschutz wurde von nun an die Vorlandgewinnung in verstärktem Maße als aktiver Küstenschutz betrieben. Es begann die Vorlandgewinnung auch vor scharliegenden Deichen mit niedriger Wattlage, um auch hier den Deichschutz durch ein angestrebtes, etwa 200 m breites Vorland zu verbessern. Diese ungünstigeren Verhältnisse erforderten zwangsläufig andere Arbeitsmethoden und schwerere Bauweisen für die Landgewinnungswerke. Auf den früheren Arbeitsgebieten lag das Watt

bei Einleitung der Landgewinnung bis zu max. 70 cm unter MThw. Jetzt sollte auch auf Flächen, die bis zu 150 cm unter MThw lagen, Vorland gewonnen werden.

Durch die Übernahme der Vorlandgewinnungsarbeiten durch die niedersächsische Wasserwirtschaftsverwaltung als staatlicher Küstenschutz sind die Voraussetzungen für eine zielstrebige und kontinuierliche Arbeit für den aktiven Küstenschutz auch bei ungünstigen Verhältnissen geschaffen worden.

Auf der 118,5 km langen Seedeichstrecke finden sich Hauptdeiche		
als Schardeiche auf	65,5 km	
davon mit eingeleiteter Vorlandgewinnung durch das Land Niedersachsen auf		43,0 km
mit Vorland auf	53,0 km	
davon Maßnahmen zur Vorlanderhaltung durch das Land Niedersachsen auf		49,5 km
Küstenstrecke insgesamt	118,5 km	
davon mit Maßnahmen der niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung durch das Bauamt für Küstenschutz Norden zur Vorlandgewinnung und Vorlanderhaltung (Abb. 1)		92,5 km
ferner:		
Vorlandgewinnung vor dem Stromdeich Ditzum/Pogum		1,5 km
Küstenschutzmaßnahmen des Landes Niedersachsen insgesamt		94,0 km

2.3. Neue Lahnungsbauweisen

Die Landgewinnungsfelder haben in Ostfriesland in der Regel Seitenlängen von 100 x 200 m. In der seedeichparallelen, 200 m langen Querlahnung befindet sich die 15—20 m breite Öffnung, durch die der Hauptentwässerungsgraben das Feld verläßt und zum Priel im Watt führt. Senkrecht zur Querlahnung und in etwa auch senkrecht zur Hauptdeichlinie sind die Hauptlahnungen — auch Längslahnungen genannt — im Abstand von 200 m angeordnet.

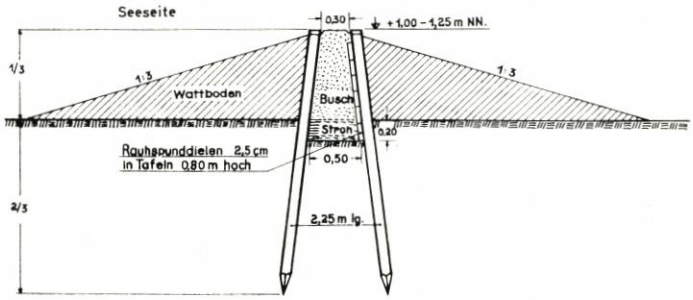


Abb. 2. Buschlahnung – Regelquerschnitt

Nach Änderung der Zielsetzung in der Landgewinnung wurde im Lahnungsbau zunächst noch mit den althergebrachten Baustoffen weitergearbeitet. Nach wie vor wurden die Lahnungen in überwiegendem Maße als Buschdämme gebaut. Auf niedrigeren Wattflächen wurden diese Buschdämme allerdings den größeren Beanspruchungen durch eine etwas schwerere Bauweise angepaßt (9) (Abb. 2). Insbesondere die äußeren Querlahnungen wurden an den See- und Angriffsseiten in der Regel zusätzlich durch eine Spreutlage gesichert (Abb. 3). Der Buschdamm erwies sich aber trotz verstärkter Bauweise schon bald für besonders tiefe Wattlagen als zu leicht. Für diese ungünstigen Verhältnisse mußten schwere Bauweisen entwickelt werden, Schüttsteindämme wurden buhnenartig vom Deich aus in das Watt vorgetrieben und dienten als erstes weitmaschiges Lahnungssystem, das dann durch Buschdämme

Die Küste, 19 (1970), 125-185

unterteilt wurde. Als Kern der Schüttsteindämme wurde der anstehende Wattboden aufgeworfen, mit Stroh und Busch abgedeckt und danach mit Schüttsteinen bepackt (Abb. 4). Den Lahnungsfuß bildeten Rauhspundtafeln, die von Stackpfählen gehalten wurden. Zur Vermeidung von Durchläufigkeit wurde eine Rauhspundtafel in der Lahnungsachse von dem Steinanwurf aufgestellt. Diese Dämme haben sich sehr gut bewährt. Der Schüttsteinbedarf betrug jedoch bei einer Dammhöhe von rd. 1,5 m etwa 5 t/lfdm.

Die Baustofftransporte verursachen im Watt große Schwierigkeiten, da einerseits Landfahrzeuge praktisch nicht verkehren und andererseits nur sehr flachgehende Arbeitsschiffe oder Schuten mit relativ geringer Ladefähigkeit eingesetzt werden können. Durch den Einsatz von Betonsteinen zur Pflasterung der Dammoberfläche konnte der Materialbedarf um über 50 % auf 2,4 t/lfdm Lahnung herabgesetzt werden.

Jahrelange Bemühungen haben zu der heute üblichen Lahnungsdecke aus Betondeckwerksteinen mit horizontalem und vertikalem Verbund geführt. Der Lahnungsquerschnitt wird dabei folgendermaßen aufgebaut:



Abb. 3. Buschlahnung mit Spreutlage – vordere Querlahnung, rechts dichter Queller- und Spartinabewuchs



Abb. 4
Schüttsteinlahnung

Zwischen den beiden seitlichen Fußsicherungen aus Holztafeln mit Stackpfählen wird der Kern der Lahnung aus Wattboden aufgeworfen, profiliert gemäß Abb. 5 und mit einer Niederdruckpolyäthylenfolie von 0,6 mm Stärke abgedeckt. Zum Schutz dieser Folie wird darüber eine einfache Schilfrohrmatte ausgebreitet. Darauf wird dann das Deckwerkpflaster verlegt, das in der Regel 15 cm stark ist. Es wird so verlegt, daß infolge des Horizontalverbundes über die

gesamte Lahnungsoberfläche in einem Querschnitt ein durchgehender Verbund besteht, so daß nicht durch ein eventuelles Ausweichen der Fußsicherungen eine Spaltenbildung an der Lahnungskrone zu befürchten ist. Der Vertikalverbund verhindert ein Herausschlagen oder Ver-

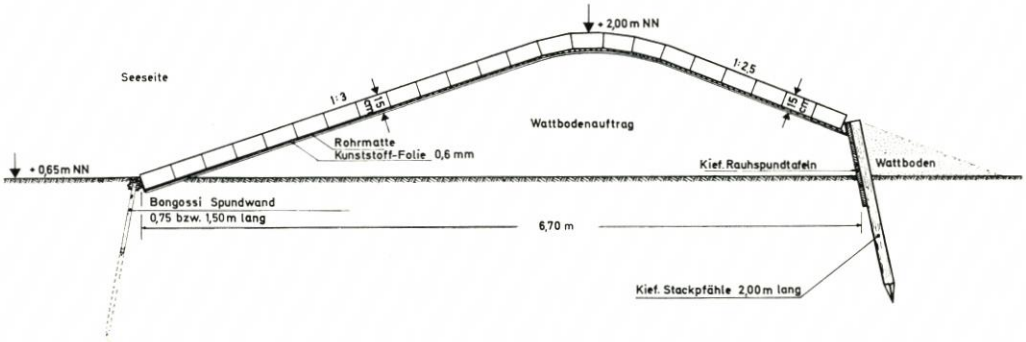


Abb. 5. Schwere Lahnung – vordere Querlahnung – mit Abdeckung aus Betondeckwerksteinen mit horizontalem und vertikalem Verbund

sacken einzelner Steine. Trotzdem bleibt bei diesem Doppelverbund eine elastische Decke erhalten, die sich den Verformungen des Kerns anpassen kann und diese andererseits erkennen läßt (Abb. 6).

Bildet die Lahnung in besonderen Fällen die vordere Sicherung eines aufzuspülenden oder aber in sehr kurzer Zeit zu schaffenden Vorlandes, so erhält sie an der Rückseite eine etwa 3 m breite Hinterpflasterung, die als „Tosrinne" wirkt und den Aufprall der überschwappenden Wellen auf das grüne Vorland mindert. Im übrigen ähnelt die Bauweise der oben beschriebenen.

1967 wurde erstmalig ein bisher in der Landgewinnung vollkommen fremder Baustoff „Verhüttungsrückstände" beim Lahnungsbau eingesetzt (9). Auf der äußerst nie-



Abb. 6
Betondeckwerksteine mit horizontalem und vertikalem Verbund werden auf eine die Folie schützende Rohrmatte verlegt

rigen schlickigen Wattfläche in Ostermarsch, 4 km nordöstlich von Norddeich, die etwa 1,40 m unter MThw liegt, sollte die vordere schwere Querlahnung mit einer Länge von etwa 900 m gebaut werden. Geeigneter Boden für den Dammkern stand weder im Bereich der Trasse noch

Die Küste, 19 (1970), 125-185

in der Nähe zur Verfügung. Daher wurde der Entschluß gefaßt, Verhüttungsrückstände für diesen Bau zu erproben (ERCHINGER, 9a).

Ein besonderer Vorteil dieses Materials ist, daß der ins Watt geschüttete Lahnungsunterbau vor der endgültigen Profilierung als Fahrspur von schweren Lastkraftwagen befahren werden kann und damit den Materialtransport wesentlich erleichtert.

Die Entwicklung schwerer Lahnungen in dauerhafter wirtschaftlicher und zweckmäßiger Bauweise scheint damit gelungen; dagegen ist die Weiterentwicklung einer leichten Lahnung



Abb. 7. Lahnung aus PE-Gewebeschlauch wird im Spülverfahren mit Sand gefüllt



Abb. 8. Leichte Lahnung aus Betonfertigteilen

für den Einsatzbereich des althergebrachten, durchaus bewährten Buschdammes noch nicht abgeschlossen. Ein 1967 angelegter Versuch mit einem mit Wattboden vollgespülten Schlauch aus PE-Flachgarn-Gewebe — auch Bändchen-Gewebe genannt — soll hier doch wegen der Aktualität des Problems kurz erläutert werden, obwohl noch keine abschließenden Erfahrungen vorliegen. Zwischen zwei völlig leerstehenden Pfahlreihen einer alten Buschlahnung ohne seitliche Holztafeln wurde ein 100 m langer Schlauch aus Niederdruck-Polyäthylen-Bändchen-Gewebe mit 1 m Durchmesser eingelegt und dann mit einem kleinen Spülbagger mit sandigem Wattboden gefüllt (Abb. 7). Der so hergestellte prall gefüllte schlauchartige Damm von 70 bis 90 cm Höhe wird seine Festigkeit gegen die dauernden Angriffe des Wassers und insbesondere gegen Eis und ähnliche Beanspruchungen zu beweisen haben. Es gilt aber auch, sein Verhalten in hydraulischer Hinsicht zu beobachten.

Als weiterer Versuch wurde im Sommer 1968 ein Betonfertigteil für leichte Lahnungen entwickelt und eingebaut. Bei 1 m Baulänge beträgt das Stückgewicht rd. 900 kg. Es kann auf festen Wattflächen schnell von Baggern verlegt werden. Die ersten Erfahrungen sind positiv (Abb. 8). Über die Ergebnisse wird später noch eingehender berichtet werden.

Die Küste, 19 (1970), 125-185

2.4. Maschinelle Begrüppung

Neben der Schaffung von Landgewinnungsfeldern durch die zweckmäßige Anlage geeigneter Lahnungen stellt die altbekannte Begrüppung der Anlandungsflächen die zweite wesentliche Arbeit bei der Schaffung neuen Landes aus dem Meer dar.

Das regelmäßige, jeweils nach 2—4 Jahren wieder notwendige Begrüppen der Landgewinnungsfelder wurde mangels geeigneter Maschinen vor zehn Jahren noch fast ausschließlich von Menschenhand ausgeführt. Große Arbeiterkolonnen zogen damals Tag für Tag während der Arbeitssaison ins Watt, um dort auf den Anlandungsflächen zu schlöten[2]).

Die jahrelangen intensiven Bemühungen um die Entwicklung einer geeigneten, wirtschaftlich arbeitenden Grüppenmaschine haben erfreulicherweise zur Schaffung von zwei in der Landgewinnung sehr gut einsetzbaren Geräten geführt. Ein Spezial-Hydraulik-Grüppenbagger niederländischer Herkunft und eine Grabenfräse wurden für die Begrüppung der Anlandungsflächen entwickelt. Der Grüppenbagger ist auf einem Schwimmponton montiert und hebt mit einem Spezialtieflöffel in der Arbeitsweise der Hydraulikbagger die Grüppen aus (Abb. 9). Der Grüppenquerschnitt hat dabei eine obere Breite von 2,2 m, eine untere Breite von 1,2 m und eine Tiefe von 0,5 m, so daß der Aushub etwa 0,8 m³/lfdm beträgt. Der Bagger zieht sich an einem Drahtseil über den weichen Schlick rutschend weiter. Das Seil wird am Ende der Grüppe von einem Anker gehalten, der jeweils nach Fertigstellung von einer Grüppe zur nächsten weitergelegt werden muß. Gegenüber der Handarbeit besteht beim Einsatz dieser Grüppenbagger in technischer Hinsicht ein erheblicher Vorteil darin, daß der Boden kompakt ausgehoben und in Beetmitte abgelagert wird. Die Gefahr, daß der Boden in die Grüppen zurückgespült wird, ist wesentlich geringer als bei Handarbeit (Lafrenz, 30, Abb. 30–32). Heute werden in Ostfriesland für die Begrüppung der Landgewinnungsfelder ausschließlich diese Grüppenbagger eingesetzt. Sie eignen sich für alle Flächen vom schlickigen Sandwatt bis zum reinen Schlickwatt, und zwar bis zu einem mittleren Bewuchs der Flächen. Auf reinem Sandwatt, wie es beispielsweise an den Südseiten der Inseln anzutreffen ist, und bei sehr dichtem hohen Bewuchs auf den Anlandungsflächen eignen sich diese Grüppenbagger nur bedingt.

Auf dichtbewachsenen, höheren festen Anwachsflächen kann die Grabenfräse die Begrüppung durchführen. Ein Fräsrad mit 2,2 m ⌀ wird an einem hydraulisch beweglichen Arm von einem Raupenfahrzeug getragen. Das Gewicht des Geräts ist u. a. durch Leichtmetallraupenglieder recht gering gehalten. Bei einer Raupenbreite von 1,1 m und einer Raupenlänge von 5,65 m wiegt es 14 t und verursacht nur einen Flächendruck von 12 kp/cm² (Abb. 10).

Mit dieser Fräse wird eine etwa halbkreisförmige Grüppe mit einer oberen Breite von 1,2 m und einer Tiefe von etwa 60 cm bei einem Aushub von etwa 0,5 m³/lfdm in einem Fräsgang geschaffen. Durch einen mehrfachen Fräsgang können entsprechend größere Grüppen hergestellt werden. Die Stundenleistung beträgt i. M. etwa 250 m bei einem Fräsgang.

Zwischen diesen beiden hier beschriebenen Geräten bestand bis 1966 eine Lücke für die Begrüppung der Anlandungsflächen. Auf stark bewachsenem, aber noch sehr weichem schlickigen Anwachs bereitete die Fortbewegung der Grüppenbagger am Seil Schwierigkeiten. Andererseits konnte aber auch die Grabenfräse hier noch nicht eingesetzt werden. Erstmalig wurde dann ein Hydraulikbagger mit einem Spezialraupenfahrwerk verwendet, dessen hölzerne Raupenplatten bei sehr großer Raupenbreite muldenartig nach unten gewölbt sind, so daß der Bagger sich damit auf den trotz des Bewuchses sehr weichen Wattflächen sicher fortbewegen konnte. Dieser mit Spezialmoorraupen ausgestattete Hydraulikbagger schließt eine Lücke in der

---

[2]) schlöten = begrüppen oder grüppeln

Die Küste, 19 (1970), 125-185

Mechanisierung der Begrüppung der Landgewinnungsfelder, so daß heute die Begrüppung vom niedrigen Watt bis zur grünen Andelwiese ausschließlich maschinell durchgeführt werden kann.



Abb. 9
Grüppenbagger im Einsatz – Zugseil an der Querlahnung im Hintergrund befestigt



Abb. 10
Grabenfräse bei der Begrüppung auf dem Deichvorland

2.5. Vorlandaufspülung

Vor einem großen Teil der scharliegenden Seedeiche Ostfrieslands sind die Landgewinnungsarbeiten vor etwa 10 bis 15 Jahren eingeleitet worden. Hier hat sich inzwischen eine beträchtliche Schlickschicht gesammelt. Auch sind die ehemals nackten Wattflächen zwischenzeitlich vielfach von Queller und Spartina besiedelt. Ein über MThw liegendes Vorland ist aber in der Regel noch nicht erreicht. Soll nun auf einer solchen Strecke der scharliegende Hauptdeich erhöht und verstärkt werden, so ist zu entscheiden, ob der Deich hier noch als Schardeich mit schwerem Deckwerk ausgebildet werden muß oder ob er bereits in Anbetracht der erfolgreich verlaufenden Vorlandgewinnungsarbeiten als Vorlanddeich, d. h. als Deich mit nach unten flacher werdender, grüner Außenböschung und mit gut ausgerundetem Übergang ins Vorland,

gebaut werden kann. In solchen Fällen ist es u. U. technisch zweckmäßig und wirtschaftlich vorteilhaft, die Anwachsflächen um das bis zu einem festen Vorland fehlende Maß von wenigen Dezimetern aufzuspülen, um dadurch beim Deichbau die billigere Lösung des Vorlanddeiches wählen zu können.

Gegenüber der ersten Vorlandaufspülung im Jahre 1963 im Zusammenhang mit dem Deichbau in Westeraccumersiel (DRINKGERN, 8) wurde das Verfahren auf Grund der gesammelten Erfahrungen inzwischen wesentlich verfeinert. Wenn bereits eine erhebliche Schlickschicht zur Ablagerung gekommen ist, wird eine weitere Vorlandaufhöhung durch Aufspülung folgendermaßen vorgenommen:

Zunächst werden die Landgewinnungsflächen auf einem etwa 200 m breiten Streifen vor dem neuen Hauptdeich mit Grüppen, die die doppelte Breite und doppelte Tiefe der normalen Grüppen haben, durchzogen, so daß ein Aushub von etwa 3 m³/lfdm in Beetmitte abgelagert wird. Im zweiten Arbeitsgang wird Wattboden zwischen die Aufspülwälle gespült. Nach Abtrocknung der Spülflächen werden in einem dritten Arbeitsgang die herausragenden Kappen der Schlickwälle planiert und neue Grüppen in Beetmitte angelegt, so daß der aufgespülte sandige Wattboden eine etwa 25 cm starke Schlickabdeckung erhält. Vor Beginn der Aufspülung wird als spätere vordere Sicherung der aufzuspülenden Vorlandfläche eine schwere Lahnung erstellt. Hierfür ist der unter 2.3. beschriebene Lahnungsquerschnitt mit Tosrinne geeignet.

Wird das Deichvorland im Zusammenhang mit der Deichkernspülung im Zuge der Hauptdeicherhöhung aufgespült, so können sich die nicht im Deich erwünschten Feinbestandteile im Vorland absetzen, so daß diese Kombination technische und wirtschaftliche Vorteile bietet. Die Kosten der gesamten Maßnahme der Deicherhöhung und -verstärkung, der Vorlandaufspülung einschließlich vorderer Sicherung sind in der Regel geringer als die Kosten, die bei der Deicherhöhung und -verstärkung in Form eines Schardeiches mit schwerem Deckwerk entstehen würden. Selbst bei Kostengleichheit ist noch ein erheblicher wirtschaftlicher Vorteil darin zu sehen, daß nach der Aufspülung die alten Landgewinnungswerke in Form von Buschdämmen bedeckt und nicht mehr zu unterhalten sind und auch die Kosten der noch verbleibenden Begrüppungen wesentlich geringer sind. Ferner sollte bedacht werden, daß durch eine solche Maßnahme das schützende Vorland gleichzeitig mit der Deicherhöhung geschaffen und gerade die anfangs nicht so verfestigte Deichaußenböschung vor besonders starkem Wellenangriff bewahrt wird.

Nach diesem Verfahren ist 1968 in der Deichacht Krummhörn bei Pilsum auf einer Strecke von 2,5 km Länge ein Vorland durch Aufspülung im Zusammenhang mit der Deicherhöhung und -verstärkung aufgehöht worden. Auch hier zeigte sich, daß die durch die Aufspülung des Vorlandes gleichzeitig erzielte Schutzwirkung für den Deich neben all den anfangs genannten Vorteilen eines Vorlandes für die Sicherheit des Deiches von erheblicher Bedeutung sein kann.

3. Hauptdeiche

3.1. Die Deiche Ostfrieslands und das geschützte Gebiet

Die 207 km lange Hauptdeichstrecke des ostfriesischen Festlandes gliedert sich in

118,5 km Seedeiche,
45,0 km Stromdeiche und
43,5 km Flußdeiche

auf. Darüber hinaus sind auf allen ostfriesischen Inseln zum Schutz der niedrig gelegenen Ortsteile ebenfalls Hauptdeiche von insgesamt 22,3 km geschaffen worden.

Die Küste, 19 (1970), 125-185

Die Seedeiche reichen von der östlichen Bezirksgrenze bei Harlesiel entlang der ganzen Nord- und Westküste Ostfrieslands bis zum Eintritt der Ems in den Dollart östlich des Hafens Emden und von Pogum auf dem gegenüberliegenden linken Emsufer entlang der Ostseite des Dollarts bis zur Grenze gegen das Königreich der Niederlande bei Nieuwe-Statenzyl (LÜDERS, LIESE, KRAMER, 35). Auf über 55 % dieser Strecke, nämlich auf rd. 65 km, liegt der Seedeich schar. Dieser große Anteil von Schardeichen zeigt die Bedeutung, die der Vorlandgewinnung in Ostfriesland zukommt. Bis auf eine Strecke von 22,5 km oberhalb und insbesondere unterhalb des Hafens Emden an der Ems werden überall Landgewinnungsarbeiten betrieben, um hier in absehbarer Zeit das schützende Vorland vor den jetzigen Schardeichen zu gewinnen (Abb. 1).

Auf Teilstrecken sind Polderdeiche den Hauptdeichen vorgelagert, die größtenteils von privater Seite geschaffen wurden. Sie haben in der Regel etwa die Höhe der dahinterliegenden alten Hauptdeiche und stellen somit einen erheblichen Schutz der Küste dar. Auf einigen

Tabelle 1

Übersicht über Deichachten, Deichstrecken und Inseldeiche

Nr.	Deichverband	Gebietsgröße (ha)	Deichlängen (km) Stand 1964	Flußdeich	Stromdeich	Seedeich	Erhöhung und Verstärkung der Deiche (km) bis Dez. 1968 ausreichend	ab Jan. 1968 noch erforderlich
	A. Festland							
1	Leda-Jümme-Verband in Leer	75 400	2	2				2
2	Oberledinger Deichacht in Driever	8 175	19	19				18
3	Moormerländer Deichacht in Oldersum	36 130	27	2,5	24,5			26
4	Rheider Deichacht in Weener	27 305	51	20	20,5	10,5	4	47
5	Deichacht Krummhörn in Pewsum	48 000	47			47	12	33*
6	Deichacht Norden in Norden	24 000	32			32		26*
7	Deichacht Esens in Esens	40 000	29			29	21	8
		259 010	207	43,5	45	118,5	37	160*
	B. Inseln							
8	Borkum		2,5			2,5		2,5
9	Juist		4,5			4,5	3,6	0,9
10	Norderney		8,7			8,7		8,7
11	Baltrum		0,6			0,6	0,6	
12	Langeoog		4,1			4,1		4,1
13	Spiekeroog		1,9			1,9	1,9	
			22,3			22,3	6,1	16,2

* Unter Berücksichtigung der Verkürzung durch die Leybuchteindeichung

Strecken sind vor den Hauptdeichen Sommerdeiche gebaut worden, die im Unterschied zu den Polderdeichen mit Winterdeichhöhe nur einen Schutz vor Sommerüberflutungen gewähren sollen. Aber auch ihre Bedeutung für den Küstenschutz darf, wie später noch gezeigt werden wird, nicht unterschätzt werden.

Eine zweite Deichlinie ist in Ostfriesland nur auf wenigen Strecken vorhanden. Bei der Erhöhung und Verstärkung von Hauptdeichen im Rahmen des niedersächsischen Küstenprogramms sind jedoch teilweise Hauptdeiche vorverlegt und insbesondere Polderdeiche zu Hauptdeichen ausgebaut worden. Die so zu Schlafdeichen abgestuften alten Hauptdeiche werden im allgemeinen als zweite Deichlinie erhalten.

Die Stromdeiche fassen die untere Ems zwischen Emden bzw. Pogum und Leerort bzw. Bingum ein. Oberhalb schließen die Flußdeiche bis zur Grenze des Regierungsbezirks Aurich entlang der Ems und an der Leda bis zum Leda-Sperrwerk bei Leer an.

Die Unterhaltung der Deiche ist in der Regel eine Aufgabe der Deichverbände (ostfriesisch: Deichachten). In Ostfriesland sind Deichachten nach dem Niedersächsischen Deichgesetz gebildet worden. Die Zuordnung der Deichstrecken und der Deichachtsflächen, die das geschützte Gebiet erfassen, ist aus der Tabelle 1 zu entnehmen (Abb. 1). Die auf die einzelnen Inseln entfallenden Strecken sind ebenfalls aus dieser Tabelle zu ersehen.

Das durch die Hauptdeiche geschützte Gebiet des ostfriesischen Festlandes ist nach oben durch die Höhenlinie NN + 5,0 m begrenzt und hat so eine Größe von insgesamt rd. 220 000 ha. Gemessen an der Gesamtfläche Ostfrieslands von rd. 314 000 ha sind rd. 70 % davon durch Sturmfluten gefährdet.

3.2. Geschichtliche Entwicklung

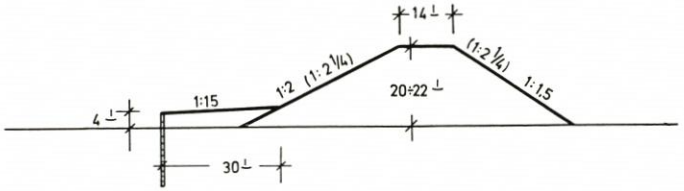
Einer der ersten bekannten Deichbauer zwischen Ems und Weser, Anton Günther von Münnich, beschreibt 1692 die Oldenburger Deiche und schlägt Verbesserungen vor (48). In Ostfriesland haben Münnich und später sein Sohn in den Jahren nach der folgenschweren Weihnachtsflut 1717 den Bau und die Verstärkung der Deiche im Amtsbezirk Emden geplant und geleitet. Für den Normalfall hält er in obiger Beschreibung Seedeiche mit Böschungsneigungen innen wie außen von 1:2¼ für ausreichend. Hunrichs (25) forderte 1770/71 bei stark beanspruchten Deichen eine Böschungsneigung von 1:3 bis 1:4 (Abb. 11). Er wies darauf hin, daß nicht nur die Lage zur Hauptwindrichtung und die Vorlandbreite und -höhe, sondern auch die „Beschaffenheit des Erdreichs, woraus er besteht", bei der Wahl der Böschungsneigung berücksichtigt werden müsse. Zuvor hatte Brahms schon 1754 bei Deichen, die starken Angriffen ausgesetzt seien, eine Böschungsneigung von 1:4 bis 1:6 vorgeschlagen (5). Interessant mag in diesem Zusammenhang auch sein, daß Brahms bereits die konvexe Deichböschung vorgeschlagen hat (Abb. 11) (5). Sie passe sich den jeweiligen Wellenangriffen bei unterschiedlichen Wasserständen am besten an. Da aber im unteren Bereich der Deich häufig angegriffen werde, sei hier doch eine flachere Neigung zu wählen.

Die unzureichenden Deichquerschnitte unserer Vorfahren sind folglich weniger auf die mangelnde Kenntnis der Deichbauer als vielmehr auf die Finanzierungsschwierigkeiten der Deichachten zurückzuführen. Und viele Berichte jener Zeiten lassen deutlich werden, daß nicht eine mangelnde Einsicht der Verantwortlichen, sondern die wirtschaftliche Not der Betroffenen die großzügige, sichere Deichbemessung nicht zuließen.

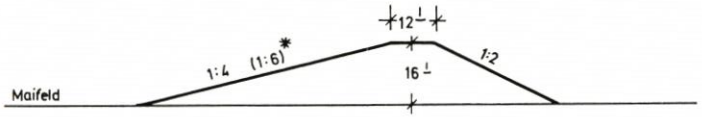
Münnich empfiehlt bei einer Deichgefährdung infolge Vorlandabbruchs die Vorschüttung einer etwa 10 m breiten Berme, die durch eine 1,2 m aus dem Watt ragende Holzwand gesichert werden soll (Abb. 11). Er sieht diesen vorderen senkrechten Abschluß vor, obwohl er auf die

Deichprofile nach Münnich 1692

Holzdeich: wenn Vorland im Abbruch oder Aussicht auf Wiederanlandung besteht



Deichprofile nach Brahms 1754

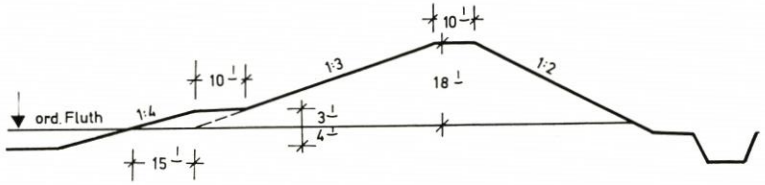


* bei sandigem Klei und besonders starkem Angriff Außenböschung 1:6 geneigt

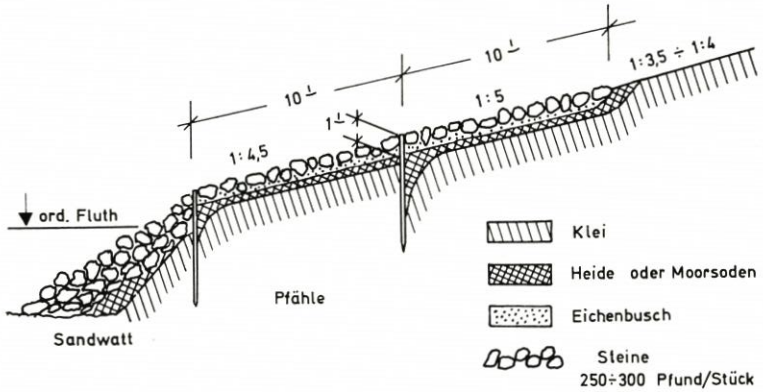


Vorschlag für konvexen Deich von BRAHMS 1754

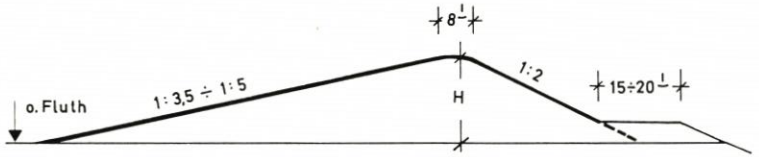
Deichprofil mit Berme nach Hunrichs 1767



Deckwerk eines Steindeiches nach Hunrichs 1770



Deichprofil nach Entwurf von 1825 (Arends)



	H		Böschung
Niederemsische Deichacht	14 ÷ 17	⊥	1:4 ÷ 1:5
Greetmer Deichacht	15 ÷ 16	"	1:4 ÷ 1:5
Wester- u. Lintelermarsch	16 ÷ 18,5	"	1:4 ÷ 1:5
Amt Berum	15 ÷ 16,5	"	1:3,5 ÷ 1:4
Amt Dornum	15 ÷ 16,5	"	1:3,5 ÷ 1:4
Amt Esens	15 ÷ 16,5	"	1:3,5 ÷ 1:4

1 ⊥ rheinl. = 31,39 cm

Abb. 11. Alte Seedeichprofile in Ostfriesland

Gefahren einer senkrechten Wand infolge dadurch hervorgerufener Auskolkungen und Vertiefungen des Watts hinweist. Die Nachteile dieser senkrechten Sicherungswerke, wie sie auch beim Stackdeich auftraten, wurden im 17. Jahrhundert zwar erkannt, bessere Bauweisen waren aber noch nicht gefunden.

Bei Larrelt westlich der Stadt Emden baute MÜNNICH 1719 noch eine Holzung, die erst 1825 aufgegeben wurde. Statt dessen erhielt der Deich dann eine flache Böschung unterhalb der ordinären Flut. Derartige ungeschützte Böschungen mußten in der Regel alljährlich wieder mit Stroh bestickt werden (Strohdeich) und stellten eine große finanzielle Belastung dar. Das Problem der Fußsicherung scharliegender Deiche hat die Verantwortlichen jahrhundertelang beschäftigt. Trotz aller Warnungen der Fachleute wurde die Erhaltung des anfangs überall vorhandenen Vorlandes zeitweise leider vernachlässigt, so daß das Vorland verlorenging.

Auch BRAHMS hat 1754 das Steindeckwerk noch nicht gekannt, denn er fordert in seinem Werk „Anfangsgründe der Deich- und Wasser-Baukunst" (5) energisch Maßnahmen zur Erhaltung des Deichvorlandes, da sonst ein Wasserdeich[3]) entstehe und kostspielige Holzungen angelegt oder ein Strohdeich[4]) unterhalten werden müsse oder aber ein reiner „Wasserdeich" — also ohne Sicherungswerk — entstehen würde. Vom „Steindeich" ist noch keine Rede.

Erst 1767 empfiehlt HUNRICHS für gefährdete Schardeiche am Deichfuß eine 1:4 geneigte Böschung vor einer 3 m breiten Berme. Die Entwicklung einer Fußbefestigung führte dann zum sog. „Steindeich" (Abb. 11). 1770/71 beschrieb er ein derartiges Deckwerk und errechnete, daß die Baukosten etwa so hoch wie bei einer „Holzung" seien, daß aber die weit geringere Unterhaltung und die Vermeidung der Auskolkungen erhebliche Vorteile gegenüber der Holzung böten (25).

Die hohe Deichlast der Marschbewohner ließ aber eine zusätzliche Investierung für ein Steindeckwerk lange Zeit nicht zu. Erst um 1900 erhielt der größte Teil der scharliegenden Seedeiche Ostfrieslands schwere Deckwerke aus Granit, Basalt oder Sandstein, die sich im großen und ganzen heute noch bewähren. Die Belastung der Deichachten betrug dadurch bis zu 14 Mark je ha, d. h. den Gegenwert von zwei Zentnern guten Weizens (WOLTER, 66).

Der 1825 bei Larrelt gebaute Deich hat bereits eine Querschnittsfläche von rd. 110 m² über MThw. Die für den Bau des Deiches notwendigen ungeheuren Bodenmassen wurden mit Schiebkarren und Wüppen[5]) transportiert. Die Entfernung zur Pütte (Entnahmestelle) sollte verständlicherweise so gering wie möglich sein. Dabei wurde das Bestreben, den Kleiboden möglichst aus dem Vorland zu entnehmen, vielfach nicht streng befolgt, so daß noch heute auf weiten Strecken sog. Saarteiche unmittelbar am binnenseitigen Deichfuß die alten Bodenentnahmen anzeigen. Nach 1825 wurde grundsätzlich ein Deichlängsweg auf der Binnenberme gefordert (MÜLLER, 47), während im 18. Jahrhundert ein Weg auf der Deichkrone noch die Regel war. HUNRICHS empfahl 1770/71 schon einen Weg auf der Deichbinnenseite mit der Begründung: 1. Gegendruck zum Deichgewicht, 2. gegen Sickerströmung und 3. als Verbindungsweg. Erst 1825 wurde grundsätzlich festgesetzt, daß auf der Krone kein Weg mehr liegen solle, aber auf einer genügend hohen Binnenberme ein Deichlängsweg anzuordnen sei. Unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten wurden nach 1825 die in Abb. 11 dargestellten Bestickmaße für die ostfriesischen Seedeiche festgesetzt. Die Neigung der Außenböschung lag zwischen 1:3,5 und 1:5.

Die südlich von Norden in der ehemaligen Leybucht jetzt aufgenommenen Deichprofile

---

[3]) heute: Schardeich.

[4]) Strohdeich: Deich, dessen Außenböschung durch Besticken mit Stroh befestigt ist (LÜDERS, 39).

[5]) Wüppe = zweirädriger Erdkarren, der in früheren Zeiten in der Marsch u. a. beim Deichbau verwendet wurde (LÜDERS, 33).

Die Küste, 19 (1970), 125-185

zur Bedeichung von Süderneuland	1558,
des Groß-Süder-Charlottenpolders	1677,
des Ernst-August-Polders	1845/46
und des Leybuchtpolders	1947/50

zeigen die Entwicklung der Deichquerschnitte von 1558 bis aus den Jahren 1950. Zum Vergleich sei der 1968 verstärkte Hauptdeich bei Pilsum südlich der Leybucht ebenfalls dargestellt (Abb. 12). Bei dem Deich von 1558 ist die Verbreiterung für eine Fahrspur auf der Deichkrone zu erkennen. Die Höhenlage des Maifeldes wächst im Laufe der Jahrhunderte mit dem MThw an, wie diese Aufnahmen deutlich machen.

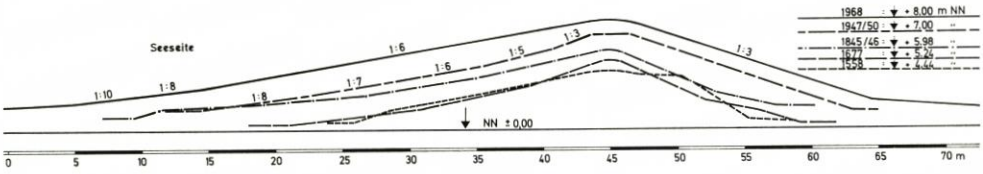


Abb. 12. Alte Deichquerschnitte in der Leybucht, aufgenommen 1968, darüber Querschnitt des Störtebekerdeiches (1947/50) und des neuen Hauptdeiches bei Pilsum (1968)

3.3. Deichbauten vor und Lehren aus der schweren Sturmflut 1962

Nach den in den letzten Jahrzehnten gewonnenen Erkenntnissen über die säkulare Höhenverschiebung zwischen dem Festland und dem Meeresspiegel wurden die Deichhöhen an der Küste allgemein überprüft (Hundt, 23; Lüders, 38; Petersen, 53). Insbesondere an der Ems wurden bereits in den 30er Jahren erhebliche Deicherhöhungen und -verstärkungen durchgeführt. Hier hatten nicht nur der säkulare Meeresanstieg und das starke Setzen der Deiche auf dem wenig tragfähigen Untergrund, sondern auch die umfangreichen strombautechnischen und deichbaulichen Maßnahmen die Erhöhung der Deiche dringend notwendig gemacht. Aber auch im übrigen Ostfriesland reichten die letztmalig nach der schweren Sturmflut vom 13. 3. 1906 überprüften und teilweise erhöhten Deiche nicht mehr aus. Die Arbeiten zur Verstärkung zu schwacher Deichstrecken mußten während des 2. Weltkrieges und in den Nachkriegsjahren unterbrochen werden. Erst nach der Sturmflutkatastrophe vom 1. 2. 1953 in den Niederlanden, die das „Niedersächsische Küstenprogramm 1955/64" mit veranlaßte, wurden die Deicharbeiten verstärkt fortgesetzt. Sie waren noch in voller Ausführung, als am Abend des 16. Febr. 1962 an unserer Küste eine schwere Sturmflut hereinbrach und umfangreiche Schäden verursachte (Küste 10, H. 1, 1962, 35, 46).

Durch die Erhöhung und Verstärkung der schwächsten Deichstrecken sowie durch den Bau von Deichmauern in einigen Sielorten waren die gefährdetsten Punkte der Küste bereits gesichert. Von der 207 km langen Hauptdeichstrecke des Festlandes wiesen nur 135 km keine nennenswerten Schäden auf. Auf 30 km wurden leichte Schäden, auf 32 km mittlere Schäden und auf 10 km Deichstrecke schwere Schäden verursacht. Als schwere Schäden wurden Ausschläge oder Rutschungen mit mehr als 1 m³/lfd. m Deich eingestuft (Lüders, Liese, Kramer, 35). Zu einem Deichbruch der Hauptdeichlinie kam es nicht; lediglich einige Polderdeiche wurden durchbrochen und einige weitere Polder durch Überströmen der Deiche überschwemmt. Die Überschwemmung von rd. 3000 ha entlang des rechten Emsufers im Süden Ostfrieslands ist auf den Bruch eines kurz vor seiner Erhöhung und Verstärkung stehenden Deiches südlich der Bezirksgrenze zurückzuführen (Kramer, 27, 28). Mit Sicherheit konnte durch die bis

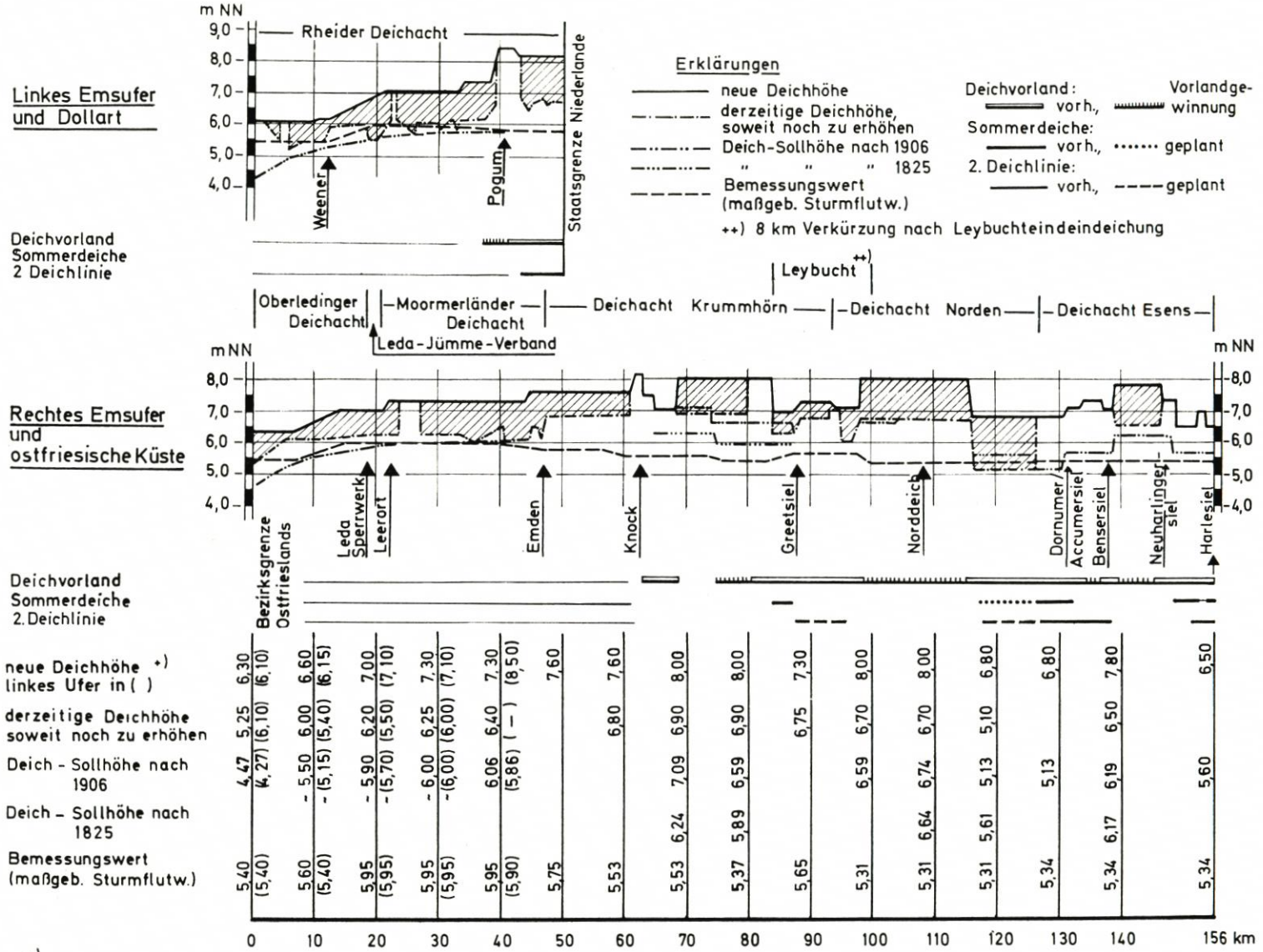


Abb. 13. Deichhöhen und Bemessungswerte der ostfriesischen Hauptdeiche (Längsschnitt) mit Sollhöhe, derzeitiger Höhe, Sollhöhe nach 1906 und 1825 und Angaben zum Deichvorland, zu Sommerdeichen und zur 2. Deichlinie

Die Küste, 19 (1970), 125-185

dahin durchgeführten Deichverstärkungsmaßnahmen sowie durch das 1954 fertiggestellte Leda-Sperrwerk größerer Schaden verhindert werden.

Deicherhöhungen und -verstärkungen wurden an der Küste bisher jedesmal vorgenommen, nachdem das Unglück eingetreten war. Dann zog man rückschauend die „Lehren" aus der Katastrophe und machte die Deiche so hoch und so stark, wie sie vor diesem Unglück hätten sein müssen, um es zu verhüten. Danach hatte man dann für 100 oder 200 Jahre Ruhe, bis die nächste, noch höhere Sturmflut neues Unheil brachte. Durch das „Niedersächsische Küstenprogramm 1955—1964" und die voraufgegangenen Einzelmaßnahmen wurde erstmalig in fast 1000jähriger Geschichte unserer Deiche ein neuer Weg eingeschlagen:

> *„Wir warten nicht ab, bis das Unglück eingetreten ist, sondern versuchen unter Heranziehung all unserer wissenschaftlichen und praktischen Erkenntnisse die im vor uns liegenden Jahrhundert zu erwartenden Orkanfluten ihrer Höhe nach abzuschätzen, schon heute die sich danach ergebenden notwendigen Deichhöhen herzustellen, um somit vorausschauend ein neues Unglück nach menschlichem Ermessen abzuwehren"*

(Lüders, 38). Und am Schluß des gleichen Artikels heißt es weiter:

> *„Die Zeit zu bestimmen, die hierfür — nämlich für die Durchführung der notwendigen Küstenschutzmaßnahmen — nötig ist, liegt in unserer Hand, aber die Zeit, die uns noch verbleibt, bis die nächste Orkanflut die Sicherheit und Standfestigkeit unserer Deiche prüfen wird, bestimmt nicht der Mensch. Möge das Schicksal uns dafür noch die unbedingt notwendige Frist gewähren!"*

Diese Frist war kurz. Sie betrug 5 Jahre. Schwere Schäden sind an den Deichen und Küstenschutzwerken entstanden, aber das große Unheil konnte in Ostfriesland abgewendet werden. Durch eine systematische Aufzeichnung und gründliche Untersuchung der Schäden und ihrer Ursachen — hier sei besonders auf den Bericht der Ingenieur-Kommission der niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung hingewiesen (35) — hat der Ingenieur wertvolle Erkenntnisse für den künftigen Deichbau und die Unterhaltung der Deiche gewinnen können. Entscheidend für die Entstehung der Schäden waren im allgemeinen unzureichende Deichabmessungen, ungünstige Querschnitte, unsachgemäß hergerichtete bauliche Anlagen am Deich sowie der Unterhaltungszustand der Deiche. Der erste Ansatzpunkt für einen Schaden war häufig eine ungenügend gepflegte Grasnarbe. Auch durch Treibgut aller Art wurden oft schwere Schäden ausgelöst. Der Küstenausschuß Nord- und Ostsee hat auf Grund dieser Beobachtungen und Erfahrungen 1963 die „Empfehlungen für den Deichschutz nach der Februar-Sturmflut von 1962" (13) erarbeitet, die heute als Richtlinien den Deichbauentwürfen zugrundegelegt werden.

3.4. Neue Deichhöhen

3.41. Allgemein

Nach der Sturmflut vom 3./4. 2. 1825 wurden die in Abb. 11 dargestellten Bestickmaße für die ostfriesischen Seedeiche festgesetzt. Diese von der Basis ordinärer Flut ausgehenden Höhen ergeben unter Berücksichtigung des saekularen Meeresanstieges von 23 cm in 100 Jahren (Hundt, 23) bei dem rd. 31 cm niedrigeren MThw die in Abb. 13 in Form eines vereinfachten Längsschnitts der Seedeiche von Harlesiel bis Emden dargestellten Höhen. Es mag überraschen, daß beispielsweise bei Norddeich bereits damals die heute noch vorhandene Deichhöhe festgesetzt worden ist.

Nach der Sturmflut vom 13. 3. 1906 wurden die Deichhöhen erneut festgesetzt, und zwar mit den ebenfalls in Abb. 13 dargestellten Höhen. Bei der Festsetzung dieser Deichhöhen überrascht insbesondere, daß als maximaler Wellenauflauf einschließlich Sicherheitszuschlag das

Maß von 2,0 m trotz der äußerst ungünstigen Verhältnisse bei Norddeich mit dem niedrigen Watt zugrundegelegt wurde. Die niedrige Lage des Fußes des 1901 hier errichteten schweren Basalt-Deckwerks läßt vermuten, daß das Watt auch damals schon recht niedrig lag. Heute liegt es am Deichfuß streckenweise unter NN ± 0. Der größte Wert, der für Wellenauflauf einschließlich Sicherheitszuschlag 1906 eingeplant wurde, beträgt 2,13 m, und zwar für die scharliegende Deichstrecke der Niederemsischen Deichacht im Raume Campen. Für den scharliegenden Deich der Greetmer Deichacht südwestlich von Greetsiel sind für Wellenauflauf und Sicherheitszuschlag lediglich 1,8 m angesetzt. Noch geringer, und zwar nur 1,42 m, wurden für Wellenauflauf und Sicherheitszuschlag bei dem ebenfalls scharliegenden Deich bei Neuharlingersiel eingeplant.

Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 hat an der Nordküste Ostfrieslands etwa 30 cm niedrigere Sturmflutwasserstände gebracht, als sie 1906 aufgezeichnet wurden. Nur an der Ems oberhalb von Leerort wurden die Wasserstände von 1906 überschritten, und zwar bis zu 40 cm (Lüders, Liese, Kramer, 35). Merklich höher als vermutet und als nach den vorhergehenden Deichhöhenfestsetzungen beschrieben, war der Wellenauflauf. Auf weiten Deichstrecken war der Teek (Treibsel) auf die Deichkrone geschlagen. Dabei war die vorherrschende Windstärke Bft. 9 bis 10 nicht einmal außergewöhnlich hoch. Diese Erkenntnisse führten dazu, daß die Deichhöhen der ostfriesischen Hauptdeiche von den Behörden der niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung 1962 neu berechnet wurden.

3.42. Berechnung des Bemessungswertes

Nach der Empfehlung der Arbeitsgruppe „Sturmfluten" des Küstenausschusses Nord- und Ostsee nach der Sturmflut vom 1. Februar 1953 war in Niedersachsen im allgemeinen das Einzelwert-Verfahren gebräuchlich, mit dem durch Addition des MThw (a), der größtmöglichen Springtideerhöhung (b), des Windstaues (c) und der saekularen Wasserstandshebung (d) der maßgebende Sturmflutwasserstand (im folgenden: Bemessungswert) errechnet wurde (Lüders, Leis, 40). In Ostfriesland wurde dieses Verfahren allerdings nicht angewendet, da hier örtliche Einflüsse, wie wechselnde Vorlandbreite und -höhe, Sommer- und Polderdeiche vor den Hauptdeichen mit unterschiedlichen Zuschlägen, zu berücksichtigen waren, so daß besser unmittelbar vom HHThw ausgegangen werden konnte (Metzkes, 45).

Auf Grund der Erfahrungen aus der Sturmflut von 1962 und zwischenzeitlich durchgeführten Modellversuchen für die Ems war es möglich, die verschiedenen o. g. Einflüsse sowohl an der Küste als auch an der Ems einigermaßen zu erfassen und beim Einzelwert-Verfahren zu berücksichtigen. Entsprechend den Empfehlungen der Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke" vom Herbst 1962 wird nun auch in Ostfriesland der Bemessungswert sowohl nach dem Einzelwert-Verfahren als auch nach dem Vergleichs-Verfahren ermittelt und der größere Wert der Deichhöhenberechnung zugrundegelegt (Metzkes, 44; Lüders, 40).

An drei Beispielen

a) für den scharliegenden Seedeich östlich von Bensersiel,
b) für den Störtebekerdeich mit Deichvorland bzw. dem Bezugspegel „Leybuchtsiel" in der Leybucht und
c) für den scharliegenden Stromdeich bei Leerort an der Ems

soll hier die 1962 nach dem Einzelwert-Verfahren durchgeführte Berechnung des Bemessungswertes erläutert werden (Tab. 2).

Zum Vergleich wurden 1965 in der niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung die Bemessungswerte nach dem Vergleichsverfahren berechnet. Zu dem HHThw, das für Bensersiel

Die Küste, 19 (1970), 125-185

Tabelle 2

Bemessungswert für den Seedeich bei Bensersiel und Leybuchtsiel sowie den Stromdeich bei Leerort

		Benser-siel	Leybucht-siel	Leer-ort
1. höchste Tidewasserstände				
1906	(m NN)	+ 4,77	—	+ 5,05
1962	(m NN)	+ 4,50	+ 4,84	+ 5,06
2. a: MThw 1951/60	(m NN)	+ 1,30	+ 1,23	+ 1,44
3. b: HHSpThw — MThw (höchste Springtideerhöhung der Wintermonate*)	(m)	0,49	0,49	0,48
4. c: größter Windstau über dem auf astronomischer Grundlage vorausberechneten Tidehochwasser = HHThw — Thw (ber.)				
1 9 0 6	(m)	3,30	—	3,44
Thw (ber.) 1906 = MThw 1906 + 29 cm*)				
MThw 1906 = MThw 1951/60 — 12,5 cm***)				
1 9 6 2	(m)	(3,28)	3,68	(3,65**)
Thw(ber) 1962 = MThw 1951/60				
abzügl.: für Bensersiel: 8 cm				
für Leybuchtsiel: 7 cm				
für Leerort: 3 cm				
(vgl. 56)				
5. d: saekularer Meeresanstieg in 100 Jahren***)	(m)	0,25	0,25	0,25
6. e: Einflüsse der seit 1906 durchgeführten Regelungsmaßnahmen in der Ems, der Eindeichungen oberhalb Papenburgs und des Ledasperrwerks (nach Modellversuchen im Franzius-Institut, 20)	(m)	—	—	0,35
7. Bemessungswert (a + b + c + d u. für Leerort + e)	(m NN)	+ 5,34	+ 5,65	+ 5,96

*) Nach Mitteilungen des Deutschen Hydrographischen Instituts.
**) Der Windstau von 1962 mit 3,65 m ist kleiner als der Windstau 1906 zuzüglich „e".
***) Abgeschätzt nach dem saekularen Meeresanstieg für verschiedene Küstenorte in „Die Küste" 1954 (23).

und Leerort aus dem HThw 1906 einschließlich einer saekularen Hebung von 14 cm bzw. für Leybuchtsiel aus dem HThw 1962 besteht, wurde ein Sicherheitszuschlag für saekulare Hebung, atmosphärische, meteorologische und sonstige Einflüsse hinzugerechnet. Für diese 3 Punkte ergibt sich so folgender Bemessungswert:

	HHThw	Sicherheits-zuschlag	Bemessungs-wert
1. Bensersiel	NN + 4,91 m	0,50 m	NN + 5,41 m
2. Leybuchtsiel	NN + 4,84 m	0,50 m	NN + 5,34 m
3. Leerort	NN + 5,19 m	0,80 m	NN + 5,99 m

In den Fällen 1. und 3. ist der so errechnete Bemessungswert um einige Zentimeter höher als der in Tabelle 2 nach dem Einzelwertverfahren berechnete. Dieser Wert ist folglich der Bemessung der Deichhöhen zugrundezulegen. Für Leybuchtsiel ergibt sich nach dem Einzelwertverfahren ein um 34 cm höherer Wert als nach dem Vergleichsverfahren.

Eine zutreffende Abschätzung des Sicherheitszuschlages erfordert eine umfassende Kenntnis aller diesen Zuschlag beeinflussenden Faktoren. Im Einzelwertverfahren werden die gemessenen Sturmflutwasserstände (HHThw) dagegen nach Springtideeinfluß, Windstau und dgl. analysiert, so daß die einzelnen Faktoren jeder für sich eindeutig berücksichtigt werden können. So wird beispielsweise der unterschiedliche astronomische Einfluß — Spring- oder Nipptide — bei den einzelnen Höchstwasserständen beim Einzelwertverfahren zunächst eliminiert und dann mit der größtmöglichen Springerhöhung (b) wieder berücksichtigt. Dieser Einfluß als Unterschied zwischen dem vorausberechneten Thw und dem MThw betrug 1906 + 29 cm und 1962 — 7 cm für Leybuchtsiel. Der Deichbauingenieur bevorzugt aus diesen Gründen das Einzelwertverfahren.

3.43. Wellenauflauf

Die Kronenhöhe des Deiches wird berechnet, indem man zum Bemessungswert den dabei zu erwartenden Wellenauflauf addiert. Wegen der großen Bedeutung dieses Wertes bei der Berechnung der Deichhöhen muß darauf näher eingegangen werden. Die Sturmflut von 1962 hat uns gelehrt, daß die bis dahin für den Wellenauflauf angesetzten Werte offensichtlich zu niedrig lagen (Metzkes, 45). Bei den streckenweise erheblich unter dem maßgebenden Sturmflutwasserstand gebliebenen Höchstwasserständen ist vielfach bereits ein Wellenauflauf gemessen worden, der in etwa dem vorausberechneten Wellenauflauf für den Bemessungswert entspricht. Der höhere der Bemessung zugrundeliegende Sturmflutwasserstand (Bemessungswert) und der stärker zu erwartende Orkan — am 16. 2. 1962 betrug die mittlere Windstärke in der Deutschen Bucht 9—10 Bft — würden einen wesentlich höheren Wellenauflauf verursachen (24).

Vielfach konnte auch in Ostfriesland der tatsächliche Wellenauflauf in der Februar-Sturmflut 1962 nicht ermittelt werden, da der Teek (Treibsel) auf die Deichkrone oder sogar über sie hinweg geschlagen worden war. Zur Abschätzung des Wellenauflaufs am Deich seien hier drei mögliche Verfahren genannt (Hundt, 24):

1. unmittelbare Übernahme der Ergebnisse der Modellversuche des Franzius-Instituts Hannover über Wellenauflauf an Seedeichen (Hensen, 18, 19). Hierbei handelt es sich um Grundsatzversuche mit windfreier Tiefwasserdünung aus Wassertiefen um 15 m, die über einer 600 m breiten Wattzone bis zum Deich hin umgeformt wird. Die Auflaufwerte des Modells sind Mittelwerte eines Kollektivs, während z. B. Naturbeobachtungen meist Maximalwerte in Form der einnivellierten Teekgrenze liefern. Der Einfluß des Wellenein fallwinkels wurde nicht untersucht. Die Modellergebnisse können daher nur mittelbar mit denen als Teekgrenze beobachteten Naturwerten verglichen werden;
2. proportionale Übernahme der Modellergebnisse des Franzius-Instituts. Es kann angenommen werden, daß die relativen Beziehungen des Modells vom Wellenauflauf zu den Einflußfaktoren Wellenhöhe, Wassertiefe und Periode naturähnlich sind. Sind also an einer Deichstation die Absolutwerte aller Größen für einen bestimmten Naturfall bekannt, so können mit den Verhältniswerten der Modellversuche die einzelnen Faktoren bestimmt werden;

Die Küste, 19 (1970), 125-185

3. verschiedene Formeln zur Berechnung des Wellenauflaufs, wie sie beispielsweise in Holland oder bei anderen Untersuchungen und Berechnungen zugrundegelegt worden sind (HUNDT, 24; FÜHRBÖTER, 14; FRANZIUS, 12).

Voraussetzung aller Verfahren aber ist immer die Kenntnis der zu erwartenden Seegangselemente. Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 hat den Mangel an genauen Kenntnissen über den Seegang in der Deutschen Bucht besonders deutlich gemacht. Die Arbeitsgruppe „Sturmfluten" des Küstenausschusses Nord- und Ostsee ist daher der Auffassung, daß im Bereich der Deutschen Bucht, insbesondere im Gebiet des Überganges zu den Wattengebieten und auf den Watten selbst, eine intensive Seegangsforschung betrieben werden muß. Diese soll umfassende Meßwerte mit selbstschreibenden Wellenmeßgeräten schaffen und, daran anknüpfend, die Ausarbeitung geeigneter Verfahren zur Ermittlung des maßgebenden Seegangs und Wellenauflaufs unter verschiedenen meteorologischen, hydrographischen und morphologischen Verhältnissen ermöglichen. Außerdem sollen damit eingehende hydrodynamische Untersuchungen angestellt werden (HUNDT, 23, 24 und PETERSEN, 53).

Trotz dieses deutlichen Hinweises konnten die Kenntnisse über die maßgebenden Seegangswerte an der deutschen Küste bisher nicht wesentlich verbessert werden (LÜDERS, 34).

In Ostfriesland wurde nach 1962 der Wellenauflauf überprüft und zum Teil neu errechnet, entweder nach dem 1. Verfahren oder, soweit dieses möglich war, nach der eingemessenen Teekgrenze in Verbindung mit den Ergebnissen der Modellversuche nach dem 2. Verfahren.

Für die ostfriesischen Seedeiche von Harlesiel bis zum Dollart war man mangels geeigneter Unterlagen auf die unmittelbare Übernahme der Modellversuchsergebnisse des Franzius-Instituts angewiesen. Dabei wurde die Periode $T = 7$ s zugrunde gelegt. Diese Periode könnte möglicherweise zu hoch angesetzt worden sein, denn 1962 wurden in Büsum eine Stunde lang vor Hochwasser Wellenperioden von 4 bis 5 s beobachtet (HUNDT, 24). Andererseits stimmen die sich bei $T = 7$ s ergebenden Wellenauflaufhöhen bei einzelnen Vergleichen mit den 1962 in Ostfriesland gemessenen Höhen etwa überein. Der Einfluß der Periode ist jedoch erheblich, denn nach den Versuchsergebnissen beträgt der Wellenauflauf an einem Deich hinter einem 600 m breiten Watt bei einem Wasserstand von 5,0 m NN bei der Periode $T = 7$ s 170 % des Wellenauflaufs bei der Periode 5 s (HUNDT, 23).

Bedenklich stimmen zunächst die nach der Sturmflut vom 23. 2. 1967 ermittelten Wellenauflaufhöhen, die an den ostfriesischen Seedeichen zwischen Harlesiel und Campen gemessen und in Abb. 14 in ihrer Abhängigkeit von der Wassertiefe vor dem Deich aufgetragen wurden (52). Läßt man die in geschützter Lage, teilweise in Lee und hinter einem hohen Sommerdeich, ermittelten Werte und ebenfalls alle in der Leybucht mit ihrem breiten Flachwasserbereich gemessenen Höhen außer acht, so liegt die durch die übrigen Meßwerte bestimmte Kurve um 20 bis 35 % über der nach den Modellversuchen für die Periode $T = 7$ s ermittelten. Dabei ist zu beachten, daß die durch Einmessung der Teekgrenze ermittelten Werte Maximalwerte des Wellenauflaufs darstellen, während es sich bei den Versuchsergebnissen um Mittelwerte handelt.

Die Streuung der Wellenauflaufhöhen hat das Franzius-Institut im Modellversuch untersucht (FRANZIUS, 12). Bei glatter Böschungsoberfläche betrug der Streubereich 17 % des Maximalwertes. Der Höchstwert liegt um etwa 11 % über dem Mittelwert, der von 50 % der Wellen erreicht oder überschritten wurde. Nur 25 % der Wellen erreichten bzw. überschritten einen um 3 % über dem Mittelwert liegenden Wellenauflauf. Hierbei handelt es sich jedoch um reine Dünungswellen. Da der Seegang vor unseren Deichen im Sturmflutfall u. a. weitgehend von den jeweiligen Windverhältnissen abhängig ist, dürfte infolge der starken Schwankungen der Windstärke mit zeitweise außerordentlich heftigen Böen für den Naturfall eine wesentlich größere Streuung zu vermuten sein. Dieses wird bestätigt durch Beobachtungen und

Naturmessungen bei Westerland/Sylt (LAMPRECHT, 31). Hier liegen die Maximalwerte der einzelnen Meßreihen um etwa 20 bis 70 % über den Mittelwerten.

Die in Abb. 14 aufgetragenen Wellenauflaufhöhen — eingemessen nach der Teekgrenze — liegen folglich durchaus im Streubereich der in den Versuchen für die Periode T = 7 s festgestellten Mittelwerte. Die der Ermittlung des Wellenauflaufs zugrundegelegten Werte aus den Modellversuchen mit T = 7 s können daher für diese Wassertiefen als Mittelwerte verwendet werden, solange keine vor den ostfriesischen Seedeichen gemessenen Seegangswerte vorliegen.

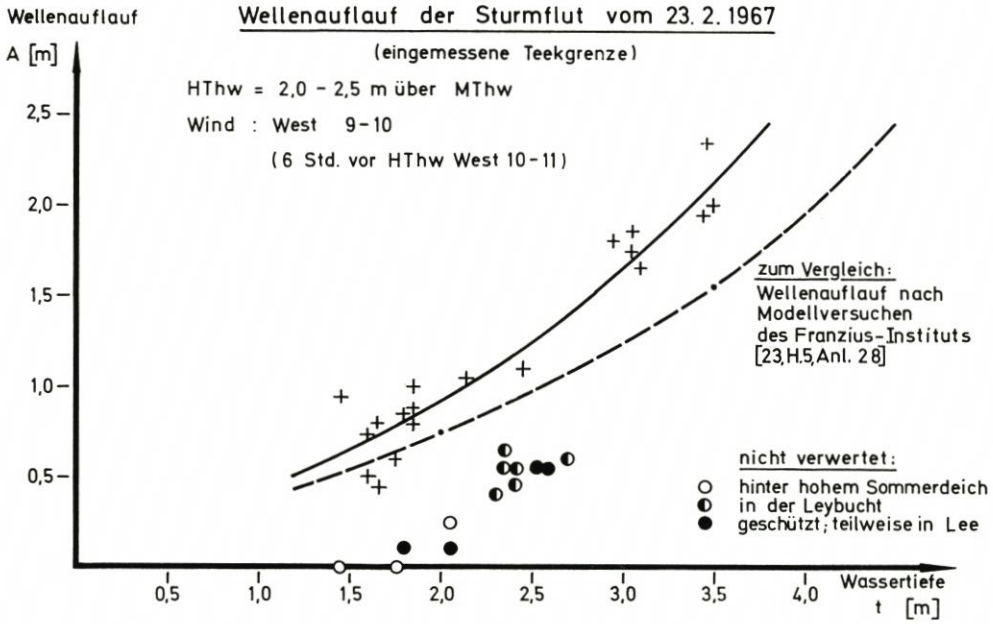


Abb. 14. Wellenauflauf der Sturmflut vom 23. 2. 1967

Diese verschiedenen Versuche zur Abschätzung des maßgebenden Wellenauflaufs lassen erkennen, wie dringend notwendig Naturmessungen der Seegangselemente vor den Deichen sind. Die inzwischen entwickelten Geräte sollten bevorzugt für diese Aufgabe eingesetzt werden.

Um den Einfluß der Böschungsform und -neigung auf den Wellenauflauf abschätzen zu können, sind die Versuche von HENSEN näher zu betrachten (23). HENSEN hat seinen Modellversuchen zur Bestimmung des Wellenauflaufs einen Deich mit konkaver Außenböschung, die am Watt oder Vorland mit flacher Neigung beginnt und allmählich bis zur Neigung 1:2,8 im oberen Bereich ansteigt, zugrundegelegt. In späteren Modellversuchen hat er den Einfluß einer konvex gewölbten Außenböschung mit einer Neigung von 1:4 am Deichfuß und nach oben flacher werdendem Böschungswinkel bis 1:20 im oberen Bereich untersucht und dabei festgestellt, daß der Wellenauflauf bei diesem Profil — Seedeichprofil 3 — nur 56 % des Wellenauflaufs bei dem oben beschriebenen herkömmlichen Profil beträgt.

In Ostfriesland wurde 1962 auf Grund der Erfahrungen aus der jüngsten Sturmflut für scharliegende Seedeiche ebenfalls ein konvexes Profil entwickelt mit folgenden Merkmalen:

Im unteren Bereich bis etwa 1,50 m über MThw erhält der Deich ein Rauhdeckwerk mit einer Neigung von etwa 1:3. Darüber folgt bis etwa 2,20 m über MThw eine Ausrundung zur

Die Küste, 19 (1970), 125-185

oberhalb gewählten Deckwerksneigung 1:6. Anschließend folgt die bis zur Deichkrone 1:6 geneigte Böschung mit Rasendecke (Abb. 15). Für dieses Deichprofil ist auf Grund der Versuche von HENSEN der Wellenauflauf zu 80 % des Auflaufs am oben beschriebenen herkömmlichen Profil abgeschätzt worden.

Liegt der Deich hinter einem ausreichend hohen Vorland, so erhält er nach wie vor eine konkav geformte Außenböschung mit einer Neigung 1:6 im oberen Bereich wie in Abb. 15.

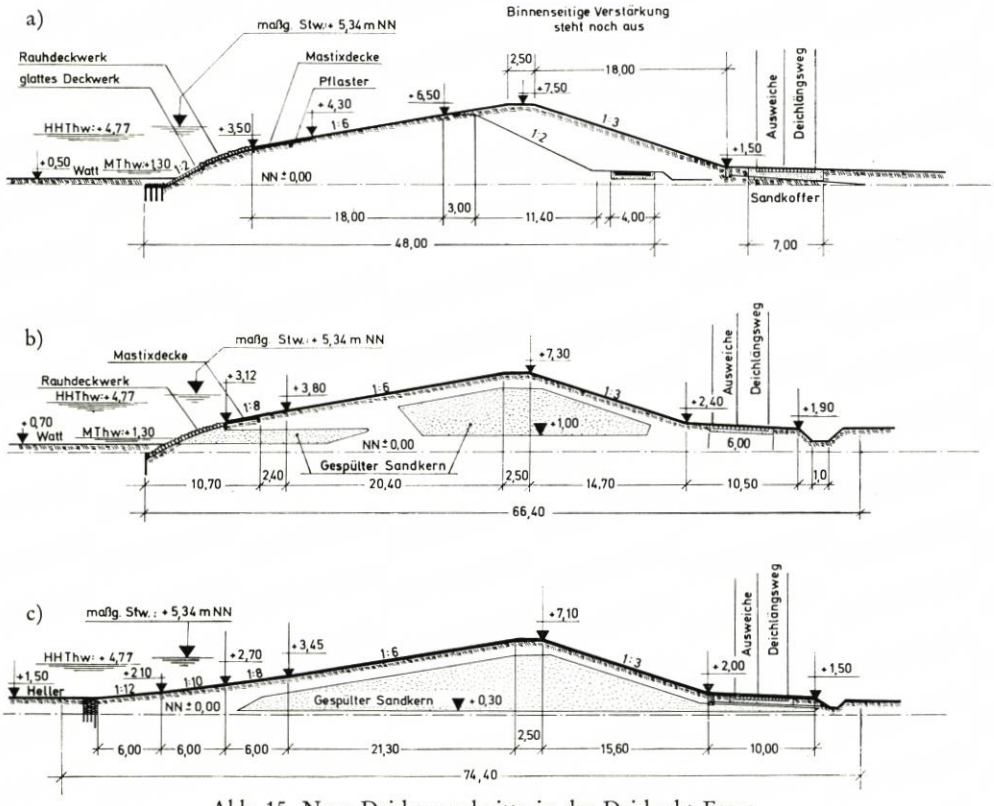


Abb. 15. Neue Deichquerschnitte in der Deichacht Esens
a) zwischen Neuharlingersiel und Bensersiel
b) westlich von Bensersiel
c) östlich von Accumersiel

Auch hierfür wurde die Verminderung des Wellenauflaufs infolge der gleichen Böschungsneigung im oberen Bereich um 20 % auf 80 % des Wellenauflaufs beim herkömmlichen Profil angenommen.

Wegen der großen Bedeutung einer möglichst zutreffenden Abschätzung des Wellenauflaufs wurde die 1962 angewandte Berechnungsmethode noch einmal nach FRANZIUS (12) überprüft. Nach der dort in Abb. 31 ermittelten Auflaufstrecke auf glatter Böschung in Abhängigkeit von der Wassertiefe vor der Böschung ergibt sich für die Böschungsneigung 1:6 bei einer Wassertiefe von 5,5 m umgerechnet ein Wellenauflauf von 2,97 m. Dieser Wellenauflauf hat die 0,77fache Größe des bei der Neigung 1:4 und die 0,67fache des bei der Neigung 1:3 gemessenen Wertes.

Für die 1962 durchgeführte Reduzierung des Wellenauflaufs für die Böschungsneigung 1:6 auf das 0,8fache der Modellversuchswerte (23) liegt danach das Ergebnis auf der sicheren Seite.

Der 1962 nach oben erläutertem Verfahren ermittelte Wellenauflauf liegt für t = 5,5 m bei der Neigung 1:6 auf 2,9 m und stimmt somit gut mit dem hier errechneten Wert von 2,97 m überein. Eine gewisse Sicherheit liegt dabei noch in der Verringerung des Auflaufes auf einer natürlichen Grasböschung im Verhältnis zur glatten Versuchsböschung. Das angewandte Verfahren wird dadurch in seiner Richtigkeit bestätigt.

Somit konnte die notwendige Deichhöhe für die ostfriesischen Seedeiche einheitlich durch Addition von Bemessungswert + Wellenauflauf ermittelt werden. Der Wellenauflauf wurde für alle Seedeiche mit neuem Bestick zu 0,8 des sich aus den Modellversuchen in Abhängigkeit von der Wassertiefe vor dem Deich für die Periode T = 7 s ergebenden Wellenauflaufs für das herkömmliche Profil errechnet.

Für die Strom- und Flußdeiche an der Ems wurde weitgehend von der eingemessenen Teekgrenze ausgegangen. Der durch die Anhebung des Sturmflutwasserspiegels vom HThw 1962 auf den Bemessungswert bewirkte größere Wellenauflauf wurde in Anlehnung an die Modellversuche für eine Periode T = 5 s abgeschätzt. Nach den Modellversuchen beträgt beispielsweise für eine Periode von T = 5 s der Anstieg des Wellenauflaufs bei 5 m Wassertiefe etwa 65 cm je m Wassertiefe. Der so gefundene für die relativ steilen Außenböschungen geltende Wellenauflauf konnte je nach dem Grad der Abflachung der Außenböschung bei der durchzuführenden Erhöhung und Verstärkung entsprechend vermindert werden.

Nach diesem Verfahren werden als Beispiel für den scharliegenden Seedeich östlich von Bensersiel, für den Störtebekerdeich an der Leybucht und für den scharliegenden Stromdeich bei Leerort die Deichhöhen errechnet (Tab. 3). Die so ermittelten Deichhöhen der ostfriesischen Deiche sind in einem vereinfachten Längsschnitt (Abb. 13) für die Hauptdeichstrecke

Tabelle 3

Berechnung der erforderlichen Deichhöhen für Bensersiel, für den Störtebekerdeich und Leerort

		Benser-siel	Störte-beker-deich	Leer-ort
1. Bemessungswert	(m NN)	+ 5,41	+ 5,65	+ 5,99
2. a) Watt- bzw. Vorlandhöhe	(m NN)	+ 0,40	+ 1,60	
b) Wassertiefe vor dem Deich	(m)	5,01	4,05	
c) Wellenauflauf nach Mod.-Vers. bei Hensen — Profil 1 (18) beim Luvfaktor 1,0	(m)	3,00	2,05	
3. a) HThw 1962	(m NN)			+ 5,06
b) Wellenauflauf bei HThw 1962 (nach Teekgrenze)	(m)			1,10
c) Bemessungswert — HThw 1962	(m)			0,93
d) △ Wellenauflauf für anteilige Wasserstandshebung nach 3. c) und Modellversuch für T = 5 s	(m)			0,60
e) Gesamtwellenauflauf beim Bemessungswert (3. b + 3. d)	(m)			1,70
4. maßgebender Wellenauflauf = 80 % des Wellenauflaufs (nach 3. e)	(m)	2,40	1,64	1,36
5. Erforderliche Deichhöhe bei neuem Profil (Abb. 15)	(m NN)	+ 7,81	+ 7,29	+ 7,35

Die Küste, 19 (1970), 125-185

aufgetragen, ohne daß dabei besondere örtliche Gegebenheiten auf kurzen Strecken, wie beispielsweise Umfassungsdeiche bzw. die Deichmauern einbuchtender Häfen und dergl., berücksichtigt worden sind.

3.5. Grundsätze der Querschnittsgestaltung

3.51. Außenböschung

3.511. Allgemein

Die Sturmflut 1962 hat gelehrt, daß die Deichaußenböschungen im allgemeinen im Bereich des Sturmflutwasserspiegels zu steil sind (55, 68, 35, 46). Nach der Analyse der Sturmflutschäden an den Außenböschungen wurde für die ostfriesischen Seedeiche für den oberen Bereich der Außenböschung im Regelfall eine einheitliche Neigung von durchgehend 1:6 ab 2,0 bis 2,5 m über MThw gewählt, und zwar sowohl für Schardeiche als auch für Deiche mit Vorland (Vorlanddeiche). Voraussetzung dafür waren natürlich normale Untergrundverhältnisse und die Verwendung des im allgemeinen in Ostfriesland vorhandenen guten, bindigen Kleibodens für den Deichbau. Bei stark beschädigten Deichstrecken wurde bereits teilweise bei der Wiederherstellung im Sommer 1962 den Außenböschungen diese einheitliche Neigung 1:6 gegeben, wie beispielsweise auf der Deichstrecke Neuharlingersiel—Bensersiel (Abb. 15).

Der Ingenieur pflegt bei allen Bauwerksentwürfen zunächst die Belastung der einzelnen Bauteile zu ermitteln, um danach die konstruktiven Einzelheiten festzulegen und die Teile zu bemessen. Maßgebend ist dabei in der Regel die zulässige Spannung bzw. Belastung eines Bauteils. Auch bei der Außenböschung aus Kleiboden mit Grasdecke gilt der Grundsatz, die Festigkeitseigenschaften des Materials nicht bis an die Bruchgrenzen auszunutzen. FÜHRBÖTER hat durch seine umfangreichen Untersuchungen und den daraus resultierenden grundlegenden Erkenntnissen erstmalig einen exakten Beitrag zur Erfassung der am Deich wirkenden Kräfte geleistet (14).

Er unterscheidet zwischen Strömungs- und Druckkräften als Belastung der Außenböschung. Die tangentiale Belastung der Böschung durch die Strömung des Auflaufschwalles infolge der Reibung zwischen dem Wasser und der Böschungsoberfläche kann zur Erosion der Deichaußenhaut führen. Die höchste Belastung der Außenböschung durch diese tangentialen Kräfte tritt im Bereich oberhalb des Ruhewasserspiegels auf. Die Wirkungsweise dieser tangentialen Kraftkomponente ist ferner besonders bei überschießenden Wellen auf zu steilen Binnenböschungen zu beobachten. Hier treten so hohe Strömungsgeschwindigkeiten auf, daß die Böschung den Strömungskräften nicht mehr standhalten kann und dadurch rückschreitend erodiert wird.

Neben dieser tangentialen Belastung durch Strömungskräfte hat FÜHRBÖTER örtlich sehr hohe senkrechte Belastungen durch Druckkräfte, durch sog. Druckschläge auf der Höhe des Ruhewasserspiegels und etwas darunter, ermittelt. An der Stelle, wo der überschlagende Kamm der brechenden Welle auf die Böschung trifft, tritt eine sehr hohe örtliche Druckbelastung auf, weil im Augenblick des Aufschlags die kinetische Energie der im steilen Winkel aufschlagenden Wassermasse zunächst teilweise in Druckenergie umgesetzt werden muß, ehe die turbulenten Vermischungsvorgänge und die Bildung des Auflaufschwalles beginnen können. Der Druckschlag wirkt unter gewissen Voraussetzungen nach dem Prinzip der hydraulischen Presse. Das Material wird von innen nach außen förmlich auseinander gesprengt. Während die Auswaschungen durch Erosion auf größerer Fläche mit geringerer Tiefe im wesentlichen oberhalb des Ruhewasserspiegels verursacht werden, treten die durch Druckschlagwirkung mit hervorgerufenen Ausschläge auf kleinerer Fläche und mit wesentlich größerer Tiefe auf.

Ein großer Teil der deutschen Seedeiche zeigte nach der Sturmflut vom Februar 1962 die durch Druckschlag mit verursachten Außenböschungsschäden. Kennzeichen dafür sind die durch Druckschlag und Erosion hervorgerufenen Ausschläge, die kurz unterhalb des Sturmflutscheitelstandes

begannen und sich mit nur schwach geneigter unteren Fläche terrassenförmig zur Deichkrone hin in den Kern hineinfraßen.

Die vom Druckschlag verursachten Kräfte sind zwar sehr hoch, aber sie wirken jeweils nur auf einer Breite, die etwa gleich der Stärke der Brecherzunge ist. Ihre Dauer liegt größenordnungsmäßig zwischen 0,01 und 0,1 s. Besonders gefahrbringend ist der Druckschlag, wenn die Böschung wassergefüllte Spalten, Risse, Klüfte oder Fugen aufweist. Gerade die örtliche Begrenzung des Druckschlages führt hier zu einer inneren Sprengwirkung, wenn der Druckschlag an einer Stelle wirkt, wo die wassergefüllte Spalte an die Oberfläche tritt.

FÜHRBÖTER weist nach, daß die Durchschlagwirkung durch Sturzbrecher erheblich gedämpft wird, wenn der Aufschlagspunkt der Brecherzunge in einem Wasserpolster liegt. Die Wahrscheinlichkeit für das Aufschlagen des Sturzbrechers auf ein Wasserpolster, das an Böschungen durch das Rücklaufwasser der vorangehenden Welle gebildet wird, ist um so größer:

1. je größer der Auflaufschwall der vorangegangenen Welle war,
2. je kleiner die Periode der vorangegangenen Welle war,
3. je flacher die Böschung ist und
4. je rauher die Böschung ist.

Da sich in der Natur in der Regel ein stark streuendes Wellenspektrum darbietet, muß mit häufigeren Wellenschlägen auf eine wasserfreie Deichböschung gerechnet werden, als dies bei einem Spektrum gleichmäßiger in einem Modellversuch erzeugter windfreier Wellen der Fall ist. Die Gefahr des Aufschlagens von Sturzbrechern auf eine wasserfreie Böschung ist damit entscheidend von der Neigung der Böschung abhängig. Als ungünstigsten Fall nimmt FÜHRBÖTER eine extreme Brecherhöhe mit $h_B = 0{,}5\ H_B$ an (h_B = Wassertiefe vom Ruhewasserspiegel aus gemessen, H_B = Brecherhöhe) und stellt dafür diese Grenze bei der Böschungsneigung 1:6 fest. Hierbei ist die Beanspruchung der Deichaußenböschung durch Druckschläge theoretisch sehr unwahrscheinlich. Daher stellt die 1:6 geneigte Außenböschung die wirtschaftlichste Neigung dar.

Damit ist die Richtigkeit der für den oberen Bereich der Deichaußenböschung gewählten Neigung 1:6 grundlegend erhärtet. Diese Böschungsneigung wird auch oberhalb des Bemessungswertes bis zur Deichkrone gerade durchgeführt mit folgenden Vorteilen:

1. ergibt sich ein geringerer Wellenauflauf als bei steilerer Böschung in diesem Bereich — wie bereits im vorhergehenden Abschnitt begründet —;
2. werden bei einer durchaus möglichen Überschreitung des Bemessungswertes Ausschläge an den dann in Höhe dieses Wasserspiegels zu steilen Böschungen unterhalb der Krone vermieden;
3. sind später evtl. notwendige Verstärkungen einfacher und billiger durchzuführen, da bei der Verstärkung nach binnen die Außenböschung überhaupt nicht mehr angerührt zu werden braucht.

3.512. Vorlanddeich

Für die Gestaltung der Außenböschung im unteren Bereich ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen einem Vorlanddeich und einem Schardeich. Der Vorlanddeich liegt im Normalfall hinter einem etwa 30 bis 80 cm über MThw liegenden Vorland. Die Böschungsneigung beträgt bis auf den unteren Bereich 1:6. Der untere Teil einer solchen Böschung wird bekanntlich durch Brandungskräfte kaum beansprucht. Wenn trotzdem der seit altersher gebräuchliche Übergang auf flachere Böschungsneigungen im unteren Bereich weiterhin beibehalten wird, so hat das folgenden Grund: Der untere Teil der Außenböschung bis etwa MThw + 2,0 m wird alljährlich mehrmals überflutet. Hier wird vielfach der Teek in breiter Fläche abgelagert sowie durch die lange Lagerung der Boden total aufgeweicht und die Grasnarbe stark geschwächt, wenn nicht nahezu zerstört, und durch Wühltiere und dergleichen erheblich beschädigt. Der Teek kann häufig erst nach entsprechender Abtrocknung der Berme im Frühjahr abgefahren werden. Durch die äußerst flache Neigung in diesem Böschungsbereich wird bei einer Sturmflut die Beanspruchung der in diesem Bereich stark geschwächten Deichhaut auf

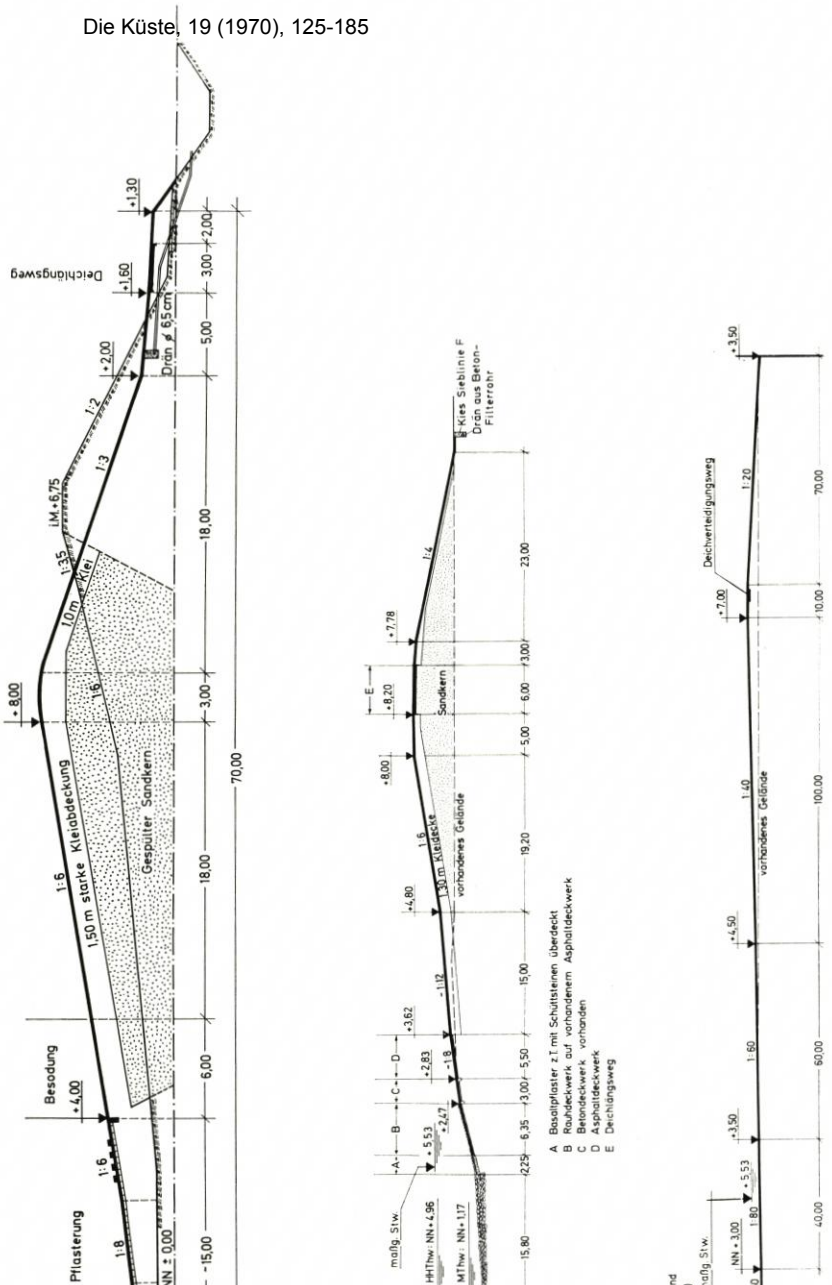


Abb. 16. Neue Deichquerschnitte in der Deichacht Krummhörn
a) bei Pilsum mit aufgespültem Vorland und vorderer schwerer Lahnung
b) an der Knock als Schardeich am tiefen Emsfahrwasser
c) an der Knock als Sanddeich auf hohem Spülfeld
(vgl. Größenangaben)

ein Minimum beschränkt. Durch diese flachen Neigungen wird ferner die maschinelle Teekräumung begünstigt. Unterhalb MThw + 2,0 m wird daher die Außenböschung abgeflacht auf 1:8, dann 1:10 und weiter 1:12, wie in Abb. 15 dargestellt wurde. Auf Deichstrecken mit starker Teekablagerung empfiehlt sich die Befestigung der Außenberme, damit der Teek nach den Sturmfluten jeweils schnell ohne große Beschädigung der Berme und der Böschungen maschinell geräumt und abgefahren werden kann, wie es bei der Deichverstärkung in der Deichacht Krummhörn 1968 ausgeführt wurde (Abb. 16).

Auf die Anlage eines Außendeichgrabens, der gleichzeitig die äußere Grenze der nach altem Deichrecht (51) bereits geforderten etwa 10,0 m breiten Außenberme bildet, kann in den Fällen verzichtet werden, wo ein enges Grüppennetz im Deichvorland mit dem üblichen Abstand von 10 m eine ausreichende Entwässerung des Deichfußes gewährleistet.

Liegt vor dem Hauptdeich ein Sommerdeich, dessen Krone mindestens 2,0 m über MThw liegen soll, so erübrigt sich die hoch hinausgehende Abflachung am Fuß der Außenböschung, da hier im unteren Bereich kein Teek anfällt und leichte Sturmfluten durch den Sommerdeich abgewehrt werden. Hier kann die Böschung mit der Neigung 1:6 bis zur Außenberme durchlaufen, wo der Übergang mit einem Radius von 10,0 m ausgerundet wird.

3.513. Schardeich mit Deckwerk

Schardeiche sind im Laufe der Geschichte des Deichbaues erst entstanden, nachdem das zunächst überall vorhandene, ausreichende Vorland verlorengegangen war. Trotz ernster Mahnungen der Fachleute wurde — wie schon erwähnt — die Erhaltung und Sicherung des Vorlandes vielfach vernachlässigt. Die Sicherung des scharliegenden Deichfußes brachte für den Pflichtigen wesentlich größere Probleme und höhere Aufwendungen mit sich als beim Vorlanddeich. In mehreren Fällen wurden noch im 18. Jahrhundert Schardeiche aufgegeben, zurückverlegt und Siedlungen ausgedeicht, z. B. Bettewehr an der Knock und Itzendorf bei Norddeich 1717—1721. Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts haben die zuständigen Deichachten insgesamt 35 km der gefährdetsten Schardeiche auf den Strecken Bensersiel — Neuharlingersiel, Ostermarsch — Westermarsch bei Norden und Upleward — Knock an der Außenems aus eigenen Mitteln mit einem schweren Deckwerk aus Granit- und Sandsteinblöcken oder Basaltsäulen gesichert. Bei diesen Deckwerken liegt die Oberkante etwa 1,50—2,00 m über MThw und die Böschungsneigung zwischen 1:2 und 1:2,5. Die Blöcke bzw. Säulen wurden in einem weitgehend aus Ziegelschotter bestehenden Schotterbett versetzt. Oberhalb des Deckwerks wurde eine breite Berme angelegt. Diese Deckwerksgestaltung hat sich bestens bewährt.

1962 wurde zwischen Neuharlingersiel und Bensersiel eine Teilstrecke dieser alten Deckwerke im Rahmen der Umgestaltung der Außenböschung auf die Neigung 1:6 im oberen Bereich umgebaut und höher gezogen. Die Oberkante des Rauhdeckwerks aus Basaltsäulen liegt 2,20 m über MThw (Abb. 15). Oberhalb schließt eine 3,0 m breite, 1:6 geneigte Mastix-Eingußdecke an, so daß die Befestigung der Außenböschung bis 2,70 m über MThw reicht. Der hintere Anschluß der Mastix-Decke wird von einem etwa 60 cm hohen, satt vergossenen Asphaltsporn gebildet. Die Beobachtung dieses Deiches hat zweierlei gelehrt:

1. Bei dem recht steilen Deckwerk (1:2) hinter dem niedrigen Watt (1,0 bis 1,2 m unter MThw) wird die Grasdecke oberhalb der Mastix-Eingußdecke so häufig von Spritzwasser durchfeuchtet, daß sie sich nicht üppig entwickeln kann und der Boden so stark aufgeweicht wird, daß er bei höher auflaufendem Brandungsschwall immer wieder erodiert wird.
2. Der für die rückwärtige Sicherung des Deckwerks notwendige Sporn behindert die in dem fetten Kleiboden ohnehin sehr mäßige Wasserzügigkeit noch zusätzlich und fördert die Aufweichung des Bodens.

Die Küste, 19 (1970), 125-185

Nach Pflasterung eines 2 m breiten Betonstein-Rauhdeckwerks mit vereinzelten Spezial-Lochsteinen über einer HOS-Filterschicht im Interesse einer guten Entwässerung sind die Nachteile behoben worden. Die Oberkante der Deckwerksbefestigung liegt nunmehr auf NN + 4,3 m und folglich 3 m über MThw (Abb. 17).

1964 hat der Schardeich vor dem Westerburer Polder westlich von Bensersiel das in Abb. 15 dargestellte Deckwerk erhalten. Auf eine 12 cm starke Mastix-Eingußdecke sind

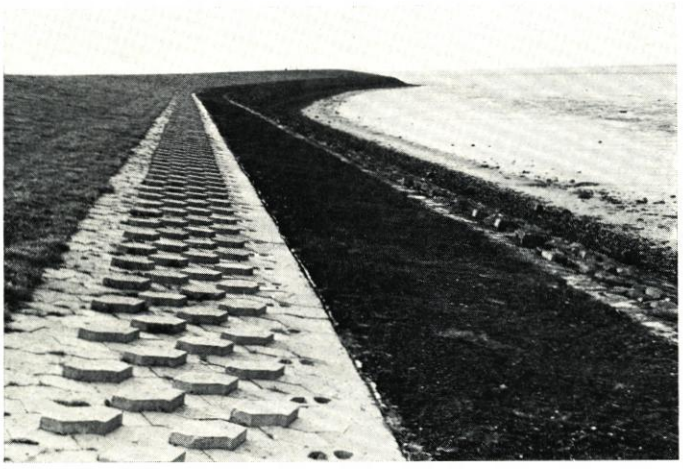


Abb. 17
Deckwerksverbreiterung auf dem Hauptdeich Neuharlingersiel–Bensersiel



Abb. 18
Rauhdeckwerk mit oberhalb angrenzender Mastix-Eingußdecke auf dem Hauptdeich westlich von Bensersiel

Schüttsteine gesetzt und bis zur halben Höhe mit Bitumen vergossen. Dieses sehr rauhe Deckwerk mit Neigung 1:3 reicht bis NN + 3,2 m und somit etwa 1,9 m über MThw. Oberhalb schließt eine 3 m breite Mastix-Eingußdecke mit Neigung 1:8 an und darüber die Grasdecke auf Klei, die zunächst noch 1:8 und dann 1:6 geneigt ist. Der obere Sporn der Mastix-Eingußdecke besteht aus Basaltsäulen in einem Schotterbett. Nur die eingeschotterten Köpfe der Basaltsäulen sind vergossen. Der untere Bereich bildet zwar einen sicheren Abschluß des Deckwerks, ist aber durchlässig im Interesse der Entwässerung der Grasdecke. Dieses auf Abb. 18 abgebildete Deckwerk hat sich bewährt.

1965 war an der Knock unmittelbar am tiefen Ufer der Außenems, das am Deichfuß etwa 2,60 m unter MThw liegt, ein vorhandener Sommerdeich mit leichtem Deckwerk umzubauen

in einen Hauptdeich mit entsprechend sicherem Deckwerk. Im unteren Bereich wurde das Rauhdeckwerk wie vor dem Westerburer Polder ausgeführt. Darüber schließt sich ein 8,50 m breiter Streifen teils als vorhandene Betonfahrbahn, teils als Mastix-Eingußdecke an und reicht bis auf NN + 3,62 m und somit etwa 2,45 m über MThw. Wegen des tiefliegenden Deichfußes und der dadurch ermöglichten starken Wellenangriffe wurde hierüber eine grasbedeckte 15 m breite Berme angeordnet, bevor die Böschung auf das übliche Neigungsmaß von 1:6 übergeht (Abb. 16) (11).

Die um die Jahrhundertwende gebauten schweren Deckwerke lagen in der Regel vor einer breiten hohen Außenberme. Diese Gestaltung des unteren Bereichs der Außenböschung und des Deichfußes hat sich auch 1962 bewährt. So wurden bei dem schar und hinter einem niedrigen Watt (MThw — 1,2 m) liegenden Deich bei Norddeich, der gegen Nordwest

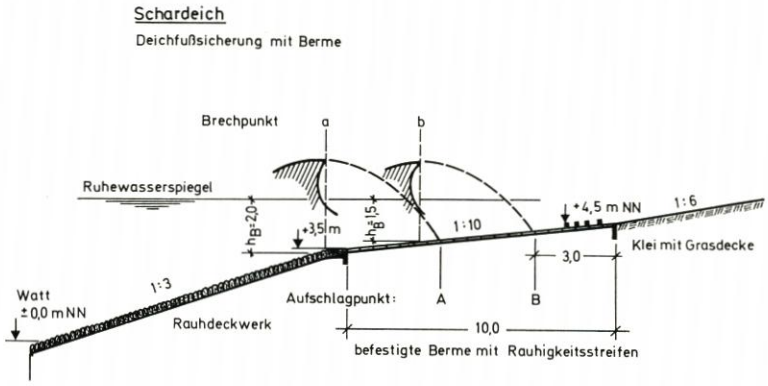


Abb. 19. Deckwerk eines Schardeiches mit befestigter Außenberme und Ermittlung des Brecheraufschlagpunktes

kehrt und folglich in Hauptangriffsrichtung liegt, trotz seiner im oberen Bereich steilen Außenböschung (1:3) nur auf der in etwa 3 m Breite schwach befestigten und im übrigen grünen Berme Ausschläge und Schäden festgestellt (Küste 1962, 13). Es ist zu vermuten, daß nicht nur der fest abgelagerte bindige Kleiboden, der infolge der intensiven Beweidung mit Rindvieh eine dichte Grasnarbe aufweist, sondern auch die Gesamtgestaltung der Außenböschung mit hochliegender Deckwerksoberkante und einer breiten hohen Berme sich günstig ausgewirkt haben. Bestätigt wird dies ebenfalls in dem Bericht aus Schleswig-Holstein (46), in dem es heißt: „Im allgemeinen kann gesagt werden, daß sich hohe und breite Außenbermen sehr vorteilhaft ausgewirkt haben." Auch nach HENSEN dürfte sich die flache ansteigende Außenberme günstig auswirken (18).

Die Schäden und Auswaschungen an diesen Bermen zeugen von einer starken Beanspruchung (35, 46). In den vom Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke", erarbeiteten „Empfehlungen für den Küstenschutz nach der Februar-Sturmflut 1962" ist dazu festgestellt:

> „Die Februar-Sturmflut 1962 hat erneut erwiesen, daß Schäden an den Deckwerken fast ausnahmslos von der Deichseite her eingeleitet werden, wobei die Deckwerksoberkante durch Auswaschung des Bodens auf der Berme freigelegt wird." (Die Küste 10, 1 — 1962, 13.)

Insgesamt läßt sich daraus folgern, daß hohe Außenbermen sich günstig auswirken, daß sie aber zumindest teilweise befestigt werden sollten.

Die nachfolgende Untersuchung des Brechvorgangs am hochgezogenen Deckwerk gibt eine

Die Küste, 19 (1970), 125-185

Erklärung für die starke Beanspruchung der Berme hinter dem Deckwerk. Für dieses Rechenbeispiel kann nach HENSEN und FÜHRBÖTER (18, 14) angenommen werden, daß die Wellenhöhe vor einem Schardeich mit niedrigem Watt 2 m beträgt. Weiter kann angenommen werden, daß das Brechen der Wellen auf der 1:3 geneigten Böschung des Rauhdeckwerks bei einer Wassertiefe, die gleich der Brecherhöhe ist, eintritt. $H_B = h_B$ (H_B = Brecherhöhe, h_B = Wassertiefe im Brechpunkt, vom Ruhewasserspiegel aus gemessen).

In Abb. 19 ist ein Schardeichprofil entwickelt worden, das bis zur Ordinate NN + 3,5 m ein unter 1:3 geneigtes Rauhdeckwerk hat, darüber liegt ein 10 m breiter Streifen 1:10 geneigt und dann schließt die Neigung 1:6 auf der Ordinate NN + 4,5 m nach oben hin an. Bei dem Brechen der Welle im Brechpunkt „a" bei $H_B = 2{,}0$ m liegt der Aufschlagpunkt A der Brecherzunge etwa im 1. Drittelspunkt der 1:10 geneigten Berme. Es ist jedoch durchaus denkbar, daß der Brechpunkt bei der gleichen Wellenhöhe in Einzelfällen später liegt. Daher wurde der Brechpunkt „b" einer Wassertiefe von $h_B = 1{,}5$ m und einem Verhältnis $H_B = 1{,}33\ h_B$ zugeordnet und der Aufschlagpunkt B dafür 3 m vom hinteren Rand der 1:10 geneigten Berme festgestellt (Abb. 19). Wenn auch der Aufschlag der Brecherzunge mit größter Wahrscheinlichkeit in beiden Fällen auf ein Wasserpolster schlägt, so dürfte doch der Brecherschwall durch die erhebliche Schwallströmung die Deichböschung im Bereich des Aufschlagpunktes und wenig darüber besonders stark beanspruchen. Eine Befestigung dieser Berme erscheint daher notwendig. In den oberen 2 m dieser Berme sollten niedrige Rauhigkeitselemente eingebaut werden, um bei entsprechenden Wasserständen die Schwallströmung vor dem Auftreffen auf die Grasböschung zu bremsen.

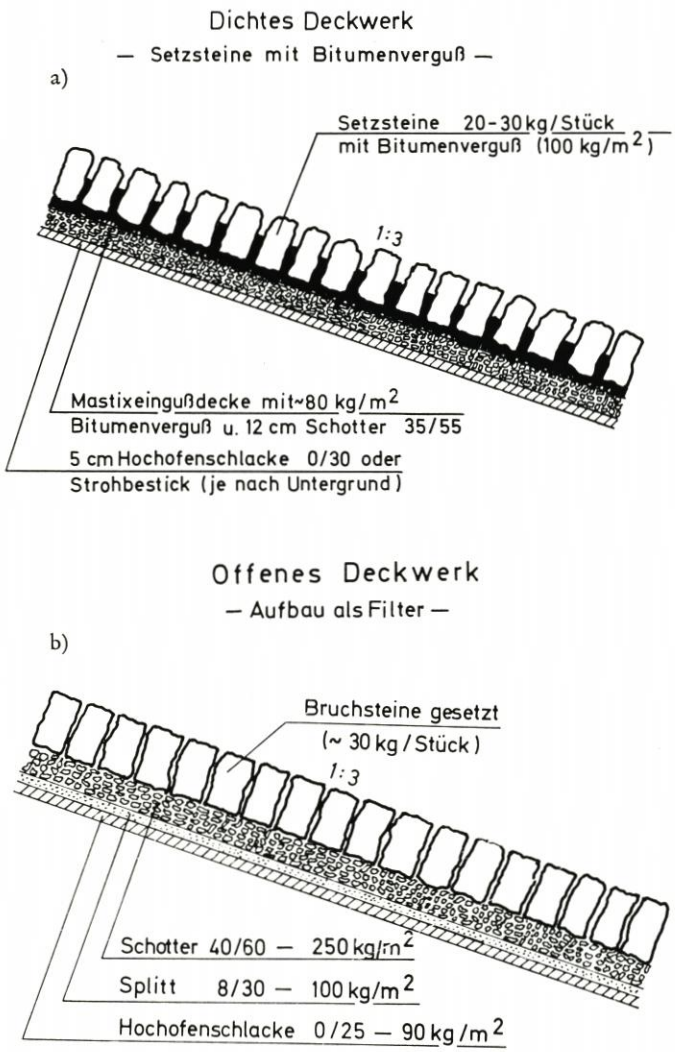


Abb. 20. Deckwerksaufbau, a) geschlossen, b) offen

Das in Abb. 19 dargestellte Profil des Schardeichdeckwerks mit Berme ist für einen stark

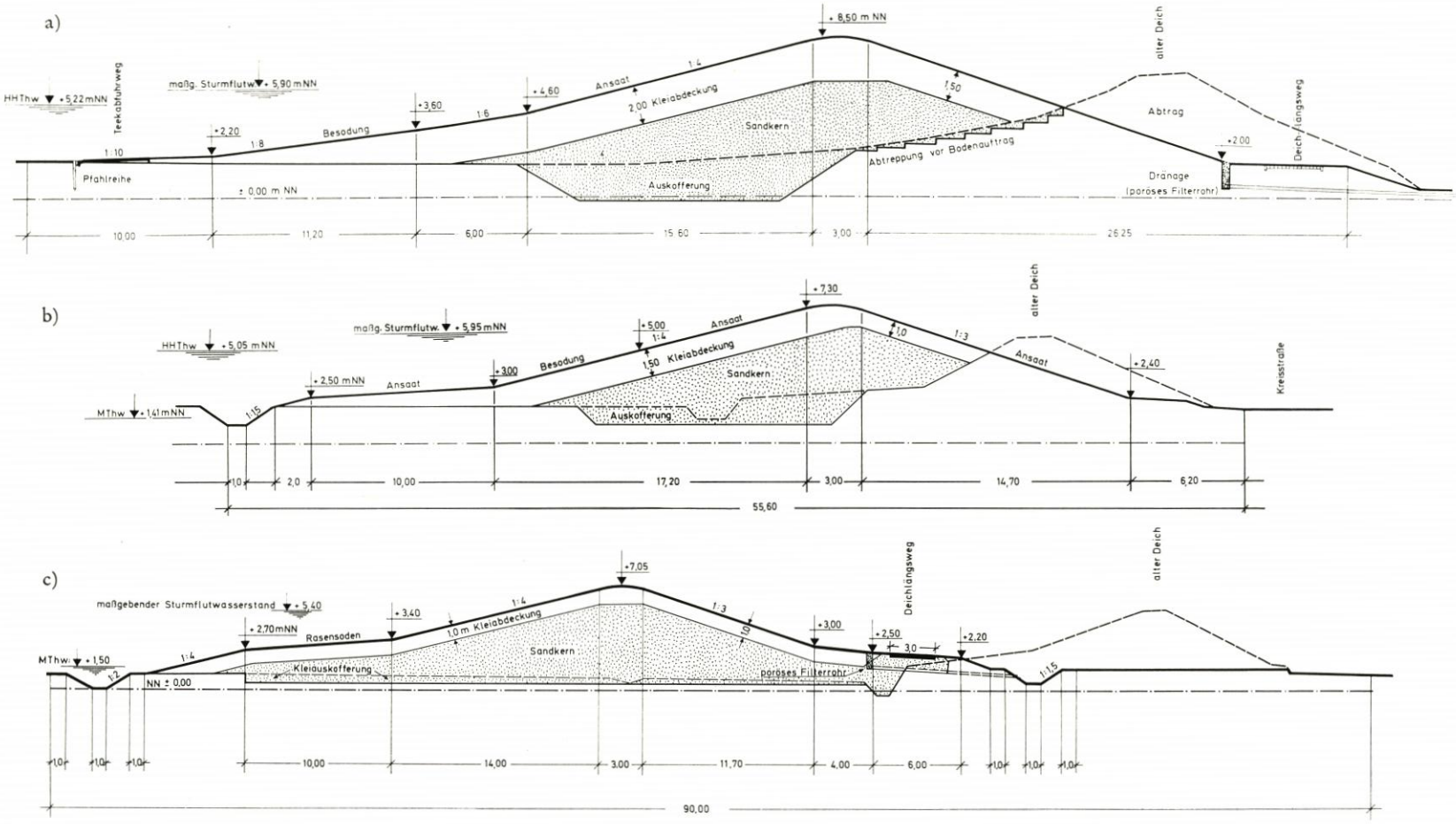


Abb. 21. Neue Deichquerschnitte an der Ems
a) für den Seedeich in der Rheider Deichacht bei Pogum
b) für den Stromdeich in der Moormerländer Deichacht westlich der Stadt Leer
c) für den Flußdeich der Rheider Deichacht am linken Emsufer bei Halte

Die Küste, 19 (1970), 125-185

Die Küste, 19 (1970), 125-185

beanspruchten Deich hinter einem niedrigen Watt entwickelt worden. Die Oberkante des Rauhdeckwerks ist dabei auf NN + 3,50 m bzw. 2,30 m über MThw gelegt worden. Sie liegt damit um rd. 30 cm und somit um etwa das Maß der saekularen Wasserstandshebung in 100 Jahren über der Faustzahl von 2,0 m, die RODLOFF (55) begründet, die bereits bei dem Bau der schweren Deckwerke in Ostfriesland um die Jahrhundertwende bei den damaligen Mittelwasserständen etwa eingehalten wurde und die auch in Butjadingen für notwendig gehalten wird (LÜKEN, MEIER, 41). Da bei der Deichbemessung diese saekulare Hebung berücksichtigt wird, sollte sie bei der Deckwerksbemessung ebenfalls eingerechnet werden.

Bei der Bemessung und Konstruktion eines dichten Deckwerks — wie es in Abb. 15 u. 16 dargestellt ist — ist die vielfach erläuterte Gefahr des Wasserdrucks gegen die Unterseite des Deckwerks eingehend zu untersuchen und zu berücksichtigen (BISCHOFF VAN HEEMSKERCK, 3, MEENEN, COUSIN, 42, KLEMP, 26). Äußerst wichtig ist in dieser Hinsicht eine gute Entwässerung des Deichkerns. Um dies zu gewährleisten wurde beispielsweise beim Deichbau an der Knock (Abb. 16), bei dem nach weiterer Aufspülung des Hintergeländes zwischen dem äußeren Deichfuß und dem hinter dem Deich liegenden Gelände ein Höhenunterschied von etwa 7,50 m sein wird, auf i. M. NN ± 0 ein Porenbetondrän — Durchmesser 150 mm — eingebaut (11). Bei geeignetem Bodenaufbau und einer nicht vergossenen Filterschicht unter dem Deckwerk kann sich der Wasserdruck auch relativ schnell durch den Deckwerksfuß ausgleichen, wenn dieser von einer durchlässigen Pfahlreihe bzw. einer von Pfahlreihen eingefaßten Buschkiste und nicht von einer dichten Spundwand gebildet wird. Wesentlich ist ein ausreichendes Eigengewicht der Decke; das in Abb. 20 dargestellte Deckwerk wiegt 600—800 kg/m². Es entspricht damit lediglich einem Überdruck gegen die Unterseite von 60—80 cm Wasserstandsdifferenz.

Im „Voorlopig rapport 1961" (61) wird empfohlen, dichte Deichbekleidungen nur oberhalb von Mitteltidehochwasser oder zumindest nicht unter Tidehalbwasser vorzusehen. Bei dem Umbau des auf Abb. 15a.) dargestellten, in ein Schotterbett gesetzten Basaltdeckwerks wurde lediglich der obere Bereich mit Mastix vergossen, der untere Bereich des Deckwerks blieb als offenes Deckwerk erhalten. Auch am Südstrandpolderdeich auf Norderney wurde das in Abb. 20 dargestellte offene Deckwerk mit einem nach dem Prinzip des Filters aufgebauten Unterbau ausgeführt. Der Korndurchmesser des Unterbaus kann dabei bei der üblichen Streuung des Materials von Schicht zu Schicht auf etwa den jeweils dreifachen Durchmesser gesteigert werden (ZEHLE, 67, ERCHINGER, 10).

3.514. Strom- und Flußdeiche

Vor den Strom- und Flußdeichen der Ems und Leda sind die Wellenhöhen wesentlich niedriger und somit auch die Brandungskräfte am Deich weitaus geringer. Hier erhält die Deichaußenböschung daher eine durchgehende Neigung von 1:4 und schließt dann gut ausgerundet an das Vorland an. Die Außenberme, die auch hier etwa 1:15 geneigt sein sollte, erhält ebenfalls eine Breite von rd. 10 m; daran schließt in der Regel der Außendeichgraben an. Ein Aufräumungsufer für den Graben von 1 m Breite begrenzt den Deich außenseitig. Der Außendeichgraben fällt in allen Fällen fort, in denen das Ufer des Flusses auf 30 m oder näher an die äußere Bermenbegrenzung herankommt (Abb. 21).

3.515. Inseldeiche

Besondere Verhältnisse bestehen vielfach bei den Inseldeichen. Alle besiedelten ostfriesischen Inseln haben Hauptdeiche zum Schutz des Ortes bzw. von Ortsteilen. Aus Tabelle 1

sind die auf die einzelnen Inseln entfallenden Deichstrecken zu ersehen. Die Deiche auf den Inseln kehren nach der Wattseite und im großen und ganzen gegen Südwest bis Südost. Sie sind daher bei äußerst hohen Sturmflutwasserständen, die normalerweise bei Sturmrichtung aus West bis Nordwest und allenfalls Nordnordwest auftreten, nicht frontal dem Wellenangriff ausgesetzt. Der Sturm aus Südwest kann allerdings auch durchaus Orkanstärke erreichen. Die

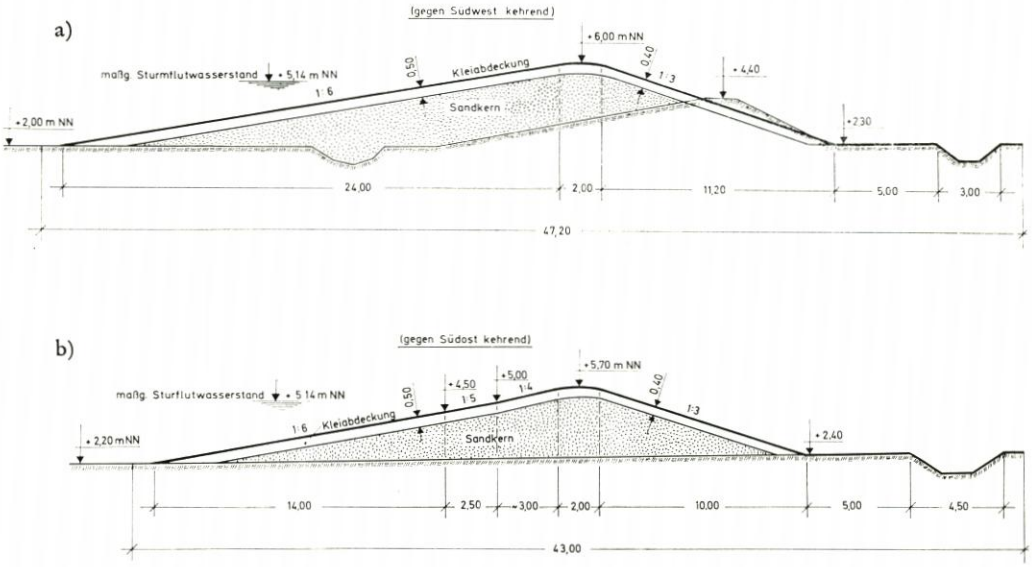


Abb. 22. Neuer Deichquerschnitt des Hauptdeiches auf der Insel Spiekeroog
a) gegen SW kehrend
b) gegen SO kehrend

Wasserstände bleiben dabei aber erfahrungsgemäß etwas niedriger. Ferner ist bei der Bemessung der Inseldeiche zu beachten, daß der Kleiboden dort schwer zu beschaffen ist. Er steht auf den Inselhellern nur auf Teilflächen und dann nur in einer Schichtstärke von 20 bis höchstens 40 cm an. So ergibt es sich, daß die Außenböschung bei allen gegen Südwest kehrenden Deichen und einem Teil der nach Süd kehrenden Deiche durchgehend mit 1:6 festgelegt worden ist und diese Böschung gut ausgerundet an die auf Vorlandhöhe liegende Berme angeschlossen ist. Die nach Südosten kehrenden Deiche sowie Deiche, die hinter einem besonders hohen Heller liegen und u. U. durch einzelne Dünengruppen noch einen zusätzlichen Schutz erfahren, haben im oberen Teil der Außenböschung, oberhalb des maßgebenden Sturmflutwasserstandes, die Neigung 1:4, darunter 1:6 bis zum Deichfuß (Abb. 22).

3.52. Deichkrone

1950 erhielt die Krone des Störtebekerdeiches, mit dem die innere Leybucht eingedeicht wurde, nach altem Deichmaß eine Breite von 10 hann. Fuß = 2,92 m (Wenholt, 60). In Anlehnung hieran ist die Kronenbreite der Hauptdeiche an der See, am Strom und Fluß sowie auf den Inseln im allgemeinen auf 3,0 m festgesetzt worden. Eine Kronenbreite von 2,50 m, wie sie in den zurückliegenden Jahren streckenweise noch ausgeführt worden ist, wird auf Grund

Die Küste, 19 (1970), 125-185

der damit gesammelten Erfahrungen künftig nicht mehr gewählt. Die Krone wird zur guten Wasserabführung einseitig nach außen geneigt oder mit einem Stichmaß von etwa 15 cm gut ausgerundet.

3.53. Binnenböschung

Die Binnenböschung wird bei allen Hauptdeichen 1:3 geneigt, damit sie bei etwa überschießenden Wellen den angreifenden Erosionskräften möglichst widerstehen kann. Ferner hat sich gezeigt, daß selbst bei gegen Nord gerichteten Binnenböschungen der Graswuchs bei dieser Neigung üppiger und so die Grasdecke geschlossener ist als bei einer steileren Böschung. Auch für die Deichpflege durch das Beweiden ist die Böschungsneigung von 1:3 notwendig, um Böschungsschäden zu vermeiden. Eine derart flache Binnenböschung wurde in Ostfriesland erstmals beim Bau des Störtebekerdeiches in der Leybucht 1947/50 vorwiegend aus Gründen der Deichpflege durch Jungviehbeweidung vorgesehen. Sie hat sich als sehr vorteilhaft erwiewiesen (WENHOLT, 60).

3.54. Binnenberme

Die Sturmflut 1962 hat deutlich gemacht, daß eine wirkungsvolle Deichverteidigung nur durchgeführt werden kann, wenn für schweren Verkehr befestigte Deichverteidigungswege mit ausreichenden Deichzufahrten vom öffentlichen Straßennetz aus vorhanden sind. Soweit die Binnenberme nicht aus Gründen der Standsicherheit des Deiches höher und breiter angelegt werden muß, hat sie an See-, Strom- und Flußdeichen eine Breite von 10 m. Am Fuß der Binnenböschung schließt zunächst eine 5 m breite grüne Berme an. In diesem Streifen liegen auch in regelmäßigen Abständen die Ausweichen für die anschließende 3 m breite befestigte Fahrbahn. Mit einem Randstreifen von 2 m Breite schließt die Berme zum Deichgraben hin ab. Das Quergefälle der gesamten Berme beträgt für den Streifen vom Deichfuß bis einschließlich Fahrbahn einheitlich etwa 1:20 und für den Randstreifen 1:10. Am Deichgraben sollte die Berme noch mindestens 50 cm über MThw liegen, damit auch nach einem Deichbruch der Deichlängsweg jederzeit mit Material und Gerät befahren werden kann.

Unmittelbar am Fußpunkt der Deichbinnenböschung wird heute eine Deichfußdränung eingebaut. Die Längsdränung entwässert über Querdräne im Abstand von 50 m zum Deichgraben — dem Ringschloot —. Nur wenn diese Deichfußdränung so angelegt ist, daß sie auch der Entwässerung des Sandkerns dient und damit gleichzeitig einen Austritt von Sickerwasser aus der Binnenböschung verhindert, erfüllt sie voll ihren Zweck. Der Ringschloot, als Sicherungswerk ebenfalls Bestandteil des Hauptdeiches, dient nur zur Abführung der geringen Wassermengen von der Deichbinnenböschung, der Berme und des Sickerwassers aus dem Deich. Seine Sohlbreite sollte 50 cm allerdings nicht unterschreiten. Ein größerer Vorfluter sollte mindestens 50 m vom inneren Deichfuß entfernt bleiben. Keinesfalls sollte so ein Vorfluter mit dem Ringschloot vereinigt und mit einem großen Grabenprofil unmittelbar am Deichfuß ausgebaut werden. Neben dem Deichgraben wird ein 1 m breiter Streifen zu seiner Räumung angeordnet. Mit dieser landseitigen Grenze schließt der Deich ab (DRINKGERN, 7, PETERSEN, 53; 50).

3.55. Besondere Deichformen, Deichmauern

Ein im Deichbau ungewöhnlicher Querschnitt soll hier beschrieben werden, der für die besonderen Verhältnisse beim Bau des 1,7 km langen Deiches auf dem Rysumer Nacken an der

Knock entwickelt wurde. Technische und wirtschaftliche Erwägungen und Untersuchungen führten dazu, das in Abb. 16 dargestellte Deichprofil zum Bau des Hauptdeiches auf dem im Mittel auf NN + 3,0 m liegenden Spülfeld für die Emsbaggerungen zu entwerfen. Der in der Regel nicht entbehrliche Kleimantel würde hier wegen des weiten Transportes besonders hohe Kosten verursacht haben; andererseits stand für den Deichbau geeigneter Sandboden in ausreichender Menge zur Verfügung, da er ohnehin zur Schaffung eines Mahlbusens und beim Ausbau des Tiefes anfiel. Daher wurde dieser Deich aus dem anstehenden schlickigen Feinsand mit einer Böschungsneigung gebaut, die der Strandneigung ostfriesischer Inseln entspricht. Außen ist der Deich im oberen Bereich 1:40, dann 1:60 und unten 1:80 geböscht. Die Böschungen wurden nach verschiedenen Verfahren der mutterbodenlosen Begrünung mit kurzwüchsigen Gräsern zur Sicherung gegen Erosion durch Wind und Wasser erfolgreich begrünt (ERCHINGER, 11).

Besondere Lösungen sind auch in fast allen Siel- und Hafenorten an der ostfriesischen Küste notwendig. Zur Schaffung eines ausreichenden Sturmflutschutzes wurden Deichmauern gezogen, da in den engen Ortslagen eine Erhöhung des Deiches in Erdbauweise nicht möglich



Abb. 23
Deichmauer am Fischerhafen Neuharlingersiel

war. Die tragende Wand besteht aus einer Stahlbetonkonstruktion auf einer Spundwand, die gegen Unterläufigkeit schützen soll. Aus architektonischen Gründen wird die Betonwand mit Ziegelmauerwerk verblendet. In Neuharlingersiel (Abb. 23), Bensersiel, Greetsiel und Ditzum bewährten sich die vor 1962 ausgeführten Mauern. Von den Anwohnern, denen die Sicht auf den Hafen oder das offene Wasser durch die Mauern genommen wurde, wurden diese so lange abgelehnt, bis ihnen die Sturmflut 1962 gezeigt hatte, daß die Wasserstände höher eintreten können, als nach den persönlichen Erfahrungen und nach den Anschauungen der Deichanwohner möglich erschien. Seitdem sind sie unumstritten (KRAMER, 27).

3.6. Baugrund, Boden und Begrünung

3.61. Baugrund

Gelegentliche Grundbrüche während der Durchführung von Deichbaumaßnahmen sowie starke, auf kurzen Strecken recht unterschiedliche Setzungen des Untergrundes während des Deichbaues und noch Jahrzehnte danach spiegeln die starke Veränderlichkeit der Baugrund-

Die Küste, 19 (1970), 125-185

verhältnisse im Küstengebiet wider und zeigen, daß bei den vielfach sehr stark kompressiblen und wenig scherfesten alluvialen Weichschichten eine sorgfältige Untersuchung des Setzungsverhaltens im Hinblick auf Grundbruchsicherheit notwendig ist. Die Grundbruchgefahr besteht häufig während und kurz nach der Bauzeit durch den auftretenden, die Scherfestigkeit erheblich verringernden Porenwasserüberdruck in bindigen Schichten, während der Baugrund im konsolidierten Zustand für die neuen, flachen Deiche ausreichend standfest sein dürfte. Umfangreiche Bodenuntersuchungen und entsprechende Standsicherheitsberechnungen, die auch die veränderlichen Verhältnisse während des Baues berücksichtigen, sind notwendig, um gegebenenfalls geeignete Gegenmaßnahmen treffen zu können. Deichquerschnitt und Bauzeit werden vom Untergrund mitbestimmt. Die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Regelquerschnitte konnten bei den jeweiligen Untergrundverhältnissen ausgeführt werden. Bei ungünstigerem Baugrund sind Abweichungen (flachere Böschungen) wie beispielsweise beim Hauke-Haien-Koog in Schleswig-Holstein notwendig.

Mit der elektronischen Datenverarbeitung ist es heute möglich, bei schwierigen Baugrundverhältnissen die umfangreichen Standsicherheitsberechnungen durchzuführen, die ungünstigsten Gleitlinien zu ermitteln und so mit einem vertretbaren Zeitaufwand die Berechnung für eine auch in bodenmechanischer Hinsicht sichere Formgebung des Deichkörpers aufzustellen.

Die Tragfähigkeit eines Bodens wird in erster Linie von seiner geologischen Entwicklung bestimmt (6). Solange die marinen Sedimente wie an der Nordküste Ostfrieslands weitgehend schluffig-feinsandig sind, führt die Auflast der Deiche zwar zu Setzungen, zu Grundbrüchen kommt es jedoch selten. Aber insbesondere an der Außen- und der unteren Ems sind neben fetten und sehr weichen Kleiböden Torf und Darg im Untergrund anzutreffen. Nur eingehende Bodenuntersuchungen können auf solchen Strecken vor folgenschweren Überraschungen schützen helfen.

Um die Größenordnung der in den letzten Jahren bei Deichbauten beobachteten Untergrundsetzungen aufzuzeigen, werden nachfolgend 3 Beispiele wiedergegeben:

1. Bei Dornumer- und Westeraccumersiel wurde im Sommer 1963 ein 2550 m langer neuer Seedeich etwa 900 m vor der alten Deichlinie gebaut (Drinkgern, 8). In der Deichtrasse stand bis etwa 6 m Tiefe ein sandiger Untergrund und darunter mit Ausnahme einer 300 m langen Strecke eine 1 bis 2 m starke Klei- und Torfschicht an. Die im Abstand von

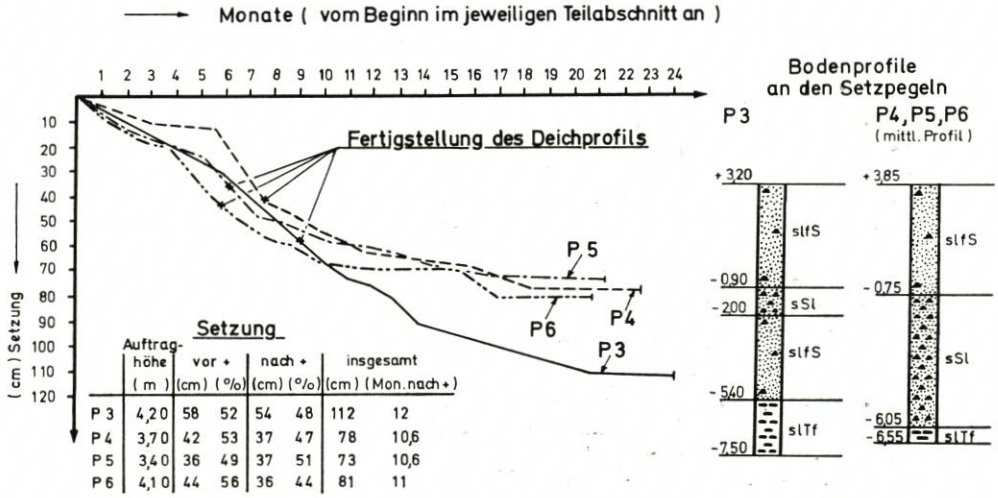


Abb. 24. Zeitsetzungslinien, gemessen in der Achse des in Abb. 16 c) dargestellten Deiches an der Knock

50 m eingebauten Setzpegel ergaben eine sehr unterschiedliche Setzung dieses Untergrundes. Die nach Abnahme der Kleidecke — etwa 7 Monate nach Baubeginn — gemessene geringste Setzung von 23 cm ist auf der Deichstrecke ohne Klei- und Torfschicht eingetreten, während die Maximalsetzung von 97 cm sich in der gleichen Zeit über der Klei- und Torfschicht einstellte und somit den großen Anteil der nur 1 bis 2 m starken Klei- und Torfschicht an der Gesamtsetzung klar erkennen läßt. Da die bindigen und torfigen Schichten auch nach diesem relativ kurzen Zeitraum noch weitere Setzungen verursacht haben werden, ist das errechnete Sack- und Setzmaß von 1,0 m keineswegs zu hoch angesetzt worden.

2. Beim Deichbau an der K n o c k im Sommer 1964 wurde ebenfalls das Setzen und Sacken des neuen Deiches gemessen. Vor Beginn der Aufspülung des sehr flachen neuen Seedeiches, der unter 3.55. beschrieben worden ist, wurden Setzpegel mit 1 m² Grundrißfläche aufgestellt (11). In Abb. 24 sind die Zeitsetzungslinien von 4 Setzpegeln P 3 bis P 6 aufgetragen. Dabei geben P 4 bis P 6 etwa eine gleichmäßige Setzung an, während bei P 3 erheblich größere Setzungen gemessen wurden.

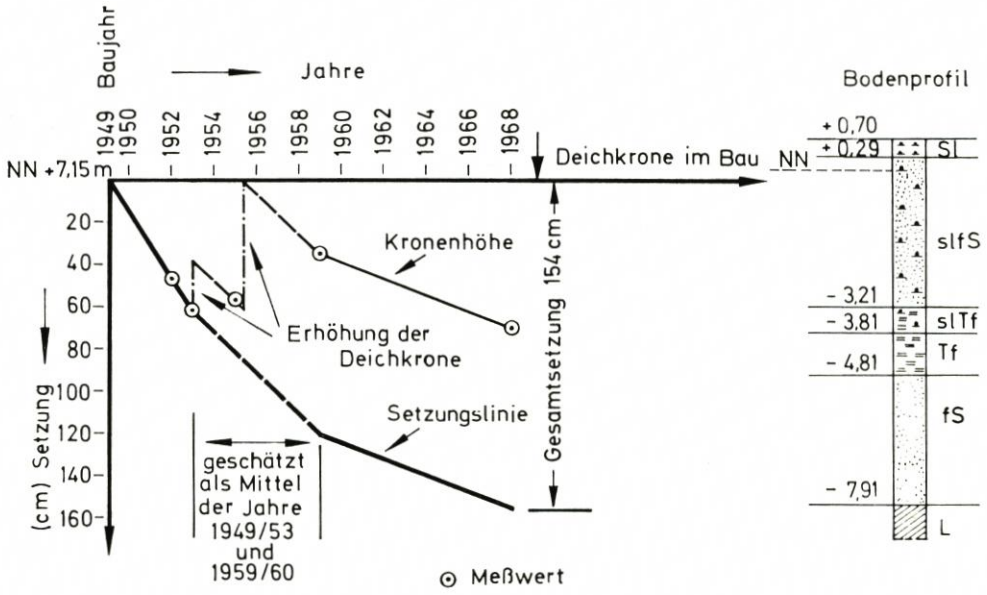


Abb. 25. Zeitsetzungslinie Störtebekerdeich in Station 1,0 (km)

Während der Bauzeit von etwa 6 bis 9 Monaten verliefen die Setzungen entsprechend den ungleichmäßigen Belastungszunahmen unregelmäßig. Zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Deiches wurde etwa die Hälfte des Gesamtsetzmaßes an allen Pegeln erreicht (49 bis 56 %). Die Setzungen klangen dann allmählich ab und erreichten den Maximalwert i. M. 11 Monate später. Bei P 4 bis P 6 wurden bei Auftragshöhen von 3,4 bis 4,1 m Endsetzungen von i. M. 77 cm gemessen. Bei P 3 betrug die Aufspülhöhe 4,2 m und die Endsetzung 21 Monate nach Beginn der Aufspülung 112 cm, ein überraschend großer Wert bei dem relativ geringen Bodenauftrag. Die Ursache dafür liegt wahrscheinlich in der stärkeren und höher liegenden Torfschicht bei P 3, wie die dargestellten Bodenprofile erkennen lassen.

3. 1947 bis 1950 ist der 4750 m lange S t ö r t e b e k e r d e i c h mit einer Kronenhöhe von NN + 7,15 m gebaut und damit die rd. 1000 ha große innere Leybucht eingedeicht worden (Wenholt, 60). Bei den in regelmäßigen Zeitabständen durchgeführten Höhenmessungen der Deichkrone ergaben sich sehr unterschiedliche Setzungen und Sackungen. Am größten waren die Setzungen im Bereich der ehemaligen Störtebeker Riede. Hier mußte die Deichkrone sogar mehrere Male erhöht werden. Die Störtebeker Riede war bei der Bedeichung der größte zu durchdämmende Priel. Wahrscheinlich hat es sich bei dieser Riede einmal um eine bedeutende Balje gehandelt, die vor 5 bis 6 Jahrhunderten mit dem bei Marienhafe noch heute so bezeichneten Störtebeker Tief das durchgehende Fahrwasser bis dort gebildet hat. Seit Fertigstellung des

Die Küste, 19 (1970), 125-185

Deiches beträgt das Gesamtsetz- und -sackmaß an dieser Stelle etwa 154 cm (Abb. 25). Auf den sich stark setzenden Strecken sind mehrfach Erhöhungen der Krone durchgeführt worden. Dadurch mußte für die Zeit von 1953 bis 1959 der Setzungsverlauf in Anlehnung an die Setzungen von 1949 bis 1953 und von 1959 bis 1968 durch Interpolation abgeschätzt werden (gestrichelt dargestellt). Der Hauptanteil entfällt auf die Setzung, denn das Eigensackmaß des eingespülten Sandkerns wird sehr gering sein, und auch die Sackung des Kleimantels von 80 cm Stärke wird sich in der Größenordnung um einen Dezimeter halten.

3.62. Deichboden

In Verbindung mit der Querschnittsgestaltung ist die Frage nach dem Deichboden und der Beschaffenheit sowie dem Zustand der Deichhaut von entscheidender Wichtigkeit für die Deichsicherheit.

Im Gegensatz zu früheren Bauweisen des reinen Kleideiches, die der mit seiner Scholle verwachsene Marschbauer nach jahrhundertelanger Tradition und Erfahrung mit Spaten, Wüppe und Karre baute, werden heute aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und der Zeitersparnis und wegen des Mangels an wirklich geeignetem Kleiboden fast nur noch Deiche aus einem Sandstützkörper und einer Dichtungsdecke, die in Ostfriesland in allen Fällen bisher aus Klei besteht, gebaut. Der Fortschritt in der Entwicklung des Deichbaues mit seinem technischen Großeinsatz, dessen Leistung nach bewegter Bodenmenge und Bauzeit den Verfahren früherer Jahrhunderte überlegen ist, erfordert aber gründliche hydrodynamische, geologische, bodenkundliche und biologische Untersuchungen und Überlegungen, ohne die kein guter und sicherer Deich entstehen kann (Dittmer, 6). Wissenschaftliche Untersuchungen und theoretische Überlegungen müssen daher bei der Planung und der Durchführung der Deichbauten heute wesentlich stärker in den Vordergrund treten.

Der Vorteil der Bauweise mit Sandkern liegt in der schnellen Eigenstabilität des Sandes sowie in seiner guten Scherfestigkeit und seinem sehr geringen Eigensackmaß. Voraussetzung für dieses Verhalten des Sandes ist natürlich, daß er nicht zu viel Feinsand und insbesondere möglichst wenig Schluff enthält.

Während unmittelbar südlich der ostfriesischen Inseln fast immer ein guter Spülsand angetroffen wird, bereitet das Aufspüren einer geeigneten Sandentnahmestelle im Watt vor der Festlandsküste vielfach erhebliche Schwierigkeiten. Große Spüllängen von mehreren Kilometern und teilweise erheblichen Entnahmetiefen bei 3—6 m starken, unbrauchbaren Deckschichten müssen hier in Kauf genommen werden. Noch ungünstiger sind die Verhältnisse an der Außenems, wo streckenweise auf dem bis zu 5 km breiten Watt- und Uferstreifen zwischen der Fahrrinne und dem Deich nur stark schluffige Feinsande anzutreffen sind. Bei bindigen Deckschichten oder bindigem Liegenden besteht darüber hinaus die Gefahr, daß ein Teil des mitgelösten Feinstkorns dieser Schichten im Spülfeld und somit im Deichkern verbleibt und sich hier auf die weitere Bearbeitbarkeit und Profilierung sowie ggf. sogar auf die spätere Standfestigkeit des Deiches sehr nachteilig auswirken kann.

In der unteren Ems und im Dollart steht der Sand auf langen Strecken nur unter derart starken Deckschichten an, daß die Entnahme unwirtschaftlich ist. Beim Deichbau in Pogum an der Nordostecke des Dollarts wurde daher der Sand für den Kern des rd. 3 km langen Deiches aus der Außenems entnommen, 15 und mehr Kilometer mit Schuten emsaufwärts transportiert und dann von einem Spüler in die Deichtrasse gespült. Bei den derzeitig im Bau befindlichen Deichstrecken bei Großsoltborg und Hohegaste an der Ems wird der Sand von vereinzelt in der Ems anzutreffenden Sandplaten von Schutensaugern aufgenommen, zur Baustelle transportiert und in die Deichtrasse gespült. Zum Teil weisen die Platen aber nur eine sehr dünne obere

Sandschicht auf und bestehen im übrigen aus Klei, so daß sie unbrauchbar für die Sandentnahme sind.

Zur Ermittlung eines geeigneten, günstig gelegenen Sandentnahmefeldes sind daher Aufschlußbohrungen und Bodenuntersuchungen notwendig. Aufschlußbohrungen mit einem Ventilbohrer haben den Nachteil, daß die entnommene Probe infolge einer gewissen Ent- oder Vermischung ein falsches Bild über den tatsächlichen Kernaufbau gibt. Bewährt hat sich dagegen der Einsatz eines Kernbohrgerätes.

Von den bodenmechanischen Eigenschaften des Deichkerns hängt auch die Wahl der Stärke der Kleidecke ab, denn bei Durchnässung eines feinsandigen oder schluffigen Kernmaterials können unter der dynamischen Wirkung des Wellenschlages Fließerscheinungen auftreten (WOHLENBERG, 63). Ferner ist es wichtig, daß die Kleischicht so stark ist, daß die ortsständige Pflanzengemeinschaft nicht beeinträchtigt wird (14). Entscheidend für den Bestand des Deiches ist aber, daß die Kleidecke jederzeit funktionsfähig ist und ihre Aufgabe als Dichtungsdecke und als feste, gegen mechanische und hydrodynamische Beanspruchungen widerstandsfähige Deichhaut jederzeit voll erfüllen kann. Die Stärke der Kleischicht hängt daher u. a. von der Qualität des Deichbodens ab. Ist der Klei infolge eines relativ hohen Sandanteils weniger geeignet, so kann die mangelnde Dichtigkeit bis zu einem gewissen Grad durch eine größere Schichtstärke ausgeglichen werden. Der geringeren Widerstandsfähigkeit dieses Kleies muß durch Abflachung der Böschungsneigungen Rechnung getragen werden.

Die unterschiedliche Kleiqualität auf den verschiedenen Deichstrecken zeigen die auf Abb. 26 dargestellten Körnungskurven. Kleiproben von 6 Deichstrecken wurden von der Forschungsstelle Norderney analysiert; auf einer dieser Deichstrecken, nämlich auf der der Körnungskurve 1 zuzuordnenden, muß die Kleiqualität nach dem Augenschein als kaum ausreichend bezeichnet werden. Der Tongehalt dieses Bodens beträgt nur 12 %, der Anteil an Sandkorn liegt bei 43 % und überschreitet damit den bei Hamburger Deichbauten festgelegten Grenzwert von 40 % (MEENEN, COUSIN, 42, 43). Bei einem Sandkornanteil um 30 % oder darunter ist der Kleiboden als gut für den Deichbau zu bezeichnen, insbesondere, wenn er gleichzeitig einen Tonanteil zwischen 20 und 30 % aufweist. Der in Probe 2 festgestellte große Anteil von 36 % an bindigen Bestandteilen mit einem Korndurchmesser unter 0,002 mm erschwert die Verarbeitung und Verdichtung dieses Bodens; auch waren hier im trockenen Sommer 1959 starke Risse bis 12 cm oberer Breite und 1,5 m Tiefe zu beobachten.

Im Rahmen der Planung und Vorbereitung des 1967 durchgeführten Deichbaues auf der Insel Spiekeroog wurde durch die Forschungsstelle Norderney eine eingehende bodenphysikalische Untersuchung des auf dem Heller anstehenden Kleibodens durchgeführt. Nicht nur die Körnungskurve, sondern auch alle im folgenden noch zu erläuternden Faktoren und Eigenschaften, die für die Eignung eines Kleibodens für den Deichbau kennzeichnend sind, wurden dabei ermittelt.

Der Glühverlust, der den Anteil an organischer Substanz widergibt, wurde mit 8,5 bis 10,2 % ermittelt. Er lag damit relativ hoch, konnte aber noch hingenommen werden, da er sich im Rahmen der empfohlenen Grenze von 10 %, äußerstenfalls 15 % hielt (42, 43).

Die Plastizität des Spiekerooger Kleis konnte als besonders gut bezeichnet werden und entsprach dem von hochplastischem Ton. Die Plastizität wurde zu i. M. 55 % ermittelt. Der Boden war dadurch für den Deichbau besonders gut geeignet, denn bei ausreichender Verdichtung würde er weniger empfindlich gegen Wassergehaltsänderungen sein. Auf Grund dieser hohen Plastizitätszahl konnte auch mit einer relativ großen Haftfestigkeit (Kohäsion) von über 0,1 kg/cm² gerechnet werden.

Bei einem spezifischen Gewicht von 2,67 g/cm³ ergab das an ungestörten Bodenproben ermittelte Trockenraumgewicht γ_t = 1,06 g/cm³ einen Porenanteil von 0,6. Dieser

Die Küste, 19 (1970), 125-185

Porenanteil lag zu hoch. Durch Verdichtung mußte er soweit verringert werden, daß das Trockenraumgewicht einen Wert von mindestens $\gamma_t = 1{,}25$ g/cm³ aufwies, so daß sich der Porenanteil dann zu etwa 0,53 ergeben würde. Als brauchbarer Vergleichswert hierzu kann der aus verschiedenen, auf den Seedeichen an der ostfriesischen Nordküste gezogenen Proben festgestellte Mittelwert des Trockenraumgewichts von rd. $\gamma_t = 1{,}4$ g/cm³ gelten. Dieser Mittelwert ergibt einen Porenanteil von 0,47. Erstrebenswert ist bei derartigen Böden folglich ein Porenanteil kleiner als 0,5.

Als Schrumpfmaß wird die Volumenverminderung einer Bodenprobe, bezogen auf den Rauminhalt vor dem Schrumpfen, bezeichnet. Das Schrumpfmaß des Kleis auf dem Spie-

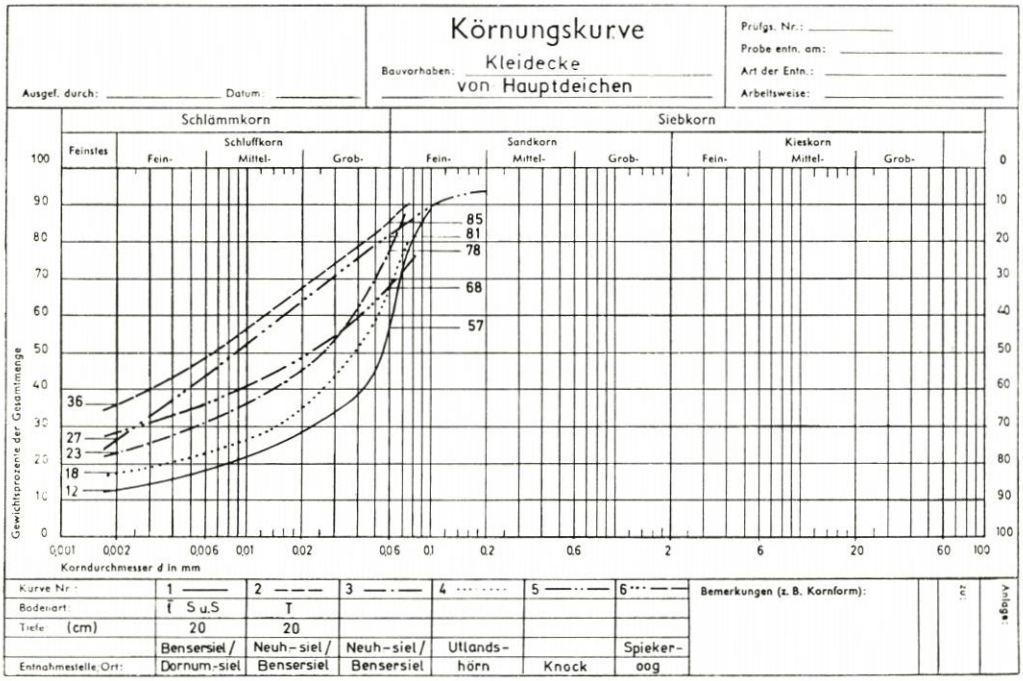


Abb. 26. Körnungskurven der Kleidecken von Hauptdeichen

kerooger Heller wurde zu 38 % ermittelt; das bedeutet, daß in der Kleiabdeckung bei Austrocknung überdurchschnittlich starke Rißbildungen auftreten können, wenn keine ausreichende Verdichtung erzielt worden ist.

Die Untersuchungen hatten gezeigt, daß die an sich wenig konsolidierten Kleiablagerungen auf dem Spiekerooger Heller für den Deichbau gut geeignet waren. Gleichzeitig wurde aber erkannt, daß in ganz besonderem Maße auf die Verdichtung dieses Bodens zu achten sei, damit das Trockenraumgewicht heraufgesetzt und gleichzeitig durch eine mehrfach zu wiederholende Verdichtung des Bodens nach dem Einbau auf dem Deich und der dadurch eingeleiteten Austrocknung einer zu starken Rißbildung entgegengewirkt würde.

Die Verdichtung eines bindigen Kleibodens ist bekanntlich aus gerätetechnischen Gründen mit Schwierigkeiten verbunden. Statische Walzen, Vibrationswalzen oder auch Schaffußwalzen scheiden auf Grund der Schwierigkeiten, die sich bei der Durchführung ergeben haben, aus. Zwei Verdichtungsverfahren werden in Ostfriesland heute mit Erfolg angewandt. Das sind

1. die Verdichtung durch Stampfen mit dem gefüllten Baggerkorb und
2. die Verdichtung durch Befahren der Oberfläche mit schweren Raupen.

Der Einbau erfolgt zudem in Schichtstärken von 30 bis 50 cm. Durch ausreichenden Geräteeinsatz und eine ununterbrochene Überwachung des Kleieinbaus durch die örtliche Bauleitung ist die für die Festigkeit und Dichtigkeit der Kleidecke so entscheidende Verdichtung sicherzustellen. Durch geeignete Sondiergeräte sollte die erzielte Dichtigkeit stichprobenweise überprüft werden.

Beim Bau und bei der Erhöhung und Verstärkung von Seedeichen in Ostfriesland stand im allgemeinen ein ausreichend guter Klei für die Deichdecke zur Verfügung. Er hat in der Regel an der Außenböschung eine Stärke von 1,30 m bis 1,50 m und an der Binnenböschung eine Stärke von 1,0 m erhalten (Abb. 15, 16). Bei Pogum betrug sie bei der oberhalb des Bemessungswasserstandes 1:4 geneigten Böschung 2,0 m (Abb. 21). Bei den Stromdeichen an der Ems wird die Kleidecke außen mit 1,50 m und binnen mit 1,00 m Stärke und bei den Flußdeichen außen und binnen 1,00 m stark ausgeführt (Abb. 21).

Die Stärke der Kleischicht wurde beim Deichbau auf der Insel Spiekeroog wie auch bei anderen Inseldeichen auf Grund des Kleimangels an der Außenböschung auf 50 cm beschränkt. In Anbetracht der zu erwartenden relativ geringen Beanspruchung dieses Deiches, der nach Südwest, Süd bzw. Südost kehrt, hinter einem breiten, hohen Heller liegt und, wie unter 3.515. beschrieben, auf der gegen Südwest kehrenden Strecke durchgehend eine Böschungsneigung von 1:6 erhalten hat, dürfte diese Kleischichtstärke hier ausreichen.

An der Ems oberhalb von Weener findet sich entweder nur eine dünne oder gar keine Kleideckschicht im Gelände. Hier mußte daher der Klei für den Deichbau bei Halte von den nahezu 20 km weiter emsabwärts liegenden Pütten per Schiff herangebracht werden.

3.63. Begrünung

Die Abwehrkraft des Seedeiches ist nach WOHLENBERG (64) in hohem Maße eine Funktion seiner Pflanzendecke. Die Grasnarbe ist aber nur dann abwehrbereit, wenn sie

1. sowohl bei einer Ansaat als auch bei einer Besodung die den extremen Standortverhältnissen entsprechenden Grasarten enthält und
2. diese Gräser planmäßig durch Beweiden kurzgehalten werden, wodurch eine dichte Narbe gewährleistet wird.

Bei Deichneubauten oder Deicherhöhungen und -verstärkungen bildet die Begrünung bzw. Besodung die letzte Bauleistung, die in der Regel erst im Spätsommer bzw. im frühen Herbst ausgeführt werden kann. Von der Ausführungszeit ist es abhängig, wie weit die Deichhaut besodet und wie weit sie angesät wird; auch die Stärke der Soden wird durch den Zeitpunkt des Einbaues bestimmt (37). Im allgemeinen wird bei Deichbauten im ostfriesischen Raum die Außenböschung unterhalb NN + 5,0 m, das sind wenige Dezimeter über HHThw, mit Soden angedeckt.

Die standortgerechte Besodung (WOHLENBERG, 64) ist beim Deichbau äußerst wichtig. Liegen beispielsweise der untere Bereich der Außenböschung und die Außenberme hinter einem jungen niedrigen Heller noch recht niedrig, so werden hier bis höchstens 50 cm über MThw Andelsoden *(Puccinellia maritima)* angedeckt, die in der Nähe auf dem jungen Heller gewonnen werden können. Daran schließen sich im mittleren Bereich der Böschung Rotschwingelsoden *(Festuca ruba)* an, die etwa bis zur Ordinate MHThw, das ist für die Nordküste Ostfrieslands NN + 3,13 m (Pegel Bensersiel), hinaufreichen. Diese Soden werden im älteren höheren Deichvorland gewonnen. Darüber folgen dann Soden aus Süßgräsern, die

Die Küste, 19 (1970), 125-185

auf hinter dem Deich liegenden Dauerweiden gewonnen werden können. Wichtig ist, daß ihre Pflanzengesellschaft Deutsches Weidelgras *(Lolium perenne)* und Wiesenrispengras *(Poa pratensis)* enthält, da diese beiden Süßgräser eine große ökologische Breite besitzen und einen gewissen Salzgehalt im Boden vertragen können (WOHLENBERG, 64). Bei einer Deichhaut aus weniger bindigem Kleiboden bzw. bei der relativ dünnen Kleischicht der Inseldeiche wird die Besodung möglichst bis über die Deichkrone hochgezogen.

Die Stärke der Soden schwankt zwischen 3 u. 10 cm. Solange es aus jahreszeitlichen Gründen und auf Grund der örtlichen Gegebenheiten zulässig erscheint, sollte eine dünne 5 bis 6 cm starke Sode gewählt und auf eine besonders vorbereitete gute Mutterbodenschicht verlegt werden, damit die Sode schnell fest mit dem Untergrund verwachsen kann. Das gleiche gilt für die in den letzten 10 Jahren in zunehmendem Maße eingesetzten Rollsoden von etwa 3 cm Stärke, die in arbeitstechnischer Hinsicht und wegen ihres geringen Transportgewichts wesentliche Vorteile bieten. Dabei müssen diese Soden je nach Höhenlage an der Böschung von den oben beschriebenen Standorten entnommen werden und dürfen keinesfalls auf Torfsubstrat o. ä. gezogen sein (WOHLENBERG, 64).

Die Rollsodentechnik ist nicht erst eine Erfindung unserer Zeit. Sie wurde bereits von HINRICHS (1931) in einer Beschreibung über einen 1911 erbauten Seedeich erwähnt (22).

Können die Soden erst im Herbst eingebaut werden, so werden sie mit einer Dicke von etwa 10 cm geschnitten. Diese dickeren Soden werden nicht so rasch vom Wasser herausgeschlagen (LÜDERS, 37). Im unteren Bereich der Außenböschung empfiehlt sich eine zusätzliche Sicherung durch Besticken mit Stroh (s. a. 5.4.) (Abb. 32). Durch Stahlhaken verankertes Drahtgeflecht hat sich für diesen Zweck nicht bewährt.

Auf ein sauberes und dichtes Verlegen der Soden, ein Abkrümeln mit Mutterboden und ein Abrütteln bzw. Klopfen ist in jedem Falle Wert zu legen.

Auch bei der Ansaat von Deichböschungen ist darauf zu achten, daß standortgerechte Gräser gewählt werden, die eine dichte, nicht aus einzelnen Horsten bestehende, nicht zu stark wüchsige, tief verwurzelte Grasdecke bilden. Folgende Grassamenmischungen haben sich bewährt (Angaben in Gewichts-%):

	Rezept I	Rezept II
Deutsches Weidelgras *(Lolium perenne)*, spätschossende Weidesorten	35 %	41 %
Rotschwingel, echte Ausläufer treibend *(Festuca rubra genuina)*	30 %	35 %
Wiesenrispengras *(Poa pratensis)*	20 %	20 %
Kammgras *(Cynosurus cristatus)*	10 %	—
Weißklee, Original Morsoe *(Trifoleum repens)*	5 %	4 %

Vom Deutschen Weidelgras sollten spätschossende Weidesorten bevorzugt werden. Wiesenschwingel hat an Seedeichen im allgemeinen nicht Fuß gefaßt. Kammgras bewährt sich vor allem bei starker Trift. Die Grassamenmenge sollte etwa 30 g/m² gewählt werden (HILLER, 21).

Das Rezept I ist in der Artenzusammensetzung von WOHLENBERG entwickelt (64) und nach umfangreichen Untersuchungen nach biologisch deichpflegerischen Gesichtspunkten erprobt worden. Als Standardgräser für Deichbegrünungen ergeben sich aus dieser Zusammenstellung das Deutsche Weidelgras, der ausläufertreibende Rotschwingel und Wiesenrispengras.

Mit Ausnahme des unter 3.55 beschriebenen reinen Sanddeiches an der Knock mit äußerst flachen Böschungen sind im übrigen vor 1968 an den Deichen mit Kleidecke besondere Begrünungsverfahren unter Verwendung von speziellen Emulsionen und dergl. nicht erprobt worden. Wie weit es möglich sein wird, die Begrünung der Deiche durch derartige Saathilfsverfahren noch zu verbessern bzw. eine Besodung im unteren Bereich der Außenböschung durch eine Ansaat unter gleichzeitiger Festigung der oberen Kleischicht durch geeignete Zusätze zu ersetzen, bleibt der Zukunft überlassen. Ein erster Versuch dieser Art wurde im Herbst 1968 auf dem im gleichen Jahr erhöhten und verstärkten Münsterpolderdeich durchgeführt. Außenböschung, Krone und Binnenböschung dieses hinter einem hohen Sommerdeich gelegenen künftigen Hauptdeiches wurde mit Samen besonders kurzwüchsiger Gräser angesät. Die Saat wurde dabei zusammen mit gelöstem Dünger und einer die Oberfläche festigenden Emulsion versprüht. Ein Urteil über die Bewährung dieser Verfahren kann zur Zeit noch nicht abgegeben werden.

3.7. Bauwerke im Deich

Bei allen Bauten im „Goldenen Ring" ist stets zu bedenken, daß das gesamte Bauwerk nur so stark ist wie sein schwächster Teil. Zu den besonderen Anlagen und Bauten im Deich zählen die Siele und Schöpfwerke für die Entwässerung, die Schleusen für den Schiffsverkehr, die Deichgats, -rampen und -treppen für den Fahrzeug- und Personenverkehr. Die größeren

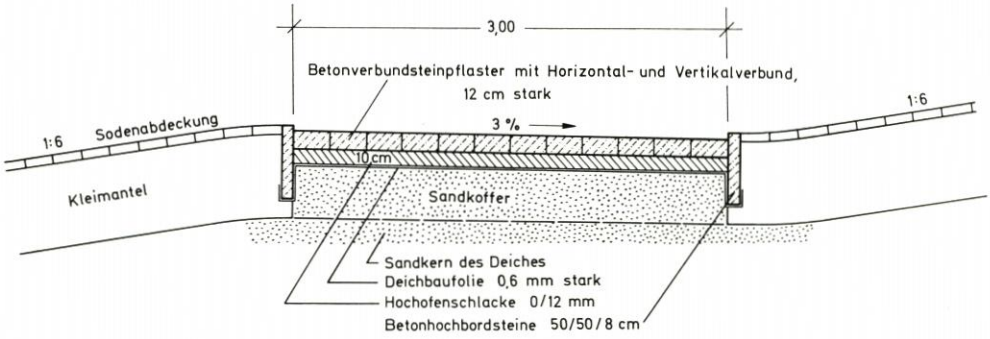


Abb. 27. Deichrampe auf der Außenböschung des Hauptdeiches auf der Insel Spiekeroog

konstruktiven Bauwerke sollen hier nicht behandelt werden. Eine gute Verbindung mit dem Deich und ausreichende Sicherheitsmaßnahmen gegen Um- und Unterströmung dürften bei ihnen eine Selbstverständlichkeit sein.

Im folgenden werden die Rampen behandelt, aber auch auf die für die Deichpflege durch Beweidung notwendigen Viehtriften und Zäune soll hier näher eingegangen werden.

Deichrampen sind notwendig für den Transport der Geräte und Baustoffe für die Unterhaltung der Deichaußenböschung und der Deckwerke, für den Bau und die Unterhaltung der Schutzwerke vor dem Deich, für die Nutzung und Pflege des Deichvorlandes sowie für den

Die Küste, 19 (1970), 125-185

Abtransport des Teeks. Ihre Anzahl sollte auf das notwendige Maß beschränkt bleiben; ein Abstand von 2 bis 3 km ist jedoch anzustreben, um zu große Längstransporte auf den in der Regel unbefestigten Außenbermen zu vermeiden. Die Rampen sollten stets befestigt werden, und zwar so, daß sie dem zu erwartenden Verkehr gewachsen sind. Eine Herabsetzung der Wehrhaftigkeit des Deiches oder gar ein Einschneiden in den Deichkörper muß auf jeden Fall vermieden werden.

Um keine Unebenheit in der Außenböschung zu erhalten, sind bei dem Umbau der Außenböschung des Deiches Neuharlingersiel/Bensersiel im Jahre 1962 bei der Böschungsneigung 1:6 die Rampen als Schwarzdeckenstreifen bündig in diese Böschung gelegt worden. Es hat sich gezeigt, daß derartige Rampen zwar für den PKW-Verkehr noch geeignet sind, aber keinen LKW-Verkehr und andere kopflastige Fahrzeuge und Geräte passieren lassen. Eine sachgerecht angelegte geringfügige Verbreiterung des Deichkörpers im Bereich der Rampe bildet keinen



Abb. 28
Pflasterstreifen am Weidezaun auf dem Deich zur Vermeidung von Trittschäden

Ansatzpunkt für Deichzerstörungen. In Abb. 27 ist eine 1967 auf der Insel Spiekeroog ausgeführte Deichrampe dargestellt. Wie schon früher im Deichbau üblich, ist das Quergefälle zum Deichkörper gerichtet, so daß das Niederschlagswasser an dem niedrigen Hochbord entlang auf dem Pflaster abgeführt wird und am Deichfuß durch eine gepflasterte Rinne zum Ringschloot geleitet werden kann. Der äußere Hochbord war in diesem Fall zweckmäßig, um ein Begegnen der Gespanne in den verkehrsreichen Saisonmonaten auf der Rampe von vornherein zu verhindern und das Warten auf der Verbreiterung auf der Deichkrone oder vor dem Deich zu erzwingen.

Befestigte Viehtriften werden angelegt, wo Deichvorland und Binnendeichsflächen zusammen mit dem Deich beweidet werden. Wie später noch eingehend zu erläutern ist, werden die Hauptdeichstrecken Ostfrieslands in überwiegendem Maße mit Rindvieh beweidet. Ist dem Deich ein Vorland vorgelagert, so läßt sich die gemeinsame Beweidung in einer Wechselwirtschaft besonders günstig durchführen. Bei leichten Sturmfluten muß das Vieh den Heller verlassen; es wird auf binnendeichs liegende Stützpunktflächen getrieben. Bei größeren Hellern mit entsprechend starkem Viehbesatz empfiehlt es sich, auf dem Deich Viehtriften zu befestigen, um Beschädigungen der Grasnarbe auszuschließen. Bewährt hat sich hierfür die Verwendung von Betonpflaster, das in die Kleidecke gelegt wird. Bei dem Einbau von Streifenrauhigkeiten durch um 2 cm stärkere Steinstreifen in regelmäßigen Abständen wird ein sicheres Begehen dieser Viehtriften auch bei einer gewissen Verschmutzung mit Klei erzielt.

Bei einer Pflege und Nutzung des Deiches durch Beweiden sind Zäune unerläßlich. Entlang des Zaunes wird die Grasnarbe besonders stark vom Vieh begangen und so leicht beschädigt. Ein 2,5 m breiter Pflasterstreifen an jeder Zaunseite mit den bei den Triften beschriebenen Rauhigkeiten hat sich in Ostfriesland sehr gut bewährt (Abb. 28).

3.8. Linienführung, zweite Deichlinie, Schutzlinie in den Dünen

Bei den Baumaßnahmen zur Schaffung eines ausreichenden Sturmflutschutzes werden in überwiegendem Maße vorhandene Hauptdeiche erhöht und verstärkt. Dabei sollte bei der Planung stets geprüft werden, ob hier und da eine Korrektur der Linienführung zu Verbesserungen oder Vorteilen in technischer oder wirtschaftlicher Hinsicht führt. Es ist allerdings zu bedenken, daß kleinere Ausbuchtungen vielfach ehemalige Umfassungsdeiche eines beim Deichbruch entstandenen Kolkes darstellen. Man verläßt bei solchen Begradigungen dann den konsolidierten Baugrund unterhalb des alten Hauptdeiches und nimmt u. U. das Risiko einer größeren Grundbruchgefahr und größerer Setzungen auf sich. In solchen Fällen sollten besonders eingehende Baugrunduntersuchungen vorausgehen.

An der Nordküste Ostfrieslands bietet sich eine Vorverlegung des Hauptdeiches zwischen Bensersiel und Ostermarsch geradezu zwingend an. Auf der ganzen rd. 23 km langen Strecke sind dem alten Hauptdeich winterbedeichte und z. T. besiedelte Polder mit Ausnahme kleiner Lücken an den jeweiligen Sielorten vorgelagert. Diesen Polderdeichen, die etwa die Höhe und das Bestick der Hauptdeiche haben, ist überall ein breites grünes Vorland, das teilweise sogar von Sommerdeichen umgeben ist, vorgelagert. Durch die Vorverlegung der Hauptdeichlinie werden nicht nur die in den Poldern vorhandenen Siedlungen und die wertvollen landwirtschaftlichen Flächen vor Sturmfluten wirksam geschützt; es wird darüber hinaus eine Verkürzung der Deichlinie um rd. 1 km erzielt. In der Deichacht Esens ist die rd. 10 km lange Vordeichung zwischen Bensersiel und Dornumergrode bereits fertiggestellt; in der westlich angrenzenden Deichacht Norden wird sie grundsätzlich ebenfalls angestrebt.

Eine wesentliche Verkürzung der Hauptdeichlinie würde die Bedeichung der äußeren Leybucht mit sich bringen (Abb. 29). Die die Leybucht umgebende rd. 16 km lange Hauptdeichstrecke, die größtenteils noch wesentlich erhöht werden müßte, kann durch die Neueindeichung auf 8 km verkürzt werden. Das ist eine erstrebenswerte Verkürzung, denn jeder Kilometer Deich bedeutet auch einen Kilometer Risiko. Durch diesen Deichbau, der in seiner Dringlichkeit hinter den anderen Deicherhöhungs- und -verstärkungsmaßnahmen rangiert, so daß noch geraume Zeit bis zu seiner Verwirklichung vergehen dürfte, wird:

1. eine erhebliche Deichverkürzung von 8 km und ein dadurch verringertes Risiko geschaffen und
2. der Sielzug für ein Entwässerungsgebiet von rd. 35 000 ha im Norder Entwässerungsverband und für eine Teilfläche des I. Entwässerungsverbandes Emden wesentlich verbessert bzw. für Greetsiel erst wieder geschaffen und gleichzeitig eine für den Pumpbetrieb sehr wertvolle Hochwasserspeicherung gewonnen;
3. wieder günstige Fahrwasserverhältnisse für den bedeutenden Fischerhafen Greetsiel geschaffen und
4. die dringende Agrarstrukturfrage im Raume der Leybucht einer Regelung zugeführt (58).

Auch an der Ems sind einige Deichbegradigungen geplant oder bereits in den letzten Jahren ausgeführt worden. Hier handelt es sich fast immer um eine zweckmäßige Folgemaßnahme einer früheren Emsbegradigung infolge Durchstechens von Flußschleifen.

Bei den beschriebenen Vordeichungen wird aber nicht nur die Deichlinie verkürzt, sondern der Deichschutz wird auch dadurch verbessert, daß durch die Vorverlegung von Hauptdeichen die alten Hauptdeiche als zweite Deichlinie erhalten bleiben. An der Nord-

Die Küste, 19 (1970), 125-185

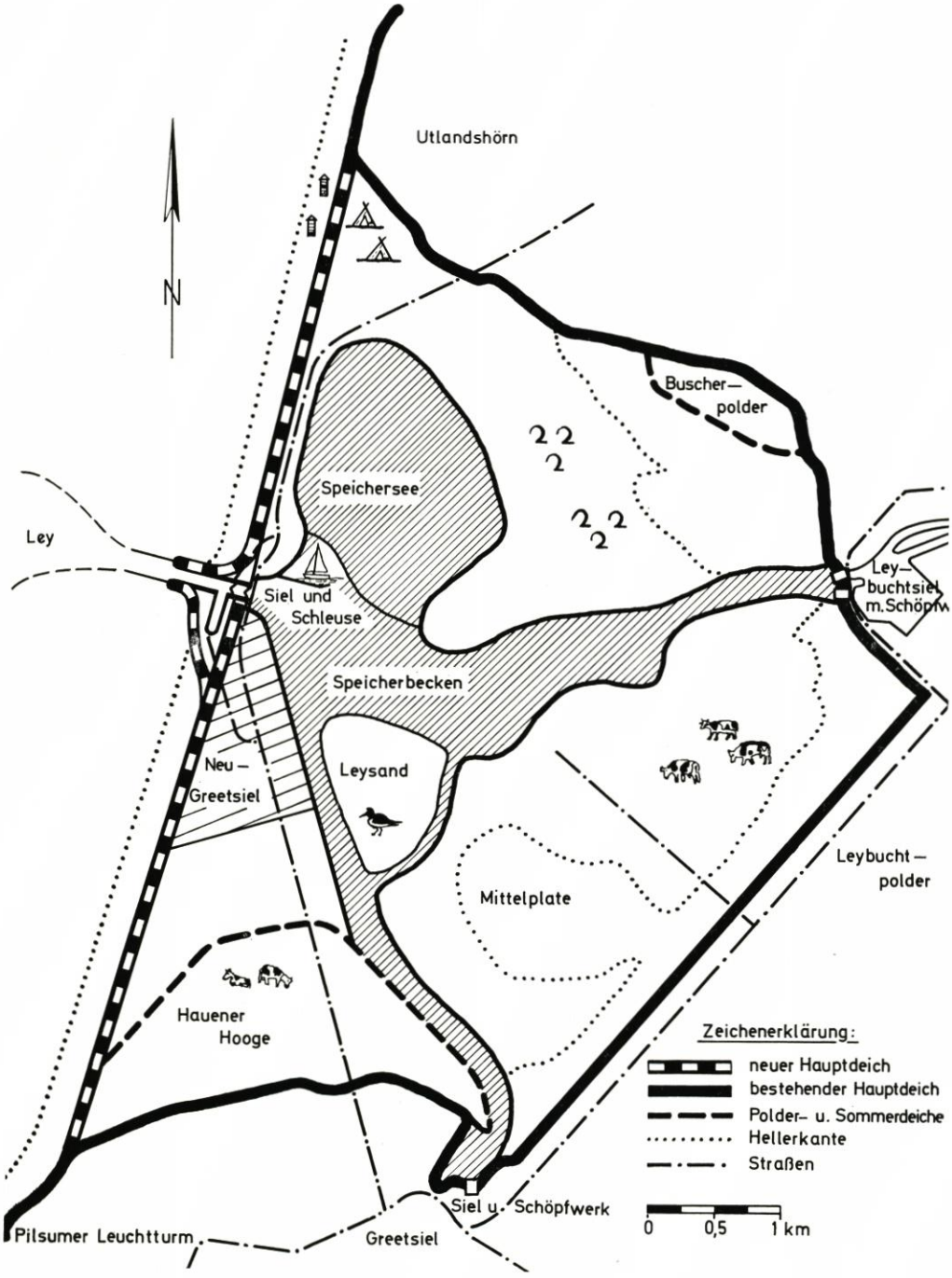


Abb. 29. Geplante Eindeichung der Leybucht

küste wird also auf einer Länge von 23 km eine zweite Deichlinie geschaffen, die im Abstand von 500 bis 1000 m hinter der neuen Hauptdeichlinie eine zusätzliche Sturmflutsicherung darstellt. Auch nach der Eindeichung der rd. 2700 ha großen äußeren Leybucht wird die jetzige Deichlinie als zweite Deichlinie in diesem Raum erhalten bleiben. Eine gleiche finden wir in Ostfriesland nur noch am Dollart. Dort ist auf einer Länge von rd. 7,5 km nördlich der Grenze gegen die Niederlande nach dem Bau des Kanalpolderdeiches der Heinitzpolderdeich als zweite Deichlinie erhalten geblieben bzw. durch Bau der Anschlußdeiche eingerichtet worden.

Auf den Inseln bilden die Hauptdeiche fast immer den Schutz des besiedelten Gebietes und der landwirtschaftlichen Flächen von der Wattseite, während an der West- und Nordseite die hohen Dünen, z. T. durch Deckwerke gesichert, die Insel schützen. An beiden Enden schließt der Deich jeweils an die vorhandenen Dünen an und bildet mit diesen zusammen den schützenden „Ring". Besonderer Sorgfalt bedarf die Feststellung und Festlegung dieser entscheidenden Schutzlinie in den Dünen. Da im Innern der Insel an den Südseiten der Dünen vielfach die durchgehenden Dünenketten fehlen, bereitet die Feststellung der Sturmflutsicherheit hier erhebliche Mühe. Auf der Insel Spiekeroog konnte erst nach einer Höhenaufnahme durch Luftbildvermessung die günstigste Schutzlinie festgelegt werden. Auch sie wies noch einige unscheinbare kleine Dünenmulden auf, die verfüllt werden mußten, um den Sturmflutschutz voll herzustellen.

3.9. Stand des Ausbaues der Deiche Ende 1968

Der Stand des Ausbaues der See-, Strom- und Flußdeiche ist aus Tabelle 1 zu entnehmen (Abb. 1).

An den Seedeichen ist die Verstärkung der Hauptdeiche in der Deichacht Esens zwischen Harlesiel und Neuharlingersiel bis auf eine kurze Strecke und vom Ostheller Bensersiel bis Dornumergrode auf rd. 20 km abgeschlossen; auf der Strecke Neuharlingersiel—Bensersiel wurden das Deckwerk und die Außenböschung 1962 umgebaut. Eine Erhöhung und binnenseitige Verstärkung und Böschungsabflachung stehen hier noch aus.

In der Deichacht Norden ist die genannte Hauptdeichstrecke im Ostteil durch Deichvorverlegung und im Westteil durch eine Erhöhung und Verstärkung, die in Kürze in Angriff genommen werden soll, noch auf das vorgeschriebene Bestick zu bringen. Für die etwa 7 km lange Strecke entlang der Leybucht erübrigt sich die Erhöhung im Hinblick auf die geplante Bedeichung der äußeren Leybucht.

In der Deichacht Krummhörn fallen die nördlichsten 9 km in den Schutz des späteren Leybucht-Abschlußdeiches und werden dann als 2. Deichlinie eingestuft. Südlich anschließend wurde im Jahre 1968 mit den Deicherhöhungs- und -verstärkungsmaßnahmen begonnen; rd. 2,5 km werden bis zum Jahresende fertiggestellt sein. Die südlich anschließenden rd. 13 km bis Rysum sollen in den nächsten Jahren ausgebaut werden. Hier schließt das Aufspülgelände „Rysumer Nacken" an, auf dem die Baggermassen aus dem Emsfahrwasser untergebracht werden. Im Bereich der Knock wurden rd. 3,3 km Hauptdeiche im Zusammenhang mit den Baumaßnahmen des I. Entwässerungsverbandes Emden „Neubau des Sieles und Schöpfwerkes Knock" gebaut (Erchinger, 11). Der sog. „Staatliche Seedeich" von der Knock bis Emden, der in den Jahren 1912 bis 1923 gebaut wurde, hat ein recht günstiges Profil; er muß jedoch noch erhöht werden. Im Bereich des Hafens Emden sind die Deiche auf rd. 2,5 km bereits auf das neue Bestick gebracht; die verbleibenden rd. 2,5 km bis zur Deichachtsgrenze am Siel und Schöpfwerk Borßum werden in Kürze erhöht und verstärkt.

Die Küste, 19 (1970), 125-185

In der Rheider Deichacht ist die 1962 sehr schwer beschädigte Deichstrecke bei Pogum an der Nordostecke des Dollarts auf einer Länge von rd. 3,5 km erhöht und verstärkt worden. Die südlich anschließende Strecke bis zur niederländischen Grenze liegt hinter einem breiten, hohen Vorland und hat ein relativ günstiges Profil; die Deichstrecke muß aber noch auf das vorgeschriebene Bestick gebracht werden.

An Stromdeichen und Flußdeichen sind in der Rheider Deichacht rd. 2 km bei Großsoltborg und Halte erhöht und verstärkt worden. Die verbleibende Strecke von rd. 38 km ist noch auszubauen.

In der Moormerländer Deichacht sind von den Stromdeichen zwischen Emden-Borßum und Leer die Anschlußdeiche an das neugebaute Siel und Schöpfwerk Sauteler Siel fertiggestellt sowie eine rd. 3,5 km lange Strecke von Leer emsabwärts in Bau.

In der Oberledinger Deichacht bedürfen die rd. 18 km langen Flußdeiche am rechten Emsufer noch der Erhöhung und Verstärkung.

Von den drei letztgenannten Emsdeichachten sind ferner mit erheblichen Aufwendungen Ufersicherungen an der Ems gegen die zunehmenden Abbrüche infolge der Schiffahrt als Deichfußsicherungen durchgeführt worden.

Insgesamt kann festgestellt werden, daß in den letzten Jahren viel zur Schaffung eines sicheren Sturmflutschutzes durch den Ausbau der Hauptdeiche geleistet worden ist. Es bedarf aber noch großer Anstrengungen, um dieses Werk zum Schutze von rd. 220 000 ha in Ostfriesland und weiteren rd. 40 000 ha großen Flächen, die im Verwaltungsbezirk Oldenburg liegen und mit zu dem von diesen Deichen geschützten Gebiet und somit zum Leda-Jümme-Verband gehören, fertigzustellen.

4. Sommerdeiche

Dem Sommerdeich kommt neben seinem Zweck zum Schutz und zur Sicherung der Nutzung der Polderflächen vor Sommersturmfluten eine wichtige Aufgabe als Anlage des aktiven Küstenschutzes zu, denn auch er verringert die den Hauptdeich angreifenden Kräfte.

Die Heller vor den Hauptdeichen des Festlandes und auf den Inseln sind teilweise von Sommerdeichen umgeben. Ein Teil dieser Sommerdeiche wird als „Umwallung" bezeichnet, denn sie sind so niedrig, daß sie auch von höheren Sommerfluten noch überströmt werden. Damit sie als Küstenschutzwerk wirksam werden, muß die Sommerdeichkrone mindestens etwa 1 m über der Hellerfläche und somit rd. 1,50 m über MThw liegen. Nur die als Küstenschutzwerk wirksamen Sommerdeiche sollen hier behandelt werden, sie sind auf Abb. 1 wiedergegeben.

1957 ist die rd. 275 ha große Hellerfläche Hauener Hooge bei Greetsiel mit einem Sommerdeich umgeben worden. Die Deichkrone wurde mit NN + 3,0 m etwa 1,80 m über MThw gelegt. In seinem Hauptabschnitt liegt der Sommerdeich bis zu 1100 m vor dem Hauptdeich. Wie in den „Empfehlungen für den Deichschutz nach der Februarsturmflut 1962" (13) allgemein festgestellt wird, hat sich auch dieser Sommerdeich in dieser schweren Sturmflut bewährt und den Wellenangriff und Wellenauflauf am Hauptdeich verringert. Die aus gutem Klei hergestellten Böschungen haben eine Neigung von 1:7 auf beiden Seiten. Die Krone ist 1 m breit. Diese Querschnittsgestaltung kann empfohlen werden, denn der Sommerdeich der Hauener Hooge weist auch nach mehrfachen Überflutungen im Winter jeweils kaum Schäden auf (49).

In den letzten Jahren sind Sommerdeiche vor dem Iherings-Sommergroden und dem Münster-Sommerpolder westlich von Carolinensiel bzw. von Dornumersiel nach denselben Grundsätzen gestaltet worden; ihre Deichkrone wurde jedoch auf NN + 3,5 m und somit

2,20 m über MThw gelegt. Die Breite des Sommerpolders beträgt hier 400 bis 500 bzw. 200 bis 400 m.

Neben der günstigen Wirkung des Sommerdeiches auf den Wellenauflauf und den Wellenangriff am Hauptdeich bietet ein Sommerdeich noch weitere sich günstig auf die Deichsicherheit und die Deicherhaltung auswirkende Vorteile. Der an den ostfriesischen Hauptdeichen streckenweise in erheblichen Mengen anfallende Teek (Treibsel), der aus den unter 5. noch näher zu erläuternden Gründen für den Deich sehr schädlich ist und dessen Beseitigung umfangreiche Kosten verursacht, bleibt in den meisten Fällen schon vor einem ausreichend hohen Sommerdeich liegen. Die Grasnarbe des Hauptdeiches wird somit nicht geschädigt, und die Außenböschung vermag bei einer den Sommerdeich überschreitenden schweren Sturmflut den Kräften ungeschwächt Widerstand zu leisten. Da aus dem gleichen Grunde in einem Sommerpolder der Außenringschloot des Hauptdeiches kaum verschlicken und durch Teekablagerungen verstopfen kann, ist die Entwässerung des Deichfußes in einem Sommerpolder in der Regel in einem besseren Zustand als bei einem nicht sommerbedeichten Vorland, so daß der untere Böschungsbereich und die Außenberme fester und besser bewachsen sind.

Auf die Deicherhöhungs- und -verstärkungsmaßnahmen wirkt sich ein ausreichend hoher Sommerdeich ebenfalls vorteilhaft aus, wie sich 1968 bei der Erhöhung und Verstärkung des Münsterpolderdeiches gezeigt hat. Da der untere Bereich der Außenböschung nur selten und dann nur bei Wasserständen, die oberhalb der Sommerdeichkrone liegen, angegriffen wird, braucht die Böschung im unteren Bereich nicht abgeflacht zu werden, sondern sie kann mit der Neigung 1:6 bis auf Geländehöhe durchlaufen, wo sie gut ausgerundet mit einem Radius von 10 m angeschlossen wird (s. 3.512.). Da der Sommerdeich wie eine Art „Wellenbrecher" wirkt, kann auch die Deichhöhe etwas niedriger gehalten werden. Auf eine Besodung der Außenböschung kann in der Regel ebenfalls verzichtet werden, da

1. die Wahrscheinlichkeit, daß der Hauptdeich dem Wellenangriff ausgesetzt wird, wesentlich geringer ist — die Deichkrone des Münster-Sommerpolderdeiches von NN + 3,5 m wird dreimal in 10 Jahren erreicht bzw. überschritten — und
2. die den Deich angreifenden Kräfte dann merklich geringer sind, so daß bei einer einigermaßen festen Kleidecke eine Ansaat der ganzen Außenböschung ausreichen dürfte.

Bei der Bemessung des Sommerdeichsieles ist davon auszugehen, daß der Sommerpolder nach der Überflutung nach 1 bis 2 Tagen wieder entleert werden kann.

5. Erhaltung und Pflege des Deiches

5.1. Allgemeines

Die Deicherhaltung obliegt in der Regel den Deichverbänden — in Ostfriesland Deichachten genannt. Durch das Nieders. Deichgesetz vom 1. März 1963 (Lüders, Leis, 40) sind die derzeitig bestehenden Deichachten gegründet bzw. auf das geschützte Gebiet ausgedehnt oder unverändert bestätigt worden. Neu gegründet worden sind durch Zusammenfassung mehrerer bestehender Deichachten und deren Erweiterung auf das geschützte Gebiet, das nach dem maßgebenden Sturmflutwasserstand vereinfachend durch die obere Grenze auf NN + 5,0 m begrenzt wurde, die Deichacht Esens, die Deichacht Norden, die Deichacht Krummhörn, die Rheider Deichacht und die Moormerländer Deichacht. Auf das geschützte Gebiet ausgedehnt wurde die Oberledinger Deichacht und völlig unverändert blieb der Leda-Jümme-Verband, der neben der Hauptdeichunterhaltung von 2 km im wesentlichen die Aufgaben des Hochwasserschutzes an Leda und Jümme und deren Zuflüssen sowie der Hauptentwässerung in

Die Küste, 19 (1970), 125-185

dem Verbandsgebiet übernommen hat. Die Gebietsgröße der einzelnen Verbände sowie ihre Deichstrecken sind aus Tabelle 1 zu ersehen.

Soweit der Staat bei Inkrafttreten des Deichgesetzes zur Deicherhaltung verpflichtet war, ist ihm diese Unterhaltungspflicht verblieben. Für zahlreiche Deichstrecken auf dem Festland und den Inseln liegt daher die Unterhaltungspflicht beim Land Niedersachsen — Wasserwirtschaftsverwaltung, Domänenverwaltung oder Häfen- und Schiffahrtsverwaltung. Deichverbände sind auf den Inseln nicht gegründet worden. Soweit nicht das Land die Unterhaltungspflicht hat, obliegt sie den Inselgemeinden.

Selbstverständlich gilt auch für den Deichbau der bei allen Ingenieurbauten geltende Grundsatz, das Bauwerk wirtschaftlich, d. h. so zu erstellen, daß es später ein Minimum an Unterhaltungsaufwand verursacht. Trotzdem werden immer wieder Schäden auftreten. Das Ausmaß der Schäden wird dabei weitgehend von dem Pflegezustand der Grasnarbe und der oberen Bodenschicht der Kleidecke abhängen.

5.2. Pflege der Grasnarbe

5.21. Deichbeweidung

Die wichtigste Pflegemaßnahme für alle Hauptdeiche ist ihre Beweidung. Bereits in der Deich- und Sielordnung für Ostfriesland vom 12. 6. 1853 (51) war die Deichbeweidung eindeutig geregelt und dazu festgelegt: „Verboten ist das Weiden von Vieh

a) an allen Deichen vor dem 10. Mai und nach dem 15. Oktober j. J. vorbehaltlich etwaiger von der Deichaufsicht zu gestattender Ausnahmen;
b) an den Deichen, die aus loser sandiger Erde bestehen oder steife Dossierungen (steile Böschungen) haben oder an denen sich Strohbestickungen befinden;
c) an frischbesodeten Deichstellen;
d) an Schutzwerken;
e) das Weiden von Schweinen und Gänsen."

Die Deiche werden in überwiegendem Maße mit Rindvieh beweidet, allerdings nicht überall wie angestrebt mit Jungvieh, sondern stellenweise noch mit älteren schweren Tieren. In der Deichacht Esens und der Deichacht Krummhörn sowie auf den Inseln Spiekeroog, Norderney und Juist wird auf insgesamt etwa 10 bis 15 % der Gesamthauptdeichstrecke Ostfrieslands eine Beweidung mit Schafen durchgeführt. Pferde dürfen grundsätzlich nicht auf die Deiche.

Feste Kleidecken mit guter Grasnarbe können ohne Bedenken mit Jungvieh bis etwa 225 kg Gewicht beweidet werden. Es ist allerdings dafür zu sorgen, daß die Tiere vom Deich getrieben und diesem ferngehalten werden, solange die Kleidecke nach starken Regenfällen oder nach einer Sommersturmflut durchnäßt und zu weich ist. Eine Kombination der Deichpflege und der Vorlandnutzung durch Jungvieh wird in Ostfriesland in mehreren staatlichen Weidebetrieben mit Pensionsvieh und auch von privaten Pächtervereinigungen mit gutem Erfolg praktiziert. Durch eine Koppelwirtschaft muß dafür gesorgt werden, daß die Tiere die einzelnen Deichstrecken nur zeitweise und dann intensiv beweiden, damit hier die bei ständigem Aufenthalt auf der Deichkrone stets auftretenden „Wanderwege" vermieden werden (Lüken, Meier, 41). Ferner muß binnendeichs eine ausreichend große sog. „Stützpunktfläche" vorhanden sein, so daß bei einer Hellerüberflutung und einem gleichzeitig durch starke Regenfälle aufgeweichten Deich die Tiere binnendeichs in Sicherheit gebracht werden können und so Trittschäden am Hauptdeich vermieden werden. Die Hauptviehtriften vom Vorland zum Stützpunkt werden zweckmäßigerweise wie unter 3.7. beschrieben gepflastert. Die ungünstigen Er-

fahrungen, die LAFRENZ über die Rindviehbeweidung von Deichen und Vorland in Schleswig-Holstein mitteilt (30): „Eine wirksame Hütung der Rinder am Seedeich ist während der gewöhnlichen Weidezeiten der Jahre nicht zufriedenstellend durchzuführen, denn die Tiere gieren zu sehr nach der Vorlandweide, wo sie nicht freiweidend geduldet werden können", können für Ostfriesland nicht geteilt werden. Die Beweidung großer Vorlandflächen wird hier ohne Schaden für die Tiere und das Vorland durchgeführt, und auch die Deiche lassen sich bei dieser intensiven Beweidung durch Koppelwirtschaft zusammen mit dem Vorland sehr günstig pflegen.

Die für die Deichpflege ebenfalls günstige Beweidung mit Schafen hat vor allem bei stark sandigen Kleidecken und bei Nässe Vorteile gegenüber der Rindviehbeweidung.

Eine ausreichende Versorgung des Rindviehs und der Schafe auf den Seedeichen und den Hellern mit gutem Tränkwasser ist äußerst wichtig. Die Tränkebecken werden niemals am Deich oder zu nahe am Deichfuß aufgestellt; sowohl auf dem Heller als auch auf der Stützpunktfläche werden sie von einem Steinpflaster umgeben (Abb. 30). In der Leybucht und bei Westeraccumersiel steht in 50 bis 60 m bzw. in 30 m Tiefe geeignetes Grundwasser für Tränkezwecke an. Es wird aus Tiefbrunnen mit einem Antrieb über Dieselmotor, Elektromotor oder Windmotor gefördert. In Gebieten, in denen das öffentliche Wasserversorgungsnetz bis in Deichnähe geführt ist, kann hieraus auch außendeichs brauchbares Tränkwasser gezapft werden. Tränkebecken mit selbststeuernder Schwimmerregelung geben hier stets frisches Tränkewasser frei. Auf Vorlandflächen, auf denen diese beiden Möglichkeiten zur Tränkewasserversorgung fehlen, werden wie auf dem Weidegebiet zwischen Hilgenriedersiel und Neßmersiel sturmflutfrei umdeichte Kuhlen, sog. „Ringdeichtränken", angelegt.

Bei der Beweidung durch Schafe wie bei der durch Rinder ist eine gute Organisation des Weidebetriebes sowie eine strenge Beachtung des Grundsatzes, daß die Beweidung des Hauptdeiches in erster Linie eine Pflegemaßnahme und n i c h t eine Nutzung zur Erwirtschaftung eines Ertrages ist, die Voraussetzung für eine deichgerechte Beweidung. Sowohl bei den staatlichen Weidebetrieben als auch bei den deichachtseigenen und privaten Schäfereien ist stets ein Viehwart bzw. Schäfer bei der Herde, der für das Wohl der Tiere sorgt und gleichzeitig die d e i c h g e r e c h t e Beweidung lenkt.

Wie auch aus der o. g. Deich- und Sielordnung hervorgeht, sind steile Böschungen besonders empfindlich gegen Trittschäden des Viehs. An den 1:2 und vielfach sogar an den 1:1 geneigten Binnenböschungen sind diese Schäden kaum zu vermeiden (ZUNKER, 70). Starke Umformungen der Binnenböschung mit treppenförmiger, unregelmäßiger Oberfläche werden hier durch die Beweidung hervorgerufen. Der Störtebekerdeich erhielt aus Gründen der Deichpflege durch Beweiden 1947/50 eine Binnenböschung mit der Neigung 1:3. Es hat sich gezeigt, daß derartige Böschungen sehr gut beweidet werden können.

5.22. T e e k r ä u m u n g u n d U n k r a u t b e k ä m p f u n g

Der in jeder Sturmflut an einigen Deichstrecken Ostfrieslands in erheblichen Mengen abgelagerte T e e k (Treibsel, Spülsaum) muß stets umgehend von der Deichböschung entfernt werden. Unter der dichten Teekdecke wird die Grasnarbe geschädigt, weil sie praktisch erstickt. Der Teek führt zur Verunkrautung der Grasnarbe und dient den Wühlmäusen, Ratten und dergl. als Unterschlupf und dadurch als Ausgangspunkt der böschungszerstörenden Wühlarbeit dieser Schädlinge.

Zwischen Beweidung, Teekablagerung und Teekräumung sowie der Widerstandsfähigkeit der Grasnarbe und der Festigkeit der Deichhaut bestehen bekanntlich biologische und technisch-

Die Küste, 19 (1970), 125-185

mechanische Kausalzusammenhänge (WOHLENBERG, 64; FÜHRBÖTER, 14). Die Forderung nach einer umgehenden Abräumung des Teeks kann nur erfüllt werden, wenn eine befestigte Fahrspur auf der Außenberme jederzeit die Teekabfuhr ermöglicht. Bei großen Teekmengen sind außerdem für das Zusammenbringen und das Aufladen des Teeks Maschinen einzusetzen. Bei unbefestigten Bermen muß nach den Wintersturmfluten oft monatelang gewartet werden, bis die Berme soweit abgetrocknet ist, daß der Maschinen- und Fahrzeugeinsatz keine nennenswerten Schäden mehr hinterläßt, denn es ist widersinnig, bei der Säuberung des Deiches von Teek und Treibgut diesen zunächst zu beschädigen und später durch mühsame Ausbesserung und Aussodung der Radspuren wiederherzustellen.

Eine weitere regelmäßig durchzuführende Pflegemaßnahme ist die Bekämpfung und Vernichtung von Unkräutern, die die dichte Grasnarbe schädigen. Breitblättrige Pflanzen, wie Pestwurz und hochwüchsige horstbildende Distel- und Brennesselbestände bringen das Gras

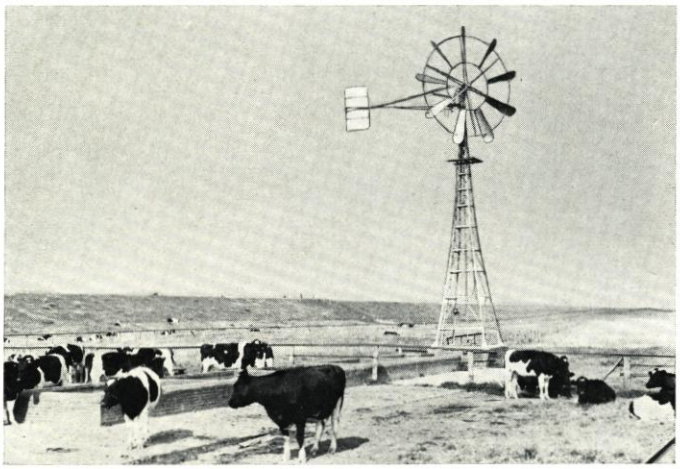


Abb. 30
Viehtränke mit windbetriebener Pumpenanlage; Süßwasserentnahme aus rd. 50 m Tiefe

zum Absterben und rufen eine höchst unerwünschte Schattengare hervor, die dem Wasser wenig Widerstand entgegensetzt. Ähnlich wirken sich die vom Vieh gemiedenen Geilstellen aus. Geilstellen und vereinzelt auftretende Unkrauthorste können durch Mähen beseitigt werden. Bei starkem Unkrautbefall ist eine direkte Bekämpfung durch eine Bespritzung mit chemischen Mitteln notwendig und erfolgversprechend.

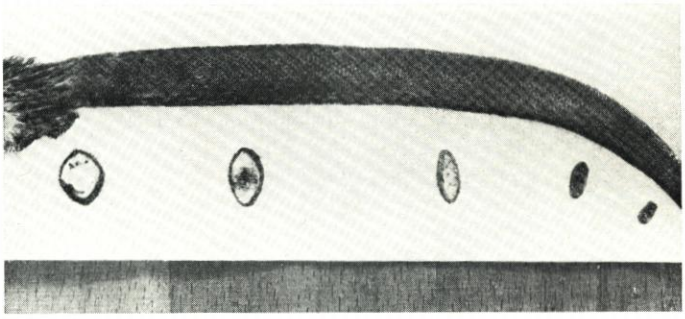
Dieselbe Erscheinung, die nach obiger Beschreibung durch Unkräuter hervorgerufen wird, kann auch auf Deichen beobachtet werden, die nicht beweidet, sondern gemäht werden, und zwar vor allem, wenn das Mähen zu spät erfolgt und das gemähte Gras wegen schlechten Wetters zu lange auf dem Deich liegenbleiben muß (BLASZYK, 4).

5.3. Tierische Schädlinge

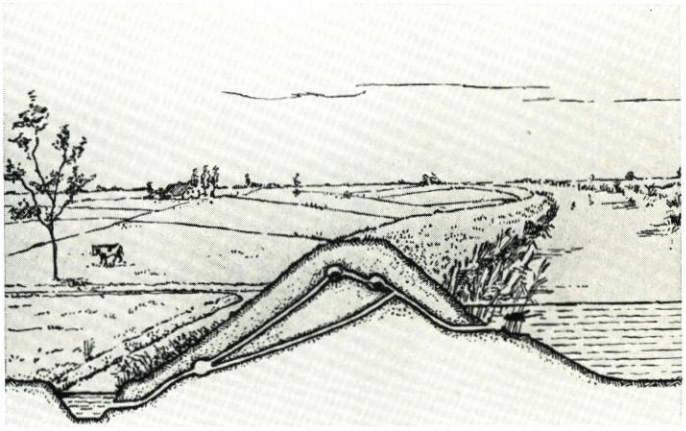
Ein weiterer Nachteil zu hoher Grasbestände sowie der Distel- und Unkrauthorste ist die gute Deckung, die diese den Mäusen gegen Greifvögel und Eulen bieten, so daß auch diese tierischen Schädlinge hier bevorzugt Fuß fassen. Neben der Feldmaus und der großen Wühlmaus ist der Maulwurf der Hauptschädling am Deich. Der Maulwurf und die große Wühlmaus, die mehrere Meter lange tiefgehende Gänge in den Deich wühlen, sind noch gefährlicher als die Feldmaus, die zwar sehr viele, aber nur kurze Gänge in die Deichdecke scharrt (BLASZYK, 4). Am Störtebekerdeich wurde dem starken Auftreten der Maulwürfe durch in die Gänge



Abb. 31
a) Der Bisam



b) Schwanz mit Vertikalschnitten



c) Gangsystem des Bisams (entnommen aus „De Muskusrat", Ministerie van Landbouw en Visserij, Wageningen)

geschüttete, Phosphorwasserstoff entwickelnde Mittel, die auch gegen Wühlmäuse wirken, ein Ende gesetzt. Die Bekämpfung der tierischen Schädlinge gestaltet sich jedoch wesentlich schwieriger als die Unkrautbekämpfung.

Im Jahre 1968 ist auch die gefürchtete Bisamratte bis nach Ostfriesland vorgedrungen. An den Strom- und Flußdeichen im Ems-Leda-Jümme-Gebiet wird sie mit erhöhter Aufmerksamkeit gejagt, um sie möglichst kurz zu halten. Diese etwa 30 cm lange Wühlmausart ist ein

Die Küste, 19 (1970), 125-185



Abb. 32
Besticken von Rasensoden; spät angedeckte, bis zum Winter nicht mehr verwurzelnde Soden werden mit aus Stroh gedrehtem Strick auf dem Untergrund festgenäht (besticken)



Abb. 33
Herstellung des Strohbesticks; die nicht begrünte Deichböschung wird flächenhaft mit Stroh bedeckt (Strohdach) und mit aus Stroh gedrehtem Strick auf dem Boden festgenäht (besticken)

ausgesprochenes Dämmertier, so daß es nur selten gesehen wird. Daher ist die Jagd mit der Waffe nicht sehr erfolgversprechend. Auch chemische und biologische Mittel zur Bisambekämpfung sind bisher noch nicht entwickelt worden. So bleibt das Fallenstellen als einzig wirksames Mittel gegen diese Wühler (Abb. 31).

Der Bekämpfung der Wühltiere muß stets das Verfüllen und dichte Schließen der von ihnen gewühlten Löcher folgen. Wie unter 3.511. beschrieben, führt der Druckschlag beim Auftreten auf Risse, Spalten und Löcher zu der sich in den Untergrund fortsetzenden Sprengwirkung, die dann den Ausgangspunkt zu rasch größer werdenden Ausschlägen bildet. Ein dichtes Verschließen der Löcher ist daher äußerst wichtig, wenn auch sehr mühevoll. Als wertvolle Hilfe kann dabei der Viehtritt angesehen werden.

5.4. Beseitigung von Deichschäden

Bei der Ausbesserung von Böschungsschäden ist stets auf eine in biologischer Hinsicht standortgerechte Auswahl der Soden zu achten (WOHLENBERG, 64). Die für den unte-

ren Böschungsbereich notwendigen salzwasserfesten Soden können nur im Deichvorland gewonnen werden. Es ist daher wichtig, daß für die Gewinnung von Soden und auch für die Beschaffung von gutem Kleiboden für die Deicherhaltungsarbeiten geeignete Flächen im Deichvorland erhalten werden. Bereits das alte Deichrecht (51) sah hierfür die Sicherung der „gesetzlichen Außendeichserde" vor, das als Grünland zu erhalten war und in dem das Ab- und Ausgraben von Soden und Erde für andere Zwecke verboten war. Auch das Niedersächsische Deichgesetz sieht die Sicherung solcher Flächen vor, aus denen Boden und Soden für die Unterhaltung der Hauptdeiche entnommen werden können, und legt dem Eigentümer oder Nutzungsberechtigten entsprechende Einschränkungen auf (40). Hierin wird, wie oben bereits erwähnt, der Vorteil eines Deichvorlandes für die Deichunterhaltung deutlich.

Die Ausbesserung von Ausschlägen und Grasnarbenschäden gehört nach jedem Winter zu den ersten Arbeiten am Deich. Besodungen sollen möglichst im Mai, spätestens aber bis Sommeranfang mit Rücksicht auf die große Gefahr der Austrocknung abgeschlossen werden. Müssen ausnahmsweise noch Besodungsarbeiten im Spätsommer oder im frühen Herbst durchgeführt werden, so empfiehlt es sich, dickere, etwa 10 cm starke Soden zu verwenden. Bei besonders stark beanspruchten Deichen sind diese dann durch Besticken mit Stroh zu sichern (Abb. 32, 33).

In regenarmen Sommern werden alle Kleidecken durch Schrumpfung des Bodens Trockenrisse erhalten, die um so größer sind, je bindiger der Boden ist. 1959 wurden in einem Kleideich Trockenrisse bis zu 12 cm oberer Breite und 1,5 m Tiefe festgestellt (s. 3.62). Derartige Risse, die man schon als Spalten bezeichnen muß, schließen sich auch nach Einsetzen der feuchten Witterung nicht wieder. Sie sind daher sorgfältig mit Kleiboden zu verfüllen und fest einzustampfen, denn infolge der Sprengwirkung des Druckschlages kann durch solche Spalten und Risse leicht ein größerer Schaden verursacht werden (FÜHRBÖTER, 14).

6. Zusammenfassung

Deichbau und Vorlandgewinnung stellen in Ostfriesland die beiden Hauptmaßnahmen zur Sicherung und zum Schutz der Küste dar. Die Bedeutung und der Umfang der Arbeiten zur Schaffung eines Deichvorlandes vor den Hauptdeichen, das Wellenauflauf und Wellenangriff verringert und sich auf die Deicherhaltung günstig auswirkt, werden beschrieben. Dabei wird besonders auf die neueren Bauweisen beim Bau schwerer Lahnungen unter Verwendung von Verhüttungsrückständen als Lahnungskern, von Dichtungsfolien und von Betonsteinen mit horizontalem und vertikalem Verbund eingegangen. Die Begrüppung der Anwachsflächen konnte im letzten Jahrzehnt weitgehend mechanisiert werden. Neben der natürlichen Auflandung wird in Sonderfällen, u. a. im Zusammenhang mit Deichbauten, eine Aufspülung des schützenden Vorlandes vorgenommen.

Der überwiegende Teil der ostfriesischen Seedeiche auf dem Festland und den Inseln sowie der Strom- und Flußdeiche an der Ems und Leda muß nach den Erkenntnissen aus der Februarsturmflut 1962 erhöht und verstärkt werden. Diese Erfahrungen führten zur Neuberechnung der Deichhöhen und bestimmten neben neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen die Querschnittsgestaltung der Deiche. Die angreifenden Kräfte bedingen die Form der Außenböschung, die beim Vorlanddeich zweckmäßig konkav und beim Schardeich mit Deckwerk konvex ausgeführt wird. Ferner werden die Bauweisen der Binnenböschung sowie der außen- und binnendeichs notwendigen Sicherungswerke beschrieben. Neben diesen Merkmalen des Besticks sind Baugrund, Boden und Begrünung und deren Beurteilung nach wissenschaftlicher Untersuchung für einen wehrhaften Deich von großer Bedeutung.

Die Küste, 19 (1970), 125-185

Der Wert der Sommerdeiche für den Küstenschutz sowie die Bedeutung richtiger Deicherhaltungs- und -pflegemaßnahmen für die Landessicherheit werden abschließend eingehend behandelt.

Schriftenverzeichnis

(1) Arends, F.: Gemählde der Sturmfluthen vom 3. bis 5. Februar 1825. Bremen 1826.
(2) Bardelmeier, E.: Verwendung von Kunststoffen bei der Landgewinnung und im Dünenschutz. Wasser und Boden 1963.
(3) Bischoff van Heemskerck, W. C.: Wasserspannungen unter Asphaltdeckwerken von Deichen. Wasser und Boden 1963.
(4) Blaszyk, P.: Zur Vermeidung von Deichschäden durch Tiere und Unkräuter bei Sturmfluten. Wasser und Boden 1962.
(4a) Bothmann, W.: Die Bedeutung der Landgewinnungsarbeiten für den Küstenschutz an der Nordsee. Dt. Wasserwirtschaft, 1941.
(5) Brahms, A.: Anfangsgründe der Deich- und Wasser-Baukunst. Aurich 1754.
(6) Dittmer, E.: Deichverstärkung und Baugrund. Die Küste 1955.
(7) Drinkgern, G.: Die Binnenberme mit dem Ringschloot bei Hauptdeichen. Wasser und Boden 1963.
(8) Drinkgern, G.: Seedeichbau in Ostfriesland — bei Dornumer- und Westeraccumersiel. Wasser und Boden 1964.
(9) Erchinger, H. F.: Küstenschutz durch Vorlandgewinnung — Neue Baustoffe und Bauverfahren. Wasser und Boden 1967.
(9a) Erchinger, H. F.: Verhüttungsrückstände im Lahnungsbau bei Ostermarsch. Anlagebericht III zu „Deichsicherung durch Verhüttungsrückstände", hrsg. v. Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Technisch-Wissenschaftlicher Beirat, Obmann: Dr.-Ing. K. Lüders.
(10) Erchinger, H. F.: Landgewinnung — Küstenschutz — 5. Lehrgangsbericht des BWK Niedersachsen, Berlin und Bremen 1967.
(11) Erchinger, H. F.: Deichbau an der Knock. Wasser und Boden 1969.
(12) Franzius, L.: Wirkung und Wirtschaftlichkeit von Rauhdeckwerken im Hinblick auf den Wellenauflauf. Mittlg. d. Franzius-Inst., H. 25, 1965.
(13) Freistadt, Kramer, Lorenzen, Lüders, Rodloff, Traeger: Empfehlungen für den Deichschutz nach der Februarsturmflut 62. Die Küste 1962, H. 1.
(14) Führböter, A.: Der Druckschlag durch Brecher auf Deichböschungen. Mittlg. d. Franzius-Inst., H. 28, 1967.
(15) Haarnagel, W.: Meer, Küste und Mensch. Wilhelmshaven 1958.
(16) Haucke, M.: Deichsicherung mit Verhüttungsrückständen. Helgoländer wiss. Meeresunters. 1968.
(17) Heiser: Landerhaltung und Landgewinnung an der deutschen Nordseeküste. Die Bautechnik 1933.
(18) Hensen, W.: Modellversuche über den Wellenauflauf an Seedeichen im Wattengebiet. Mitteil. d. Franzius-Inst., H. 5, 1954.
(19) Hensen, W.: Modellversuche zur Bestimmung des Einflusses der Form eines Seedeiches auf die Höhe des Wellenauflaufes. Mitteilg. d. Franzius-Inst., H. 7, 1955.
(20) Hensen, W.: Modellversuche für die untere Ems. Mitteilg. d. Franzius-Inst., H. 6a, 6b, 1954, H. 6c, 1956.
(21) Hiller, H.: Problematik der Deichsicherung durch biologische Maßnahmen. Zeitschrift für Kulturtechnik u. Flurbereinigung, H. 3, 1969.
(22) Hinrichs, W.: Nordsee-Deiche, Küstenschutz und Landgewinnung. Husum 1931.
(23) Hundt, C.: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste 1955.
(24) Hundt, C.: Der maßgebende Sturmflutseegang und Wellenauflauf für das Deichbestick der deutschen Nordseeküste auf Grund der Sturmflut vom 16. Febr. 1962. Die Küste 1962, H. 2.
(25) Hunrichs, J. W. A.: Practische Anleitung zum Deich-, Syl- und Schlengenbau, I. u. II. Teil. Bremen 1770/71.
(26) Klemp, W.: Wasserstandsbeobachtungen in Deichen. Wasser und Boden 1966.

(27) KRAMER, J.: Sturmflut 1962, Sturmfluten und Küstenschutz zwischen Ems und Weser. Norden 1967.
(28) KRAMER, J.: Der Küstenschutz nach der Februarflut 1962 — Erkenntnisse und Folgerungen — aus: Veröffentlichungen d. Naturforschenden Gesellschaft Emden, Emden 1965.
(29) KRAUSE, G.: Die Wasserwirtschaft in Ostfriesland. Aurich 1959.
(30) LAFRENZ, P.: Über die Pflege und Nutzung des Anwachses und der Deiche an der Dithmarscher Küste. Die Küste 1957, H. 2.
(31) LAMPRECHT, H. O.: Brandung und Uferveränderungen an der Westküste von Sylt. Mitteilg. d. Franzius-Inst., H. 8, 1955.
(32) LORENZEN, J. M.: Gedanken zur Generalplanung im nordfriesischen Wattenmeer. Die Küste 1956.
(32a) LORENZEN, J. M.: Hundert Jahre Küstenschutz an der Nordsee. Die Küste 1954, H. 1 u. 2.
(33) LÜDERS, K.: Kleines Küstenlexikon. Hildesheim 1967.
(34) LÜDERS, K.: Bericht der Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke". Die Küste 1966, H. 1.
(35) LÜDERS, LIESE, KRAMER: Die Sturmflut vom 16./17. Febr. 1962 im niedersächsischen Küstengebiet. Die Küste 1962, H. 1.
(36) LÜDERS, K.: „Passive" oder „aktive" Deichsicherung? Wasser und Boden 1957.
(37) LÜDERS, K.: Wie dick sollen Rasensoden sein? Wasser und Boden 1959.
(38) LÜDERS, K.: Wiederherstellung der Deichsicherheit an der deutschen Nordseeküste von der holländischen Grenze bis zur Elbe. Wasser und Boden 1957.
(39) LÜDERS, K.: Von „Achterdeich" bis „Zwistdeich". Neues Archiv für Nieders., Bd. 12, Göttingen 1963.
(40) LÜDERS, K., LEIS, G.: Nieders. Deichgesetz vom 1. 3. 1963. Kommentar. Hamburg 1964.
(41) LÜKEN, H., MEIER, R.: Unterhaltung der Deiche im Tidegebiet. Wasser und Boden 1960.
(42) MEENEN, K., COUSIN, B.: Untersuchungen über die Profilgestaltung der neuen Hamburger Deiche. Wasser und Boden 1964.
(43) MEENEN, K.: Bodenmechanische Probleme des Deichbaues — 5. Lehrgangsbericht des BWK Niedersachsen, Berlin u. Bremen 1967.
(44) METZKES, E.: Welche Folgerungen zieht das Land Niedersachsen aus den Erfahrungen mit der Sturmflut 1962 für seinen Hochwasserschutz. Wasser und Boden 1962.
(45) METZKES, E.: Bericht über den Deichbau und den Küstenschutz in Niedersachsen nach der Sturmflut vom 16./17. 2. 1962. Die Küste 1966, H. 1.
(46) Min. für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Schleswig-Holstein: Die Sturmflut vom 16./17. Febr. an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste 1962, H. 1.
(47) MÜLLER, W.: Beschreibung der Sturmfluthen an den Ufern der Nordsee und der sich darin ergießenden Ströme und Flüsse am 3. und 4. Febr. 1825. Hannover 1825.
(48) MÜNNICH, A. G. v.: Oldenburgischer Deich-Band, das ist: Eine ausführliche Beschreibung von allen Deichen, Sielen, Abbrüchen und Anwächsen. Leipzig 1767.
(49) Nieders. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten: Sommerbedeichung Hauener Hooge. Wasser und Boden 1958.
(50) N. N.: Verordnung über die vorläufige Festsetzung von Deichbesticken an der Ems, Leda und Dollart. Amtsbl. Aurich vom 21. 2. 1968.
(51) N. N.: Deich- und Sielordnung für Ostfriesland vom 12. Juni 1853.
(52) N. N.: Wellenauflaufhöhen und Tidehochwasserstände der Sturmflut vom 23. 2. 1967. Bauamt für Küstenschutz Norden 1967 (unveröffentlicht).
(53) PETERSEN, M.: Über die Grundlagen zur Bemessung der schleswig-holsteinischen Landesschutzdeiche. Die Küste 1955.
(54) PETERSEN, M.: Die zweite Deichlinie im Schutzsystem der deutschen Nordseeküste. Die Küste 1966.
(55) RODLOFF, W.: Über die Form von Seedeichen mit Grasdecke. Wasser und Boden 1963.
(56) SCHULZ, H.: Verlauf der Sturmflut vom Februar 1962 im deutschen Küsten- und Tidegebiet der Nordsee. Die Küste 1962, H. 1.
(57) SEGGERN, F. v.: Der Bau des Wangerdeiches. Wasser und Boden 1967.
(57a) TETENS, J. N.: Reisen in die Marschländer an der Nordsee zur Beobachtung des Deichbaus. Leipzig 1788.
(57b) TRAEGER, G.: Planung und Ausführung von Deicherhöhungen und Flußabdämmungen im Lande Bremen. Die Küste 1960.
(58) WENHOLT, K.: Neu-Greetsiel — ein Zukunftsbild. Ostfreesland-Kalender 1961.

Die Küste, 19 (1970), 125-185

(59) WENHOLT, K.: Küstenschutz durch Vorlandgewinnung. Ostfreesland-Kalender 1964.
(60) WENHOLT, K.: Deichbauten in Ostfriesland. Wasser und Boden 1951.
(61) WERKGROEP: „Gesloten Dijkbekledingen". Voorlopig Rapport, 1961.
(62) WICHT, M. VON: Das ostfriesische Land-Recht nebst dem Deich- und Syhlrechte. Aurich 1746.
(63) WOHLENBERG, E.: Der Deichbruch des Ülvesbüller Kooges in der Februarflut 1962, Versalzung — Übersandung — Rekultivierung. Die Küste 1963.
(64) WOHLENBERG, E.: Deichbau und Deichpflege auf biologischer Grundlage. Die Küste 1965.
(65) SNUIS, H., WOHLENBERG, E.: Anwachs, Landgewinnung und Deichbau in Nordfriesland. Schriften des Nissenhauses in Husum Nr. 3, 1955.
(66) WOLTER, R.: Der Kampf gegen die Naturgewalten — Wasserwirtschaft und Küstenschutz — in: Wirtschaftsraum Ostfriesland und Papenburg, Herausg. G. Stalling, Oldenburg 1968.
(67) ZEHLE: Uferdeckwerke an der Küste. Staatl. Ing.-Schule, Suderburg, Jahresheft 1961.
(68) ZITSCHER, FR. F.: Analyse zur Bemessung von Außenböschungen scharliegender See-Deiche gegen Wellenbeanspruchung. Wasser und Boden 1962.
(69) ZITSCHER, FR. F.: Kunststoffe für den Wasserbau. Die Bautechnik 1967.
(70) ZUNKER, H.: Gefährdung der Deiche durch unsachgemäßes Beweiden. Wasser und Boden 1957.