Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

DK 627.533.14

Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm

Von Erich Wohlenberg

Inhalt

I. Das Wattenmeer zwischen der Insel Sylt und dem nordfriesischen Festland 33
A. Geographische und hydrographische Übersicht 33
B. Dammbau Festland-Sylt 37
II. Der Verlandungsraum nach dem Dammbau 39
A. Der Sinkstoffgehalt im Wasser 41
1. Der Sinkstoffgehalt bei normalem Tideverlauf 42
2. Der Sinkstoffgehalt bei Sturmfluten 47
B. Die Sedimente vor und nach dem Dammbau 51
C. Die Ablagerung der Sinkstoffe und die Leistung der Pflanzengesellschaften für den Anwachs am Hindenburgdamm 57
1. Schlickbindung durch Diatomeen 57
2. Verlandung durch Queller und Andel 65
3. Landgewinnungsmaßnahmen
a. Das ökologische Prinzip der Landgewinnung 68
b. Grüppen und Äcker 70
c. Die Profilumkehr und ihre Folgen 72
4. Das Maß des Aufwuchses
a. Die Indikatormethode 77
b. Die Ablagerungen 1935 bis 1937 78
c. Erste Bedeichungspläne 83
d. Die Weiterentwicklung des Anwachses nach dem Kriege 84
e. Die Ablagerungen 1947 bis 1952 86
f. Eis und Sediment 89
III. Zusammenfassung 91
IV. Schriftenverzeichnis 91

I. Das Wattenmeer zwischen der Insel Sylt und dem nordfriesischen Festland

A. Geographische und hydrographische Übersicht

Sylt, die größte deutsche Nordseeinsel, liegt in einer Länge von etwa vierzig Kilometern in Nord-Süd-Ausdehnung vor dem dahinter liegenden Wattenmeer. Durch die nach Osten weisende Halbinsel Nösse und die sich in etwa gleicher Richtung anschließende Wasserscheide der Watten wird der Wattenmeerraum in zwei Hälften geteilt. Die Entfernung zwischen der Morsumer Halbinsel (Nösse-Spitze) und dem Festland beträgt etwa elf Kilometer, diejenige zwischen den Sylter Nord- und Südflügeln bis zum Festland je etwa 20 km (Abb. 1).

Um die Nordspitze von Sylt schiebt sich zunächst mit Tiefen bis zu vierzig Metern das Lister Tief südostwärts in den Raum vor, zerteilt sich aber bald in flachere Tiefs wie Lister Ley, Pandertief und Hoyertief nach Süden bzw. Osten und in das Römer Tief nach Norden. Vom Pandertief zweigt das Munkmarschfahrwasser und vom Lister Ley weiter nach Süden und Südosten das Westerley ab.

An der Südspitze von Sylt fließt mit etwas geringeren Tiefen als das Lister Tief das Vortrapp-Hörnum-Tief in den Wattenraum südlich der Wasserscheide ein. Es teilt sich zunächst hinter Sylt in das Eidum-Tief und später weiter nordostwärts in das Wester-, Sylter- und Osterley. Zwischen Sylterley und Osterley ist noch das Holländerloch zu erwähnen (s. Abb. 2).

Während das Lister Tief im Norden und das Vortrapp-Hörnum-Tief im Süden tiefe Erosionsrinnen mit verhältnismäßig steilen Ufern darstellen, nimmt ihre

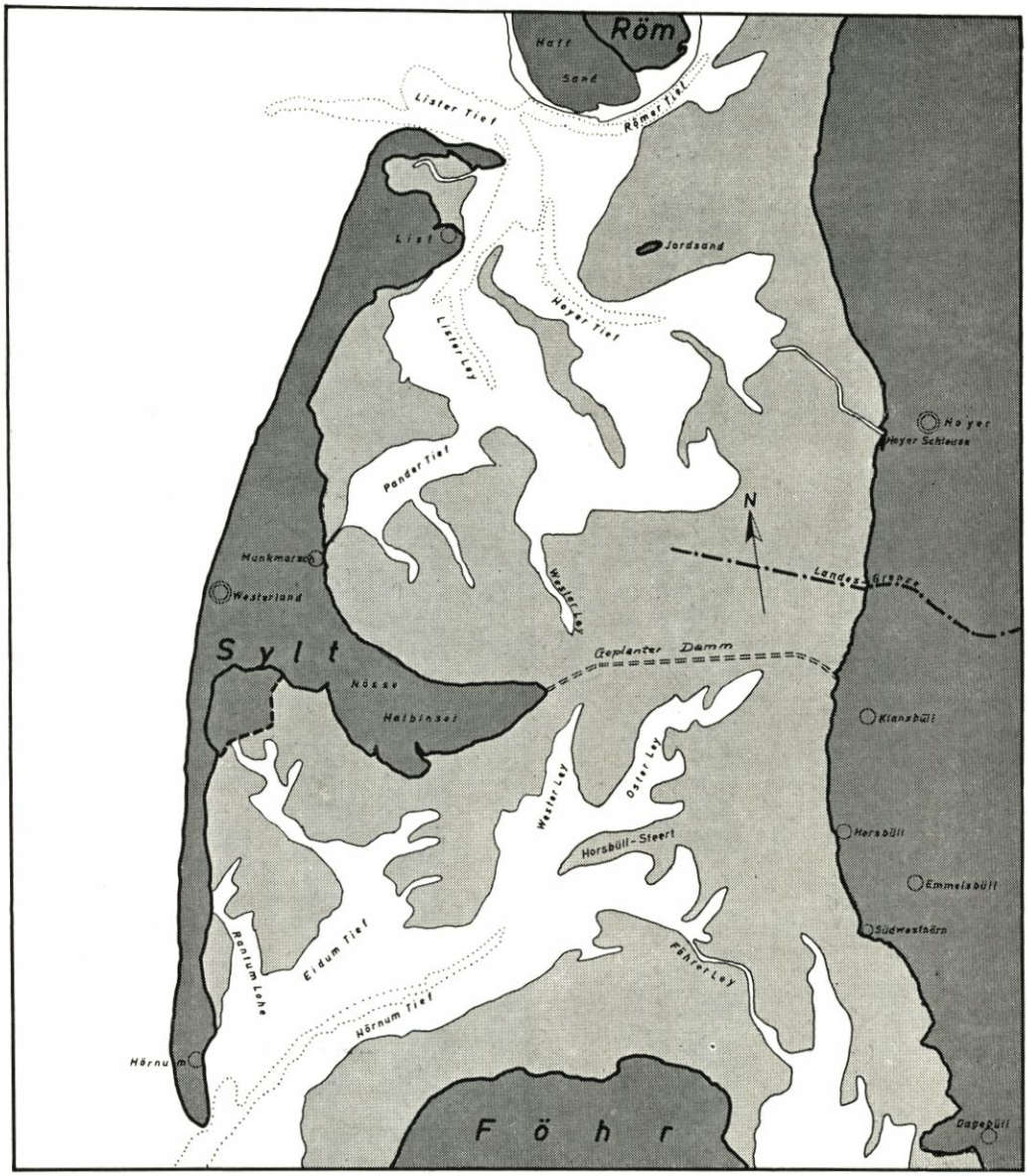


Abb. 1. Das Sylter Wattenmeer 1922 mit der geplanten Dammlinie
Die grau getönten Flächen stellen die Watten dar.
Die punktierten Linien umschließen Tiefen über 10 Meter
(Maßstab etwa 1 : 275 000)

landseitige Fortsetzung im inneren Wattenraum schnell an Tiefe ab. Das höhere Watt hinter Sylt zeichnet sich durch große Einförmigkeit, das heißt durch eine auffallend geringe Gliederung in der Senkrechten aus. Die an die Wasserscheide heranreichenden Ausläufer wie Westerley, Sylterley, Holländerloch und Osterley haben nicht mehr die Merkmale von Erosionsrinnen, sondern bei ihnen handelt es sich durchweg um mehr oder weniger weit ausladende Mulden, die von den Wattschiffern auch Legden genannt werden. Ihre Wassertiefe

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

ist nach der Abbildung 2 sehr gering. So zeigte das Holländerloch vor der Durchdämmung im Bereich der „Messungslinie" (Abb. 2) bei einer Breite von 1000 m nur noch eine Tiefe von etwa 0,50 m bei MTnw. Ähnlich lagen die Größenangaben bei den genannten Leys. Vor der Abdämmung hatte als Nord-Südverbindung für die kleinere Wattenschiffahrt nur das Westerley einige Bedeutung. Die Benutzung dieser Senke war aber auch nur um die Hochwasserzeit möglich; außerdem setzte die geringe Wassertiefe über der Wattwasserscheide dem Tiefgang der Fahrzeuge eine enge Begrenzung. Der Übergang zu den angrenzenden Watten vollzog sich gleitend. Die Legden führten auch bei Niedrigwasser noch etwas Wasser.

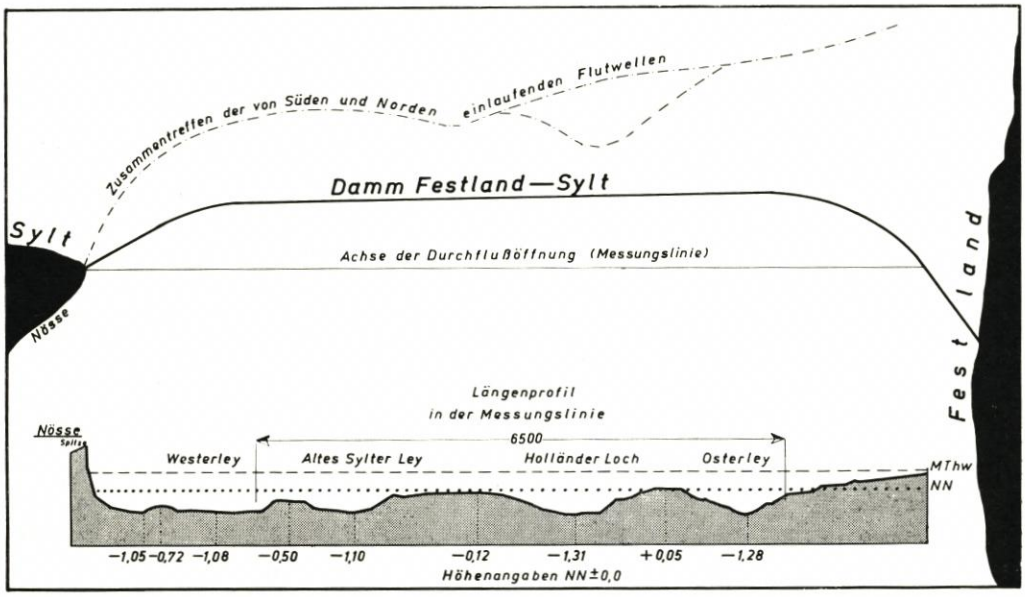


Abb. 2. Oben: Der Treffpunkt der südlichen und nördlichen Flutwelle nördlich der geplanten Dammlinie an verschiedenen Tagen
Unten: Die Tiefenverhältnisse in der Messungslinie vor dem Dammbau [vereinfacht nach PFEIFFER (43)]

Bei Flut wurden sie genährt von den Wassermassen, die südlich und nördlich von Sylt unter dem Druck der atlantischen Tidewelle durch das Hörnum- beziehungsweise Lister Tief einströmten. Sie verbreiterten sich dann sehr schnell, und nach ihrer Vereinigung schob sich ein breites Wasserfeld von Norden und Süden gegen die Wasserscheide und ostwärts gegen das Festland vor. Die bei List im Norden und bei Hörnum im Süden mit der Flut eintretenden Wassermassen bewegen sich in der Größenordnung von je rund 500 000 000 cbm je Tide mit einem gewissen Übergewicht des Südabschnitts. Die entlang der nordfriesischen Küste vordringende Gezeitenwelle läuft von Süden nach Norden. Sie erreicht das Hörnum-Tief etwa eine halbe Stunde früher als das Lister Tief. Aus der Abbildung 3 [EICH (16)] entnehmen wir, daß der Tidehub nach Norden abnimmt. Zeigt die Hubhöhe bei Wittdün auf der Insel Amrum noch 2,33 m, so ermäßigt sie sich bei der Südspitze der Insel Sylt auf 1,72 m, bei der Nordspitze in List auf 1,59 m und weiter nordwärts an der Westküste Jütlands am Nissum Fjord auf 0,63 m [PFEIFFER (43)]. Die von Süden bei Hörnum einströmende Flutwelle ist danach im Mittel 13 cm höher als die von Norden kommende. Der Darstellung von EICH (Abb. 3) sowie den Aufzeichnungen PFEIFFERS entnehmen wir, daß auch das MThw nach Norden abfällt, dagegen vom äußeren Wattenmeer im Westen zur Festlandsküste im Osten ansteigt, und zwar beträgt der Anstieg des Wasserspiegels von Hörnum bis zur Küste 6 cm je Kilometer.

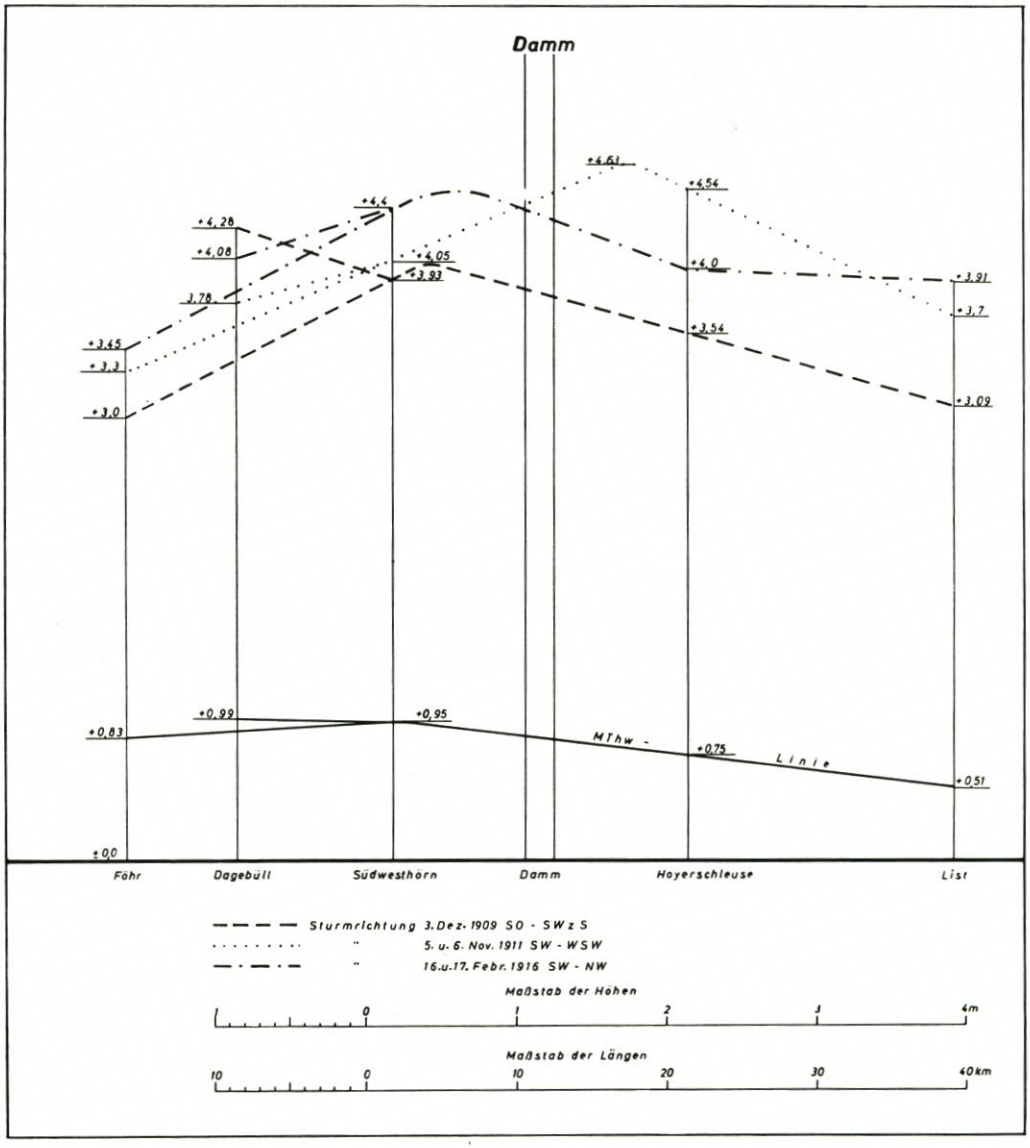


Abb. 3. Mittlere Hochwasserstände
Oben: Sturmfluthöhen im Einflußbereich des geplanten Dammes [nach EICH (16)]

Das mittlere Tidehochwasser (MThw) bei der Insel Sylt [nach PFEIFFER (43)]:

Hörnum
Sylt Süden: + 0,65 m NN
List
Sylt Norden: + 0,50 m NN

Das MThw am Festland
Husum: + 1,29 m NN (heute + 1,48 NN, gemittelt aus 1941—50)
Dagebüll: + 0,99 m NN
Südwesthörn: + 0,95 m NN
Hoyerschleuse: + 0,75 m NN

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Nach dem Eintreten der Flut bewegten sich die Wassermassen von Norden und Süden gegen die Wasserscheide (Abb. 1). Nach dem Überfluten der Watten setzte in ganzer Breite eine Süd-Nordströmung ein [PFEIFFER (43)]. Die nach Norden gerichtete Strömung reichte zeitlich über die Stauwasserzeit und örtlich über die Wasserscheide hinaus. Nach den Untersuchungen vor dem Dammbau durch PFEIFFER (43) hielt der Nordstrom bis zu anderthalb, bei besonderer Wetterlage bis zu drei Stunden über den Hochwasserscheitel hinaus an. Erst dann kenterte der Strom. Das bewirkte, daß von den an der Messungslinie (Abb. 2) nach Norden in jeder Tide fließenden 38,5 Millionen cbm bei Ebbe nur 10,5 Millionen cbm nach Süden zurückflossen. Der Mehrabfluß nach Norden betrug also etwa 28 Millionen cbm. Diese Wassermasse führte das Lister Tief zweimal täglich zusätzlich zu den eigenen eingeführten Wassermassen bei Ebbe in die Nordsee zurück. Das galt für die normale Tide. Bei Sturmfluten aus Südwest wurde natürlich ein Vielfaches von diesem normalen Betrag über die Wasserscheide nordwärts ins Lister Tief gedrückt. Infolge des Wasserspiegelgefälles von Süden nach Norden wurden vor dem Dammbau bei Hörnum während des Hochwassers noch eine Stromgeschwindigkeit von 35 cm/sec, auf der Wasserscheide eine solche von rund 20 cm/sec gemessen. Die mittlere Aufhöhung der normalen Flutwelle zwischen Hörnum und der Dammachse am Festland betrug nach PFEIFFER (43) etwa 20 cm. Die höchste beobachtete Sturmflut am Ostende des geplanten Dammes lag zwischen 4,20 und 4,50 m NN.

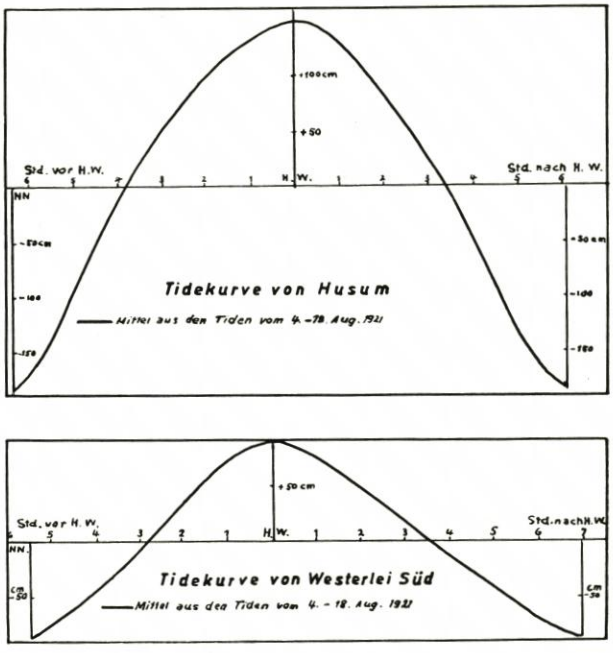


Abb. 4. Die Tidekurven vom Pegel Husum (oben) und von Westerley-Süd (unten) gemittelt aus den Tiden vom 4. bis 18. August 1921 [nach SCHUMACHER und THORADE (54)]

B. Dammbau Festland — Sylt[1])

Der im Jahre 1927 fertiggestellte sturmflutfreie Damm zur Insel Sylt hat eine lange Vorgeschichte. Die ersten Pläne gehen auf die sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts zurück. Der Sylter Chronist C. P. HANSEN empfahl [nach MÜLLER-FISCHER (39)] bereits im Jahre 1861 eine Landverbindung zwischen Morsum und dem Ort Rodenäs in der nördlichen Wiedingharde. Die Lage der Wasserscheide war bekannt. Neben der Verbesserung der Verkehrslage für die Insel, die nur bei Hochwasser mit kleinen flachgehenden Booten von Hoyerschleuse zu erreichen war, sprach er bereits damals von der zu erwartenden Anschlickung zu beiden Seiten des Dammes. Der Plan mußte wegen dringender Schutzarbeiten auf den gefährdeteren Inseln und Halligen zunächst zurückgestellt werden. Anfang des 20. Jahr-

[1]) Diese beiden Abschnitte A und B wurden für den größeren Leserkreis ausführlicher wiedergegeben, weil die Dissertation von Dr.-Ing. PFEIFFER aus zeitbedingten Gründen (Inflation) nicht gedruckt und daher nur einem kleinen Fachkreis bekannt geworden ist.

hunderts wurden die Eingaben erneuert. Im Jahre 1910 wurde eine Eisenbahnverbindung nach Sylt erwogen, da die Schiffsverbindung über Hoyerschleuse durch Stürme, Eisgang, niedrige Wasserstände besonders bei Ostwind allzu häufig behindert war und selten fahrplanmäßig aufrechterhalten werden konnte. Die Eisenbahnverwaltung lehnte jedoch den Plan ab, da eine Verzinsung des Anlagekapitals nicht errechnet werden konnte.

Vom Ende desselben Jahres liegt ein Bericht vom Wasserbauamt Husum vor. Es wurden die ersten Planungen für den Dammbau erarbeitet. Ein Wattennivellement und Angaben über Art und Höhe des Dammes wurden vorgelegt. Auch in diesem Bericht wird von starken Anlandungen als vermutlicher Folge des Dammbaus gesprochen, obwohl zu jener Zeit nur Erfahrungen vorlagen von Dammbauten, deren Krone etwa 50 cm über MThw lag. Im Sommer des schicksalsschweren Jahres 1914 kamen die Pläne aus dem Zustand der Erwägungen endlich heraus, und im Frühjahr 1915 wurde mit der im Zuge des Dammbaus geplanten Bedeichung des alten Anwachses vor der Wiedingharde begonnen. Im Juni 1917 mußten die Arbeiten jedoch aus kriegsbedingtem Mangel an Arbeitskräften und Geräten wieder eingestellt werden. Als im Jahre 1920 Nordschleswig, der nördliche Teil Schleswig-Holsteins, an Dänemark abgetreten werden mußte, traten zu den geschilderten naturbedingten Schwierigkeiten bezüglich der Verbindung mit der Insel Sylt nun auch grenzpolitische, denn die Anreise nach Sylt über Hoyerschleuse war nicht mehr auf deutschem Hoheitsgebiet möglich. Daher wurde im Jahre 1922 trotz der großen nationalwirtschaftlichen Notlage von den zuständigen Staats- und Reichsministerien der endgültige Beschluß zum Dammbau gefaßt. Da die Voruntersuchungen in der Zwischenzeit weitergeführt worden waren, konnte im Frühling des Jahres 1923 mit dem eigentlichen Dammbau begonnen werden. Zu jener Zeit war der Seedeich um den alten Anwachs der Wiedingharde nördlich des Dammes geschlossen. Dieser nördliche Teil hatte die Gestalt eines Dreiecks erhalten und wurde landläufig mit *Dreieckskoog* bezeichnet. Für die Zeit des Dammbaus beherbergte dieser kleine Koog die Baracken der Bauleitung, der Arbeiter und die Baustoffe. Die Bahnlinie Niebüll-Klanxbüll war in den Jahren 1921/22 bis zum neuen Seedeich fertiggestellt worden. Die technische Oberbauleitung wurde dem derzeitigen Oberbaurat Dr.-Ing. Pfeiffer übertragen, dem wir eine eingehende und grundlegende wissenschaftliche Voruntersuchung über die Wirkungen des Dammes auf die normale Tide und auch auf den Sturmflutverlauf verdanken [Pfeiffer (43)]. Der Schwerpunkt der Untersuchungen von Pfeiffer lag in der Errechnung des möglichen Wasseranstiegs, nachdem der Damm das Übergewicht der von Süden einströmenden Wassermassen abfangen würde. An der südlichen Festlandsecke wurde von Pfeiffer eine Erhöhung des mittleren Hochwasserspiegels von 0,10 m, d. h. von + 0,85 m NN auf + 0,95 m NN errechnet. Nördlich des Dammes errechnete man ein Absinken des mittleren Hochwassers um etwa 0,05 m, d. h. von + 0,80 auf etwa + 0,75 m NN, denn die von Norden kommende Welle würde nicht mehr wie vor dem Dammbau nördlich der Dammlinie gestaut, und außerdem fehlten die oben erwähnten zusätzlich nordwärts abfließenden 28 Millionen cbm je Tide. Für die Sturmfluten kam Pfeiffer zu einem Höchstwasserstand von + 4,70 m NN im Süden und + 4,60 m NN im Norden. Mit demselben Problem befaßten sich Eich (16), Krey (28) und Busch (6). Nach Eich läge nach der Errichtung des Dammes auf beiden Seiten ein begrenzter Meerbusen vor. Die dort einlaufenden Tidewellen würden in ihrer Höhe nur vom unmittelbaren Einfluß des Windes betroffen. Vor dem Dammbau wäre nach Eich infolge Zusammenschwingens der nördlichen und der südlichen Welle eine Wasserspiegelhöhe bei Sturmflut von + 4,80 m NN möglich gewesen. Nach dem Dammbau rechnete er nur noch mit einem Sturmflutanstieg bis auf etwa + 4,50 m NN.

Krey dagegen schloß seine Betrachtung (28) zwar auch mit der Hervorhebung der Windbeeinflussung, rechnete aber „mit voller Sicherheit mit einer starken Steigerung der Fluthöhe".

Busch kam auf Grund seiner Überlegungen zu einem Sturmflutanstieg südlich des Dammes von 62 cm und nördlich von 34 cm über dem vor dem Dammbau beobachteten Sturmflutwasserstand von + 4,20 m NN.

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Es ist hier nicht der Ort, die verschiedenen Vorhersagen zu den nach dem Dammbau eingetretenen und bei verschiedener Wetterlage beobachteten Wasserständen in kritischer Weise miteinander zu vergleichen. Das müßte Gegenstand einer hydrographischen Sonderuntersuchung sein.

Nach den Untersuchungen SCHELLINGS (52) haben die Sturmfluten seit Errichtung des Hindenburgdammes folgende am Pegel gemessenen Werte, bezogen auf PN (PN = Pegelnull = —5,00 m NN), erreicht:

Sturmflut	Damm-Süd	Damm-Nord
18. 10. 1936	878	896
27. 10. 1936	908	856
24. 11. 1938	920	824
9. 10. 1949	868	817
24. 10. 1949	818	—
26. 10. 1949	840	—

Das nach Pegelwerten errechnete MThw beträgt jetzt nach SCHELLING (52) an der Südseite des Dammes 600, an der Nordseite 577. Die von demselben Verfasser durch Rechnung ermittelten wahrscheinlichen Höchstwasserstände bezogen auf das für Husum ermittelte HHW werden für die Nordseite mit + 441 cm NN, für die Südseite + 486 cm NN angegeben; das bedeutet, daß das für Husum ermittelte HHW von + 550 cm NN an der Nordseite des Dammes um 108 cm, an der Südseite dagegen nur um 64 cm unterschritten wird*).

Unter der Oberleitung von Oberbaurat Dr.-Ing. PFEIFFER wurden die beiden örtlichen Hauptbauabschnitte Regierungsbaurat MÜGGE auf der Inselseite und auf der Festlandsseite Regierungsbaurat WEINNOLDT übertragen.

Der Dammfuß lagert dem Watt in einer Breite von rund 50 m auf; die Kronenbreite beträgt 11 m. Die Dammböschung wird bis zu etwa halber Höhe durch ein schweres Basalt- beziehungsweise Granitpflaster geschützt. Der Damm durchläuft den Tidebereich in einer Länge von 11 km. Die Kronenhöhe lag nach dem Planum auf + 6,80 m NN an der Festlandsseite, das ist rund 2,30 m höher als die größte bisher beobachtete Sturmflut [PFEIFFER und MÜGGE (44)], und auf + 6,24 m NN auf der Inselseite. Nach vierjähriger Bauzeit wurde der Damm am 1. Juni 1927 dem Verkehr übergeben und erhielt an jenem denkwürdigen Tage in Anwesenheit des altehrwürdigen Reichspräsidenten den Namen Hindenburgdamm. So erstand zum erstenmal ein sturmflutfreier Damm durch das offene Wattenmeer, eine vom In- und Ausland oft gewürdigte Leistung des deutschen Wasserbaus.

Über die Verlandungserscheinungen im besonderen wird weiter unten berichtet werden. Zum Abschluß des Abschnittes über den Dammbau sei noch an eine Bemerkung von PFEIFFER und MÜGGE (44) erinnert, wonach bereits gleich nach Abriegelung der Baulücken, besonders an der Südseite, reicher Schlickanfall beobachtet wurde.

II. Der Verlandungsraum nach dem Dammbau

Die Errichtung einer festen, sturmflutsicheren Verbindung zwischen dem Festland und der Insel Sylt sollte in erster Linie der Verkehrserleichterung dienen. Solange der Dammbau erwogen wurde, solange wurde nebenher zwar immer auf die große Bedeutung des Dammes auch für die Landgewinnung hingewiesen, von den möglichen Ausmaßen der Verlandung aber, sowohl was Menge als auch Qualität des neuen Bodens anbelangt, hatte niemand eine Vorstellung, zumal zu jener Zeit über die vom Wasser des Wattenmeeres bewegten Sinkstoffe nichts bekannt war.

*) 1938 sogar nur um 50 cm.

Abb. 5
Natürliche Ausbreitung des Quellers vor dem nördlichen Dammfuß o h n e Mithilfe von Landgewinnungswerken. Blickrichtung auf das Festland

Aufn. E. WOHLENBERG, 1931

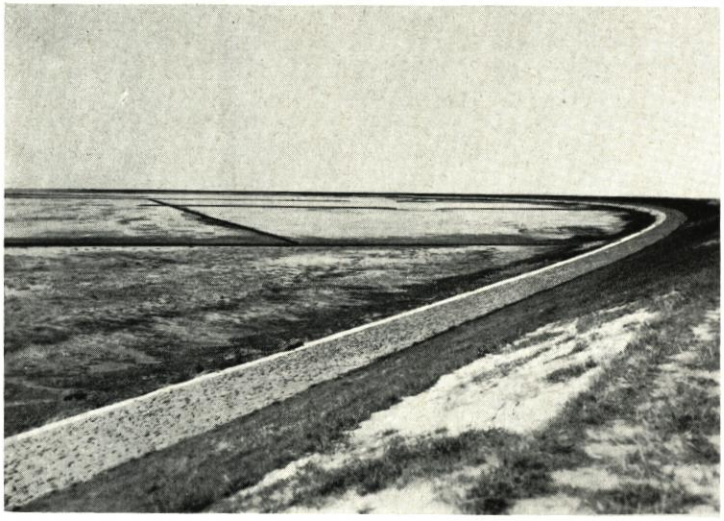


Abb. 6
Erster Lahnungsbau südlich des Dammes
Bildarchiv Marschenbauamt Husum

Aufn. ODEFEY, 1927

Abb. 7
Das Watt am südlichen Dammfuß wurde 1929 zum ersten Male gegrüppelt. Jenseits der Grüppen natürliche Quellerausbreitung o h n e Mithilfe von Grüppen

Aufn. E. WOHLENBERG, 1931

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Während auf der Dammkrone seit 1927 die Bäderzüge unbehindert von Wind und Wetter sicher hinüber- und herübereilen, vollzieht sich zu beiden Seiten im Schutze des Dammes am Festlandsufer in aller Stille die Anschlickung. Das geschieht nun in einem Maße, wie es von keinem anderen Küstenabschnitt der Nordsee, seien es die Verlandungsräume in Holland und Dänemark oder auch England, bekannt geworden ist. Die besonderen Erscheinungen der Verlandung und die Zahlenwerte werden in den späteren Abschnitten erörtert und dargestellt. Hier seien zunächst die elementaren Ausgangsstoffe des neuen Bodens, nämlich der Sinkstoffgehalt des Wassers auf der einen Seite und das Sediment auf der anderen behandelt.

A. Der Sinkstoffgehalt im Wasser

„Die Sinkstoffrage bildet den Kernpunkt der Wattenforschung."
J. M. Lorenzen [(33) 1937].

Alle Marschen unserer Küste hat das Meer zusammengetragen. Bis zum letzten Bodenteilchen gehörte die ganze Substanz unserer Köge einst für längere oder kürzere Zeit dem von den Gezeiten bewegten Wasser als Sinkstoff an. Die Landgewinnung kann also nur Erfolg haben, wenn der Flut Gelegenheit gegeben wird, Sinkstoffe an die Küste heranzubringen. Erlöschen die Sinkstoffquellen oder die Transportkräfte, so entfallen damit die grundlegenden Voraussetzungen für den natürlichen Anwachs und damit auch für die Landgewinnung. So ist die Frage nach der Herkunft der Sinkstoffe im Bereich des Küstenwassers der Deutschen Bucht und damit die Frage nach dem möglichen Vorrat auf lange Sicht die Kernfrage für die Landgewinnung überhaupt. Bei dem unwahrscheinlich hohen Umfang der Neuablagerungen am Hindenburgdamm lag allerdings die Gefahr nahe, der Frage nach dem Vorrat von Sinkstoffen auf lange Sicht nicht die nötige Bedeutung beizumessen, wenn sie auch in den Schriften des Marschenverbandes [Franzius (18)] und im Zehnjahresplan des Oberpräsidenten [Lorenzen (33 u. 34)] bereits aufgeworfen wurde. Die ersten Untersuchungen der Forschungsstelle Westküste, die ihre wesentlichen Impulse nicht zuletzt den eben genannten Schriften verdankten, zeigten bald, wie sehr diese Fragen in der Tat berechtigt waren, in der wissenschaftlichen Arbeit nicht gerade den letzten Platz einzunehmen. So erbrachte die Durchführung groß angelegter Sinkstoff-Gruppenmessungen in dem Hauptwattenstrom des nordfriesischen Wattenraumes, der Norderhever [später bearbeitet von Petersen (85)], den unmißverständlichen Nachweis, daß die der Landgewinnung zugute kommenden Sinkstoffe in ihrer Masse nicht etwa ihren Weg aus der offenen Nordsee an die Küste — ihren späteren Ablagerungsort — nehmen, sondern aus dem Wattenmeer selber stammen. Historische Kartenvergleiche [Delff (9 u. 10), Busch (7), Braren (3)] und die neuzeitlichen Nivellements und geologischen Untersuchungen der Forschungsstelle [Dittmer (13 u. 14), Dechend (76)] haben dann den Nachweis liefern können, daß die Erosionskräfte in den mehr oder weniger tiefen Wattströmen sowie die abradierenden Kräfte auf den eigentlichen Watten und die Gezeitenströmungen als die verantwortlichen Kräfte für Lösung, Aufbereitung und Transport der Sinkstoffe an die neuen Lagerstätten in der Verlandungszone der Küste anzusehen sind. Damit werden die Untersuchungsergebnisse Brockmanns über „Küstennähe und küstenferne Sedimente" (4 b) auch für Nordfriesland bestätigt. Brockmann kam auf Grund seiner Diatomeenuntersuchungen zu der für die Landgewinnung so bedeutsamen Formulierung: „Die Bildung des Schlicks geht in der Gezeitenzone der Küste vor sich."

Diese schon einmal oder auch viele Male im Laufe der Geschichte des Wattenmeeres abgelagerten, nunmehr aber wieder aufbereiteten Bodenbestandteile bilden eine entscheidende Komponente im natürlichen Haushalt der Sinkstoffe, die andere stellen die organogenen Stoffe dar, deren Herkunft an den Lebensablauf der im Wasser, am Meeresgrund, auf den Watten und im Verlandungsbereich lebenden Pflanzen und Tiere gebunden ist (Absterben, Häutung, Laubfall usw.). Wenn auch die Analyse dieser Stoffe nach Art und Menge

noch mancherlei Schwierigkeiten bereitet, so sollten wir uns trotz aller eindrucksvollen Wägungen und Kurven davor hüten, nur dem Sand und Ton eine Bedeutung zuzusprechen. Seinen „Adel" verdankt der junge Marschboden erst dem gewachsenen Gefüge und den biogenen Beimengungen [NIENBURG (41), WOHLENBERG (67, 69, 70), BROCKMANN (4 b), KOLUMBE (27), PLATH (86)].

Die Westküstenforschung hat diese besonderen Untersuchungen durch den Krieg unterbrechen müssen und jetzt auch noch nicht wieder in der nötigen Breite aufnehmen beziehungsweise zum Abschluß bringen können. Nach den vorliegenden ersten Ergebnissen möge die Feststellung genügen, daß die von FRANZIUS (18) und LORENZEN (33) aufgeworfene Frage ihre tiefe Berechtigung hatte.

1. Der Sinkstoffgehalt bei normalem Tideverlauf

Was von der Norderhever nachgewiesen werden konnte [PETERSEN (85)], wird mit ähnlichem Ergebnis auch von den anderen Tiefs des Wattenmeeres, also auch vom Vortrapp-Hörnum-Tief und von der Föhrer Ley, die ihr Wasser von Süden her gegen den Hindenburgdamm führen, zu belegen möglich sein.

Tabelle 1

Sinkstoffwerte je Liter, südlich vom Hindenburgdamm während der Ebbe

Datum: 23. 11. 1950; Wetterlage: Windstille, ruhige See, Luft-Temp. 4—5° C; Hochwasser: 13^{30}

Stat. Nr.	Position und Gesamttiefe	Schiff	Zeit der Entnahme	Entnahmetiefe	Oberflächenstrom Treibkörper	Sinkstoffgehalt mg/Liter
1.	Hindenburgdamm Süd 10 m vom Dammfuß 0,65 m	Ruderboot	14^{00-10}	Oberfläche	nicht meßbar	44
				Oberfläche		46
				0,40 m		153
				Grund		31
2.	Ankerposition 200 m südl. vom Damm 1,50 m	„Oland"	14^{20-30}	Oberfläche	nicht meßbar	39
				0,70 m		43
				20 cm über Grund		120
				Grund		546
				Grund		461
3.	Osterley 7 km SO Morsum-Kirche 10,00 m	„Oland"	15^{30}	Oberfläche	0,83 m/sec	21
				5,00 m		27
				20 cm über Grund		93
				Grund		65
4.	daselbst	„Oland"	16^{00}	Oberfläche	0,75 m/sec	28
				5,00 m		46
				20 cm über Grund		51
				Grund		96
5.	westlich Horsbüllsteert 8 km S Morsum-Kirche 9,80 m	„Oland"	16^{30}	Oberfläche	0,80 m/sec	38
				5,00 m		72
				20 cm über Grund		225
				Grund		795

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Das bei Hörnum ins Wattenmeer einströmende Wasser enthält nicht die Sinkstoffe, die am Damm zur Ablagerung kommen. Damit soll zwar nicht gesagt werden, daß das freie Meer als Sinkstofflieferant überhaupt ausscheidet, aber die wenigen, vom Verfasser im Jahre 1950 auf der Strecke von Hörnum bis zum Damm entnommenen Sinkstoffproben lassen jedenfalls eine ins Gewicht fallende Zufuhr aus der See hier ebenso wenig wie in der Hever erkennen. Der bei Hörnum geschöpfte Sinkstoff bestand aus Sand, vom feinen bis zum groben; der im Bereich des Dammes und Deiches geschöpfte Sinkstoff aber aus feinstem Korn, und zwar aus sehr wenig Feinsand und zur Hauptsache aus der Staub- und Tonfraktion und darüber hinaus, wie PLATH (86) nachgewiesen hat, aus einem hohen Anteil an tierischen Ausscheidungsprodukten.

Bei den nunmehr zu erörternden Sinkstoffmessungen südlich vom Hindenburgdamm handelt es sich aus zeitbedingten Gründen um erste Ergebnisse, denen zunächst nur orientierende Bedeutung beigemessen werden kann. Wie weiter unten dargelegt wird, erfolgen die größten Ablagerungen neuer Sinkstoffe während der sturmflutreichen Herbst-, Winter- und Frühjahrsmonate (vgl. S. 49, Abb. 10 bis 12). Es erhob sich also die Frage: Was leistet die normale Tide und was die Sturmflut-Tide für den Sedimenthaushalt am Damm. Den folgenden Tabellen 1 und 2 entnehmen wir die Werte, die bei normaler Tide gemessen wurden. Die Entnahmen wurden mit dem horizontalen Wasserschöpfer nach WOHLENBERG und SCHWEDER [WOHLENBERG (72)] auf der Strecke von Hörnum bis zum Damm vom Motorboot „Oland" beziehungsweise in Dammnähe vom Ruderboot aus durchgeführt (Abb. 8). Entnahmestufen waren 10 cm unter Oberfläche, die jeweilige halbe Gesamttiefe, 10—20 cm über Grund und 5 cm über Grund. Bei der letzten Probe stand der Wasserschöpfer mit der Grundkufe (Abb. 8) auf dem Boden des Tiefs beziehungsweise des Priels. Die jeweils an der Oberfläche herrschende Strömungsgeschwindigkeit wurde auf einfache Weise an Treibkörpern mit der Stoppuhr gemessen. Die Strömungen in der Tiefe und über dem Boden wurden damals nicht ermittelt.

Auf allen fünf Stationen der Tabelle 1 wurde der Sinkstoffgehalt während der Ebbe bestimmt. Die Werte zeigen fast durchgehend eine Sinkstoffanreicherung mit zunehmender Wassertiefe und stets den höchsten Wert am Grund oder doch in seiner unmittelbaren Nähe. Die Tabelle zeigt ferner, daß bei ruhiger See die gemessenen Werte überhaupt gering sind. Die Tabelle 2 läßt die Gesetzmäßigkeit der Sinkstoffanreicherung zum Grund hin noch deutlicher hervortreten. Sie zeigt aber auch, daß bei den Werten am Grund Zufälligkeiten ihre Hand im Spiel haben. So liegen bei Station 6 zwei Entnahmen am Grund zeitlich nur fünfzehn Minuten auseinander und die spätere Entnahme zeigt fast den vierfachen Wert der ersten am Grund. Es ist möglich, daß sich solche erheblichen Streuungen im Sinkstoffwert verwischen, wenn ein großes Zahlenmaterial vorliegen würde. Allein die Zufälligkeit bleibt auch dann noch als Faktor bestehen. Der Sinkstofftransport ist nicht nur eine Funktion der transportierenden Kräfte, sondern nach DITTMER und VINCK (15) auch abhängig von der *Geschichte* des aufbereiteten Sediments und Sinkstoffes und erfolgt nach den Sinkstoffuntersuchungen in der Eider durchaus nicht immer zügig, d. h. in direkter Abhängigkeit von den verfrachtenden Kräften.

Bei den hohen Werten am Grund bei den Stationen 2 und 3 im Hörnum-Tief waren grobe Quarzkörnchen beteiligt, Bestandteile, die in der Verlandungszone am Hindenburgdamm ganz unbekannt sind.

Mit der Tabelle 3 verlassen wir das eigentliche Wattenmeer und begeben uns mit dem Wasserschöpfer in einen der zahlreichen künstlich angelegten Vorfluter des Anwachses südlich des Hindenburgdamms. Der das Schöpfgerät tragende Galgen wurde an einem der Brückenstege befestigt und an dieser Stelle das ab- und aufkommende Wasser untersucht (Abb. 9).

Der Verfasser beobachtet die Verlandungserscheinungen in diesem Gebiet seit mehr als zwanzig Jahren, und es ist schwer, die Fülle und die Besonderheit der Beobachtungen in einem kurzen Aufsatz darzulegen, weil mit Zahl und Kurve nicht alles wiederzugeben ist. Die Beobachtungen haben immer wieder gezeigt, daß die Sedimentation am Hindenburgdamm auf zweierlei Art vor sich geht. Bei dem einen Vorgang des Aufwachsens handelt es sich um

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Tabelle 2

Sinkstoffwerte je Liter, südlich vom Hindenburgdamm während der Flut

Datum: 24. 11. 1950; Wetterlage: Windstille, ruhige See; Niedrigwasser: 8^{30}

Stat. Nr.	Position und Gesamtfläche	Schiff	Zeit der Entnahme	Entnahmetiefe	Oberflächenstrom cm/sec	Sinkstoffgehalt mg/Liter
1.	Hörnum-Tief querab Hörnum Spitze 9,50 m	„Oland"	8^{30}	Oberfläche	33	26
				4,80 m		68
				20 cm über Grund		220
				Grund		54
2.	Daselbst	„Oland"	9^{00}	Oberfläche	80	14
				5,00 m		34
				20 cm über Grund		109
				Grund		1709
3.	Daselbst	„Oland"	9^{30}	Oberfläche	100	16
				5,00 m		52
				20 cm über Grund		289
				Grund		329
				Grund		2138
4.	Westl. Horsbüllsteert 8 km S Morsum-Kirche 10,00 m	„Oland"	10^{30}	Oberfläche	100	41
				5,00 m		88
				20 cm über Grund		247
				Grund		387
5.	Daselbst 10,50 m	„Oland"	10^{45}	Oberfläche	94	60
				5,00 m		104
				20 cm über Grund		431
				Grund		634
6.	Daselbst 10,50 m	„Oland"	11^{00}	Oberfläche	90	18
				5,00 m		59
				20 cm über Grund		238
				Grund		401
			11^{15}	Grund		1571

echte Sedimentation, womit gesagt sein soll, daß die im Wasser befindlichen Sinkstoffe nach dem Eintreten einer gewissen Wasserruhe vor Damm und Deich zu Boden sinken und diesen mehr oder weniger gleichmäßig bedecken (primäre Sedimentation). Das ist der normale Vorgang, wie er nach jeder Überflutung des Anwachses durch eine Spring- oder Sturmflut zu beobachten ist. Bei der anderen Art der Sedimentation handelt es sich um den Niederschlag von Sinkstoffen in der Nähe vorangegangener örtlicher Zusammenballungen. In den Haupt- und Nebenvorflutern des Anwachsgebietes werden nämlich bei normalen Tiden und auch bei Springtiden besonders bei bewegter See Sinkstoffe abgesetzt, für deren Beförderung auf den Anwachs hinauf die bewegenden Kräfte und der Wasserstand nicht ausreichen. Es werden gewissermaßen Schlickdepots von begrenzter Dauer angelegt. Durch später wirksam werdende stärkere Kräfte werden diese Depots wieder „in Lösung" ge-

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Tabelle 3

Sinkstoffwerte je Liter in einem Hauptvorfluter des Anwachses südlich vom Hindenburgdamm bei aus- und einströmendem Wasser

Datum: 21. 1. 1954; Wetterlage: NW-Wind 4, See bewegt; Hochwasser: 16^{30}
Position: Hindenburgdamm Süd, Hauptentwässerung im Anwachs. Entnahme am Brückensteg in der Höhe des Barackenlagers (vgl. Abb. 9)

Zeit der Entnahme	Gesamttiefe m	Entnahmetiefe	Stromrichtung	Salzgehalt ‰	Sinkstoffgehalt mg/Liter
11^{05}	0,30	Oberfläche	Ebbstrom	26,94	110
12^{30}	0,25	Oberfläche	Ebbstrom	26,82	129
15^{25}	0,20	Grund	Stau	26,74	104
15^{35}	0,20	Grund	Stau	26,62	79
16^{00}	0,40	Oberfläche	Flutstrom setzt ein	26,58	100
		Grund	Flutstrom	26,56	868
16^{15}	0,60	Oberfläche	Flutstrom	26,87	114
16^{20}		Grund	Flutstrom	27,12	177
16^{35}	0,65	Oberfläche	Stau	27,92	50
		Grund	Stau	27,90	105
16^{45}		Oberfläche	Stau	27,27	65
		0,30 m	Stau	27,47	61
		Grund	Stau	26,47	53
17^{00}	0,65	—	Ebbstrom setzt ein	—	—

bracht und im höheren Anwachs endgültig sedimentiert (sekundäre Sedimentation). Im einzelnen soll darüber weiter unten berichtet werden (vgl. S. 63 und Abb. 30).

Die vom Seedeich der Wiedingharde westwärts verlaufenden Hauptvorfluter sind im Zuge der Landgewinnungsarbeiten künstlich angelegt. Ihre Sohlenlage gegenüber der Oberfläche des Anwachses, die hier bei der Meßstelle etwa bei + 1,25 m NN, also rund × 0,25 m über dem mittleren Hochwasserspiegel liegt, beträgt etwa 1,45 m (Abb. 9). Am seewärtigen Ende des Vorfluters schieben sich stets neue Sedimente mit dem Flutstrom in breiter Front heran, so daß hier trotz künstlicher Ausräumungen immer wieder eine Barre gebildet wird. Steigt nun bei Flut der Wasserspiegel, so staut sich zunächst hier draußen vor den Landgewinnungswerken das Wasser und erst von einer gewissen Höhe ab strömt es, nach Überwindung der Barre, in den Vorfluter hinauf. So kommt es, daß der Strom im Vorfluter an der Meßstelle noch vier Stunden nach Niedrigwasser seewärts abfließt. Nach der Tabelle 3 kam der auslaufende Strom erst um 15^{25} zum Stehen. Um 16^{00} setzte langsam der Rückstrom ein. Dann erscheint für die Dauer nur einer halben Stunde der echte Flutstrom, dessen Kraft an dem betreffenden Meßtage schon um 16^{35} erlosch. Bis 17^{00} dauerte der Stau und langsam strömte das Wasser wieder ab. Dieser Verlauf ist jedoch nicht ganz die Regel. Am Tage der Messung drehte der Wind nämlich gegen Abend von NW über N nach NO. Die ablandige Tendenz des Windwechsels hatte sich schon am geringen Wasserstand des Meßtages im voraus bemerkbar gemacht, eine Erscheinung, die an der Küste häufig zu beobachten ist.

Der halbablandige Wind am nächsten Tag gab dann die Erklärung für den geringen Wasserstand. Bei normaler Westwindlage wird der Flutstrom in den Hauptvorflutern eher einsetzen, länger andauern und auch höher auflaufen, so daß der Wasserstand bei Tidehochwasser 25 bis 40 cm unter der Anwachsoberfläche zu liegen pflegt. Die Gesamtwassertiefe wird an der Meßstelle also bei normaler Westwindtide rund 1,00 m betragen, gegenüber nur 0,65 m am Tage der Messung (Tab. 3). Die am Meßtag gefundenen Sinkstoffwerte sind dem geringen Wasserumsatz entsprechend ziemlich klein. Als Höchstwert ragt die Schöpfprobe heraus, die in dem Augenblick gewonnen wurde, als der Flutstrom an der

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Meßstelle vorüberschoß. Er führte eine deutlich erkennbare Sinkstoffwolke mit sich. Es wurden 868 mg/Liter am Grund gemessen, an der Oberfläche zur gleichen Zeit dagegen nur 114 mg. Das hohe Sinkstoffgefälle von oben nach unten bestätigt auch hier die Regel. Man kann sich nicht vorstellen, daß der Aufwuchs aus diesen geringen Werten Nutzen ziehen könnte. Es müssen also Kräfte anderer Größenordnungen vermutet werden.

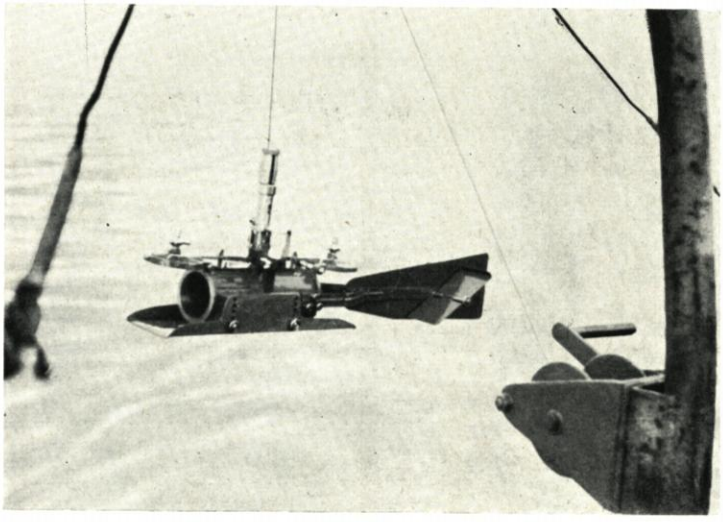


Abb. 8. Sinkstoffentnahme mit dem horizontalen Wasserschöpfer mit Grundkufe nach WOHLENBERG und SCHWEDER
Bildarchiv Westküste, 1951

Abb. 9. Sinkstoffentnahme in einer Hauptentwässerung südlich vom Hindenburgdamm
Bildarchiv Westküste, Januar 1954. Aufn. E. WOHLENBERG

Im allgemeinen kann immer wieder bei jedem normalen Ablauf der Tide die Beobachtung gemacht werden, daß das bei Ebbe in das freie Wattenmeer zurückfließende Wasser zumindest im Bereich des Anwachses ziemlich klar ist, sich also der bei Flut mitgebrachten Sinkstoffe in hohem Grade entledigt hat. So war zum Beispiel das aus den Nebenvorflutern zuletzt

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

abfließende Wasser am Meßtage kristallklar. Dasselbe gilt für das aus den noch höher gelegenen Grüppen, der dritten und letzten Stufe des Vorflutersystems, abfließende Wasser. Das ist jedoch nicht immer so. Zum Abschluß der Erörterung über die im Wasser bewegten Sinkstoffe sei nunmehr die Sturmflut als die für die Aufhöhung des Anwachses entscheidende Tide Gegenstand der Betrachtung.

2. Der Sinkstoffgehalt bei Sturmfluten

Die Frage zu stellen, was an unserer Küste geschähe, wenn es keine vorherrschenden Westwinde und auch keine Sturmfluten gäbe, ist an sich müßig, aber wohl doch mit einem Blick auf die große volkswirtschaftliche Bedeutung der künstlich geförderten Landgewinnung rein gedanklich berechtigt. Landgewinnung an sich wäre natürlich auch dann möglich, aber Maß und Fortschritt dieser Arbeiten wären weit geringer als heute unter den tatsächlichen Gegebenheiten. Der jährliche Zuwachs an neuem Sediment im Anwachsgebiet sinkt zur Bedeutungslosigkeit herab, wenn in einer Winterperiode die Sturmfluten ausbleiben. So sehr wir einerseits unablässig bemüht sind, den Sturmfluten zu wehren, so willkommen sind uns andrerseits die kraft ihrer Dynamik herangeführten Sinkstoffe als Aufbaumaterial für unsere Köge. Für den Fernerstehenden mögen die Worte: Keine neuen Köge ohne Sturmfluten! einen widersinnigen und bitteren Unterton haben. Sie sprechen indessen nur Alltägliches und Naturgegebenes aus und besagen, daß die Sturmflut für unsere Küste tatsächlich zweierlei Bedeutung hat.

Es entbehrt für den Wattenmeerforscher nicht einer gewissen Tragik, daß die Sturmflut ihm immer nur in ihren Folgen vor die Augen kommt. Exaktes wußten wir bisher nur von ihrer Höhe, ihrer Steiggeschwindigkeit und ihrer Dauer, Angaben, die wir später den Pegelablesungen verdanken. Über Wellenhöhen, Strömungsgeschwindigkeiten, Erosions- und Transportkräfte und Sinkstoffführung der Sturmtide bei Eintritt in das Wattenmeer sowohl als auch unmittelbar an der Küste während des Ablaufs des Sturmes wissen wir nichts. Unsere Meßfahrzeuge sind für den Meßdienst im Sturm nicht eingerichtet, und außerdem läßt die allzuenge Nachbarschaft der flachen Gründe und — hinsichtlich der Abtrift durch stoßartige Sturmböen — die Nähe von Damm und Deich das Abreiten eines Sturmes auf den flachgehenden Fahrzeugen nicht ratsam erscheinen. So blieb bisher nur die Möglichkeit, durch rückschauende Betrachtung rechnerisch abzuleiten, was empirisch zu belegen noch verwehrt war. Da aber mit dieser Bescheidung weder der praktischen Landgewinnung noch der Wattenmeerforschung gedient ist, sollte man für künftige Sinkstoffuntersuchungen bei Sturmflut im Wattenmeer feste Stationen in Form von während des Sturmes zu besetzenden Pfahlbauten errichten, von denen aus die verschiedenen Messungen während des ganzen Sturmablaufs durchgeführt werden können. Aber dies ist im Augenblick nur ein Plan, dessen Durchführung von größeren Geldmitteln abhängig ist[2]).

Um aber überhaupt einmal eine erste Vorstellung zu erhalten, welche Mengen an Sinkstoff das vom Sturm gepeitschte und gegen die Küste brandende Wasser in der Raumeinheit mit sich zu führen imstande ist, hat der Verfasser während der letzten Sturmflut dieses Winters am 15. und 16. Januar 1954 selbst den Versuch unternommen, auf der Höhe der Sturmentwicklung am Hindenburgdamm eine Anzahl von Schöpfproben zu gewinnen. Wegen der Schwierigkeiten, die bei der Entnahme der Wasserproben zu überwinden waren, konnte natürlich nur eine begrenzte Anzahl entnommen werden. Da die Hauptvorfluter südlich und nördlich vom Hindenburgdamm auch bei Niedrigwasser an jenen Sturmtagen randvoll blieben und der gesamte Anwachs während des HHW rund zwei Meter hoch überflutet war (Abb. 10 auf S. 48), blieb nur die Möglichkeit, die Schöpfproben unmittelbar vom Damm aus zu entnehmen. Da das Wasser hoch an der Dammböschung stand, galt es, den Wasserschöpfer so weit

[2]) Dr. Martin Plath, vor dem Kriege zoologischer Mitarbeiter der Forschungsstelle Westküste, 1942 auf dem Felde in Rußland geblieben, hatte durch die Konstruktion von sogenannten Sinkstoffstativen, die an beliebiger Stelle im Wattenmeer und im Anwachsgebiet aufgestellt werden können, der Forschung einen gewissen Ausweg aus den technischen Unzulänglichkeiten gezeigt [Plath (86)]. Diese Methode erfordert jedoch einen größeren Aufwand an Zeit und Personal. Die Wiedergabe seiner Versuche und Geräte wird demnächst in dieser Schriftenreihe erfolgen.

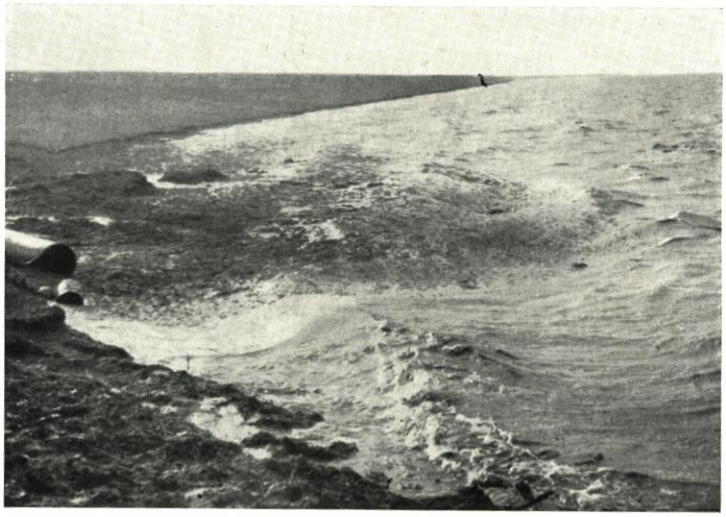


Abb. 10
Sturmflut am 16. Januar 1954. Blick vom Damm auf den Festlandsdeich. Die dunkle Zone im Wasser zeigt schwimmende Seegräser an. Der ganze Anwachs ist hoch überflutet

Bildarchiv Westküste, Januar 1954

Abb. 11
Neue Ablagerungen durch die Winterfluten 1948/9 südlich vom Damm

Bildarchiv Nissenhaus, März 1949

Abb. 12
Neue Ablagerungen durch die Sturmflut am 16. Januar 1954 (vgl. Abb. 10 u. 13). Die Sinkstoffe waren nach dieser Flut über den gesamten Anwachs gleichmäßig verteilt (primäre (Sedimentation). Die Andelvegetation zeigte nach dem Ablaufen der Sturmflut eine zellenartig gegliederte Oberfläche. Alle „Vertiefungen" sind mit Schlick angefüllt

Bildarchiv Westküste, Januar 1954
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

wie irgend möglich vom Damm entfernt ins Wasser zu bringen und im geeignet erscheinenden Moment in der gewohnten Weise mit dem Fallgewicht auszulösen. Dieses mußte von Hand geschehen, weil ein ausladender Galgen mit dem Gerät im Sturm und Seegang gar nicht gehalten werden konnte. Beim Abstieg durch die an der Böschung herrschende See wurde von einem zweiten und dritten Mann Hilfestellung geleistet.

Auf diese Weise gelang es an je zwei Stationen südlich und nördlich vom Damm während des Sturmes jedesmal sechs Schöpfproben zu gewinnen. Die Südseite des Dammes lag in breiter Front in Luv, die Nordseite bei Bahnkilometer 16,3 in Lee und bei Bahnkilometer 17,5 dagegen infolge der Dammkrümmung ebenfalls in Luv. An beiden Stationen der Südseite wurde das Wasser in hohen Wellen gegen die Böschung gepeitscht, die Farbe des Wassers war schwarz.

An der Nordseite herrschte bei Station km 16,3 Wasserruhe, während auf der zweiten Station der Nordseite bei km 17,5 das Wasser ebenfalls heftig bewegt war. An beiden Nordstationen aber war die Farbe des Wassers im Gegensatz zur Südseite hell, gelblich grau. Es kam den Messungen beziehungsweise der Auswertung der Messungen zugute, daß auf begrenztem Raum einerseits gleichgerichtete, andrerseits aber auch stark unterschiedliche dynamische Bedingungen herrschten.

Tabelle 4

Sinkstoffwerte bei Sturmflut an der südlichen und nördlichen Seite des Hindenburgdamms
(vgl. Abb. 7 und 10)

Datum: 16. 1. 1954; Wetterlage: Sturm aus WSW, See stark bewegt, Windgeschwindigkeit um 20 m/s, in Böen bis zu 35 m/s; Hochwasser: 12^{08}; Höchster Wasserstand: 10^{45}

1. Position: Hindenburgdamm Südseite	Wasser stark bewegt, Farbe dunkel	
	Alle Entnahmen 10 cm unter Oberfläche	
Zeit: um HW	Probe 1	2877 mg/Liter
Entnahme 1—3 bei Bahnkilometer 16,3	Probe 2	2268 „
Lage der Entnahmestelle in Luv	Probe 3	3070 „
Entnahme 7—9 bei Bahnkilometer 17,5	Probe 7	2557 „
Lage der Entnahmestelle in Luv	Probe 8	2608 „
	Probe 9	2458 „
2. Position: Hindenburgdamm Nordseite	Alle Entnahmen 10 cm unter Oberfläche	
	Wasser ruhig, Farbe hell	
Zeit: um HW	Probe 4	931 mg/Liter
Entnahme 4—6 bei Bahnkilometer 16,3	Probe 5	874 „
Lage der Entnahmestelle in Lee	Probe 6	833 „
Entnahme 10—12 bei Bahnkilometer 17,5	Wasser stark bewegt, Farbe hell	
Lage der Entnahmestelle in Luv	Probe 10	3220 „
Seegang setzt hier um die nördliche Krümmung	Probe 11	3139 „
schräg gegen den Damm	Probe 12	3231 „

An Hand der Tabelle 4 und mit Hilfe der graphischen Darstellung, Abbildung 13, seien die Werte der Sinkstoffproben von der Sturmflut kurz besprochen.

Die sechs Werte von der Südseite des Dammes lagen im Durchschnitt über 2500 mg und überschritten sogar 3000 mg/Liter. Die Untersuchung des Sinkstoffes zeigte den überragend hohen Gehalt an feinsten Körnungen; die Staub- und Tonfraktionen gaben den Proben ihren Charakter. Feinste Sandpartikelchen spielten nur eine untergeordnete Rolle.

Die Proben an der Nordseite des Dammes waren dagegen gewichtsmäßig von Station zu Station außerordentlich unterschiedlich (Luv/Lee-Wirkung). Die bei Bahnkilometer 16,3 aus ruhigem Wasser gewonnenen Proben erreichten rund gerechnet nur einen Bruchteil der Sinkstoffmengen, die bei Bahnkilometer 17,5 aus bewegtem Wasser geschöpft wurden. Das

Gewichtsverhältnis Luv zu Lee betrug an diesem Tage im Bereich des Dammes 4 : 1. Die Zusammensetzung der Nordproben unterschied sich von den Südproben durch einen größeren Gehalt an Feinsand.

Es wäre vermessen, aus diesen wenigen Proben weitgreifende Folgerungen oder gar Verallgemeinerungen ableiten zu wollen, aber als erste überhaupt bekanntgewordene Sturmflutwerte gewinnen sie doch einen hohen orientierenden Wert für weitere Erwägungen und Untersuchungen. Auffallend ist die geringe Streuung der Werte jeder Station, so daß angenommen werden darf, daß sie keine Zufallswerte darstellen, sondern eine durchgehende Gleichmäßigkeit in der Verteilung der Sinkstoffe an jenem Sturmtag bestätigen. Des weiteren erhellt aus der Gegenüberstellung der Süd- und Nordwerte beziehungsweise der Werte an den beiden dynamisch stark unterschiedlichen Nordstationen, daß der Wellenbewegung im Gebiet des Hindenburgdammes für das Maß der Sinkstoffaufbereitung und -führung eine entscheidende Bedeutung beizumessen ist. Auf eine weitere Erörterung sei mit Bedacht verzichtet, denn mit diesen ersten empirisch ermittelten Sturmflutwerten ist erst eine Frage in das Licht der Diskussion gerückt, mehr nicht. Eine Fülle weiterer Fragen der Sturmtide bleibt auch jetzt noch offen, zum Beispiel das Sinkstoffgefälle von der offenen See übers Watt zu Deich und Damm, das Sinkstoffgefälle in der Wassersäule draußen und drinnen, auf den Watten, in den Prielen, in den Hauptvorflutern und über dem Anwachs, das zeitliche Steigen und Fallen der Sinkstoffwerte im ganzen Ablauf der Sturmtide, die Bestandteile der Sinkstoffe, feine und grobe Mineralien, organische Bestandteile, tierische Ausscheidungen und andere Fragen.

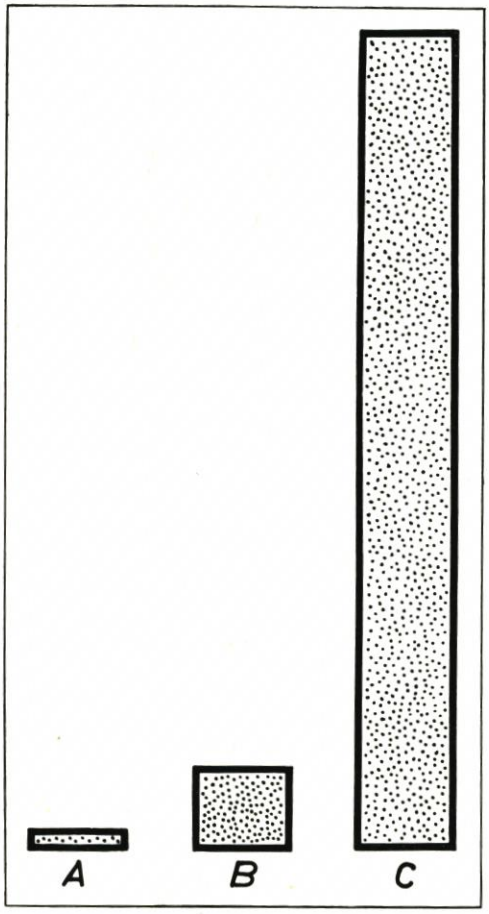


Abb. 13. Darstellung der Sinkstoffwerte je Liter südlich vom Hindenburgdamm, gemittelt aus 84 Schöpfproben
A = Oberflächenwerte bei normaler Tide
B = Mittelwerte von zusammen je vier Entnahmen einer Station: Oberfläche, Wassertiefenmitte, 20 cm über Grund, und Grund bei normaler Tide
C = Oberflächenwerte bei Sturmflut

An dieser Stelle sei auch die Frage aufgeworfen, welche Mengen Sinkstoff das vor dem Dammbau über die Watten strömende Wasser mit sich geführt haben mag und welcher Art diese Sinkstoffe gewesen sein mögen. Beide Fragen sind heute nicht mehr zu beantworten. Wenn die Ansicht richtig ist, daß das Vorrücken der Küste durch wachsendes Neuland und durch den Bau von Deichen und Dämmen im Laufe der Jahrhunderte zu einer stetig wachsenden Tiefenerosion im Vorfeld der Küste, also im Wattenmeer, geführt hat [Delff (9), Dittmer (13)], dann wäre es denkbar, daß die heute im Schutze des Dammes niederfallenden Sinkstoffe in ihrer Hauptmasse in erhöhtem Maße erst jetzt durch Erosionswirkungen im Wattenmeer als Folge der Abdämmung aufbereitet und in den neuen Sinkstoffhaushalt einbezogen wurden. Diese Frage bedarf jedoch einer sorgfältigen Prüfung und Berechnung an Hand morphologischer, geologischer und hydrologischer Daten.

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Bevor die Erörterung der Sinkstoffführung am Hindenburgdamm an dieser Stelle zunächst abgeschlossen wird, sei noch auf die graphische Darstellung der Abbildung 13 verwiesen. Es darf auch hier vorweg bemerkt werden, daß es dem Verfasser fernliegt, mit dieser Wiedergabe eine verallgemeinernde Betrachtung, sozusagen höherer Ordnung, bieten zu wollen. Angesichts der im vorhergehenden Abschnitt besprochenen Sinkstoffwerte von normalen Tiden dürfte es jedoch angebracht sein, jene Werte einmal zu denen der Sturmflut in Beziehung zu setzen. Wie die Tabellen 1, 2 und 3 angeben, liegt der durchschnittliche Oberflächenwert bei 53 mg/Liter, der durchschnittliche Wert aus je vier Ablesungen im Bereich der ganzen Wassersäule einer Station (Oberfläche, mittlere Tiefe, 20 cm über Grund und Grund) während der normalen Tide bei 240 mg/Liter, die Sturmflutwerte, ebenfalls südlich des Dammes (Tabelle 4), dagegen bei 2640 mg/Liter. Setzt man diese Mittelwerte (wie bereits betont, mit allem Vorbehalt) zueinander in Beziehung, so liegt ein rundes Verhältnis von 1 : 5 : 50 vor. Die Kolumnen A, B und C der Abbildung 13 sprechen eine eindrucksvolle Sprache. Sie sind trotz aller Vorbehalte mehr als ein Bild. Man denke dabei an den oben gebrachten Satz: Keine neuen Köge ohne Sturmfluten, und man erkennt den Zusammenhang. Diese Einsicht bedarf zwar noch eines festeren und breiteren Unterbaus durch viele Messungen während kommender kritischer Tage an unserer Küste, aber die ersten Ergebnisse sollten schon jetzt den Anlaß geben, den Sinkstofffragen bei Sturmflut den ihnen gebührenden Platz in der Küstenforschung zuzuweisen.

B. Die Sedimente vor und nach dem Dammbau

Die Erörterung der Sedimente umfaßt in diesem Abschnitt die Korngrößenzusammensetzung, den Kalkgehalt und den Gehalt an organischer Substanz und teilt sich in die Wattablagerungen vor und nach dem Dammbau.

Analysen aus der Zeit vor dem Dammbau liegen nicht vor, so daß das unter den jüngsten Ablagerungen heute ruhende Sediment nachträglich auf seine Eigenschaften untersucht werden muß. Da der Wechsel vom alten Wattboden (Oberfläche vor dem Dammbau) zum jungen (heutige Oberfläche) im Aufbau sehr schroff ist, ist die gesonderte Betrachtung mit großer Sicherheit vor Verwechslung auch heute noch möglich.

Tabelle 5

Der Korngrößenaufbau der Sedimente südlich vom Hindenburgdamm
Probe 12, 202, 208 = Ablagerungen vor dem Dammbau
Probe 11, 200, 207 = Ablagerungen nach dem Dammbau

Hindenburgdamm Süd — Anwachsgebiet — Korngrößenanalyse 1936

Bodenprobe Nr.	Bodenart	Entnahmetiefe cm unter Oberfläche	Korngrößenanteil in v. H. unter 20 μ	über 20 μ
11	neues Sediment: fetter Schlick	10	70,85	29,15
12	altes Sediment: Sand	50—60	16,90	83,10
200	neues Sediment: fetter Schlick	15	54,50	45,50
202	altes Sediment: Sand	50—60	8,30	91,70
207	neues Sediment: fetter Schlick	10—20	74,20	25,80
208	altes Sediment: Sand	60	9,70	90,30

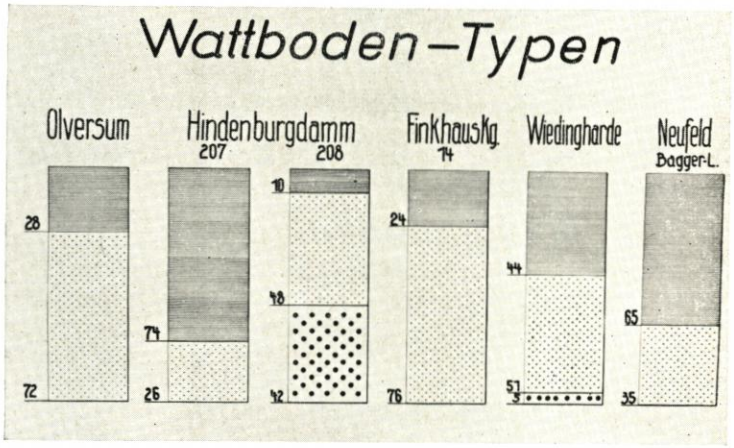


Abb. 14
Der Korngrößenaufbau der Sedimente südlich vom Damm; 208 vor, 207 nach dem Dammbau

waagerecht = < 20 μ
feine Punkte = < 100 μ
grobe Punkte = > 100 μ

Abb. 15
Die im Schutz des Dammes abgelagerten Sedimente sind von einseitig tonigem Aufbau. Bei ausbleibender Überflutung neigen sie zur Klüftung (Aufn.: 1931)

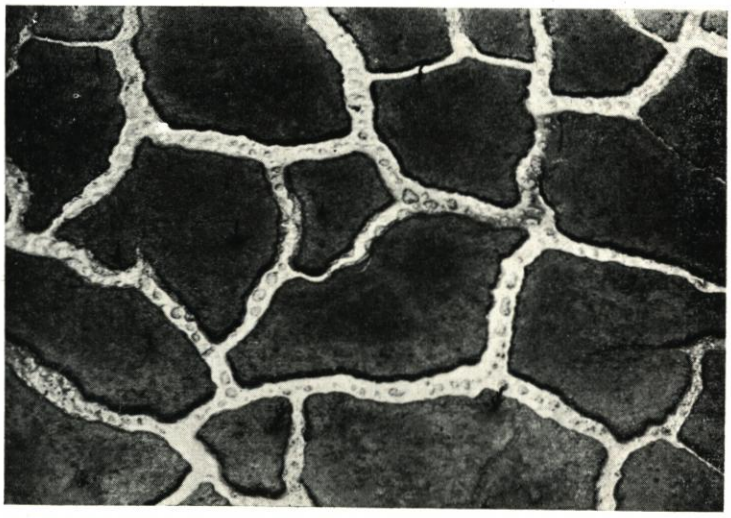


Abb. 16
Das mit Überflutungswasser angefüllte Kluftsystem. Nach erneuter mehrmaliger Überflutung mildern sich die Klufträndern und die Spalten füllen sich mit neuen Sedimenten. Bläschenbildung durch Diatomeen-Assimilation

Bildarchiv Westküste, Juni 1952
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Abb. 17
Zahllose Wattschnecken (*Hydrobia ulvae*) weiden die Oberfläche der frisch abgelagerten Sinkstoffe ab

Bildarchiv Westküste 40/19, 1936

Abb. 18
Die Schwundspaltenbildung beginnt. Die kleinen Wattschnecken graben sich ein, um der für sie ungünstigen Trockenlage zu entgehen (Aufn.: 1931)

Abb. 19
Die Schwundspaltenbildung nimmt zu. Bei anhaltender Trockenzeit wird das Leben der Wattschnecken gefährdet. Der Vorgang ihrer Fossilbildung wird eingeleitet

Bildarchiv Westküste 52/11a, 1937
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Die alten Wattsedimente werden heute im Anwachsgebiet in ungefähr 60 bis 120 cm Tiefe angetroffen. Es lag seinerzeit als Oberflächensediment mithin etwa 50 bis 100 cm unter der MThw-Linie.

Auf der Abbildung 14 zeigt die dritte Säule von links (Bodenprobe 208) den Anteil der Hauptfraktionen. Verglichen mit den übrigen Diagrammen der Abbildung lag also ein stark sandiges Sediment vor. Die Staub- und Tonfraktion war nur mit 10 v. H. und der Mittelsand dagegen mit 42 v. H. des Gesamtgewichts vertreten. Es gehörte also damals zum Typ der Sandwurmwatten [THAMDRUP (57); WOHLENBERG (68); LINKE (32); PLATH (45); KÖNIG (26); HANSEN (20)]. An Mollusken haben die Sandklaffmuschel *(Mya arenaria)*, die Herzmuschel *(Cardium edule)* und auch die Plattmuschel *(Macoma baltica)* in diesem Watt gelebt, wie die Funde in den Ablagerungen zeigen.

Das zweite Blockdiagramm von links auf der Abbildung 14 zeigt den Korngrößenaufbau der Bodenprobe 207. Es handelt sich um eine Ablagerung, die als Folge des Dammbaus auf dem alten, soeben besprochenen Wattboden zur Ablagerung gekommen ist. Bei diesem jungen Sediment beherrscht die Staub- und Tonfraktion (unter 20 μ) mit 74 v. H. das Diagramm. Der Feinsandgehalt beträgt nur 26 v. H. des Gesamtgewichts, Mittelsand ist nicht mehr vorhanden. Die beiden Blockdiagramme zeigen eindeutig, daß sich die Ablagerungsbedingungen von der Probe 208 zur Probe 207 grundlegend geändert haben. Das Sediment 208 wurde abgelagert, als zwischen der Insel Sylt und dem Festland noch bei jeder Tide rund 38 Millionen Kubikmeter Wasser hindurchströmten. Die eingangs dieses Aufsatzes erwähnte Süd-Nordströmung setzte also täglich zweimal über das Sediment hinweg. Dieser ruhelose Zustand hat den sandigen Aufbau des Sediments verursacht und wenig Schlick zur Ablagerung kommen lassen.

Ganz anders dagegen sieht die Wasserbewegung bei Probe 207 aus. Das Über-die-Watten-Strömen nach Norden ist seit Errichtung des Dammes vorbei. Aus dem einseitig gerichteten Überströmen ist besonders in den Festlandswinkeln zwischen Damm und Deich ein Überstauen, ein Verharren, geworden. Die durch den Dammbau grundlegend veränderten Kräfte der Wasserbewegung zeichnen sich also mit aller Deutlichkeit im Aufbau der Sedimente ab.

Tabelle 6

Kalkgehalt und Totalglühverlust der Sedimente südlich vom Hindenburgdamm

Probe 12, 202, 208 = Ablagerungen vor dem Dammbau
Probe 11, 200, 207 = Ablagerungen nach dem Dammbau

Hindenburgdamm Süd — Anwachsgebiet — Analysen 1936

Bodenprobe Nr.	Bodenart	Entnahmetiefe cm unter Oberfläche	Kalkgehalt in v. H.	Totalglühverlust in v. H
11	neues Sediment: fetter Schlick	10	8,53	12,98
12	altes Sediment: Sand	50—60	3,88	4,48
200	neues Sediment: fetter Schlick	15	8,18	14,47
202	altes Sediment: Sand	50—60	3,02	4,20
207	neues Sediment: fetter Schlick	10—20	8,21	— *
208	altes Sediment: Sand	50—60	2,95	— *

* nicht untersucht

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Abb. 20
Alljährlich trägt die Tide große Mengen von Seegrasblättern aus dem offenen Wattenmeer an den Damm

Bildarchiv Westküste 781, April 1936

Abb. 21
Angetriebene, vom Seegang zusammengestauchte Seegräser, Grün- und Rotalgen am Fuß des Dammes

Bildarchiv Westküste, Juni 1952

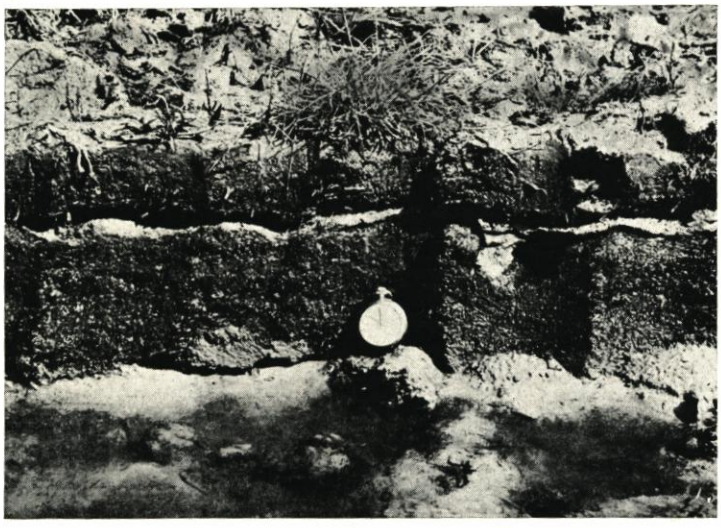


Abb. 22
Der Aufbau der Sedimente unmittelbar am Damm. Dicke Seegrashorizonte wechseln ab mit dünneren Schichten aus Ton und feinstem Sand (Uhr als Maßstab)

Bildarchiv Westküste 63/24, Juli 1937
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Daß es sich bei den beiden Blockdiagrammen um Sediment-Typen handelt und nicht um ausgesuchte Sonderfälle, möge die Besprechung der Tabelle 5 belegen. Der Einfachheit halber werden nur Korngrößen von über 20 μ und unter 20 μ Durchmesser einander gegenübergestellt. Die übrigen Fraktionen verhalten sich ähnlich den auf Abbildungen 14 wiedergegebenen Proben 207 und 208.

Wird die Untersuchung derselben Bodenproben ausgedehnt auf den Gehalt an Kalk und organischer Substanz, so ergeben sich Werte von der nämlichen Gegensätzlichkeit. In Tabelle 6 seien beide Eigenschaften einander gegenübergestellt. Die neuen Ablagerungen enthalten mehr als doppelt so viel Kalk und rund dreimal so viel organische Substanz. Übergänge zwischen altem und neuem Sediment sind nirgends erkennbar. Die alten und neuen Sedimente verdanken ihre Entstehung also ganz verschiedenen Bedingungen.

Zum Abschluß der Besprechung über die Sedimente am Hindenburgdamm darf ein in besonders sinnfälliger Weise als organogen zu bezeichnender Sedimenttyp nicht unerwähnt bleiben, weil er an der übrigen Küste nicht bekannt ist. Er kommt zu beiden Seiten in unmittelbarer Nähe des Dammes gleich stark vor.

Im Wattenmeer zwischen Sylt und dem Festland befinden sich umfangreiche Seegraswiesen. Es handelt sich in erster Linie um das Zwergseegras *(Zostera nana)*, in kleinerem Maße auch um *Zostera angustifolia*. Der Laubfall dieser Seegräser beginnt im Herbst und hält bis in den Winter hinein an. Bei Winden aus westlichen Richtungen bringt der Gezeitenstrom südlich und nördlich des Dammes bei jeder Tide ungeheure Mengen der abgestoßenen Blattsprosse auf das Festland zu in Bewegung und schiebt diesen Massentreibsel in die beiden Buchten des Dammes hinein. Abbildung 21 zeigt das durch den Seegang zusammengedrängte Pflanzenmaterial, und Abbildung 20 läßt den Umfang dieser Ablagerungen unmittelbar am Dammfuß erkennen. Das angetriebene Seegras liegt hier zu gewissen Zeiten in flächiger Ablagerung bis zu einer Stärke von über 1 m. Dann setzt im Frühjahr und Sommer der Zersetzungsvorgang dieser dichtgelagerten, rein organischen Massen ein und dort, wo sie flächig abgelagert wurden, werden sie von neuen, mehr mineralischen Ablagerungen zugedeckt. Sie sind damit ein Bestandteil des Sediments geworden. Die Abbildung 22 zeigt einen Aufschluß durch diesen neuen Sedimenttypus. Natürlich wird sich bei fortschreitender Zersetzung der Vorgang der Schrumpfung und Sackung in dieser Gegend besonders bemerkbar machen. Sie gehören aber ohnehin zu den höchstgelegenen Zonen des Anwachses und werden bei späterer landwirtschaftlicher Nutzung auf Grund ihres hochgradig humosen Aufbaus eine andere Bearbeitung und Nutzung erfahren müssen als die normale Koogsfläche.

Da aus der Zeit vor dem Dammbau keine Bestimmungen des Wassergehaltes der Sedimente vorliegen, kann das im Sediment gebundene Wasser für den Vergleich der Ablagerungen nicht als Kennzeichen herangezogen werden. Die Abbildungen 15, 16, 18 und 19 vermitteln in Ergänzung zu den Zahlenwerten in den Tabellen eine Vorstellung von dem einseitig feinkörnigen Aufbau der nach dem Dammbau abgelagerten Sedimente. Ihr hoher Gehalt an Ton und organischer Substanz läßt den feinkörnigen Boden durch Verdunstung infolge länger ausbleibender Überflutung stark schrumpfen und zeigt das von ausgesprochenen Tonböden bekannte Bild der fortschreitenden Trockenrißbildung. Vom alten Sediment (vor dem Dammbau) wäre dieses Bild — auch bei gleicher Höhenlage zum MThw — nicht denkbar gewesen, denn ein Sandwurmwatt schrumpft nicht bis zur Klüftung.

Aus den vorstehenden Ausführungen, Tabellen und Abbildungen erhellt somit eindeutig, daß nach Heranziehung der Kriterien: Korngrößenzusammensetzung, Kalkgehalt, Totalglühverlust und organischer Aufbau, nicht nur keine Übergänge zwischen den alten und neuen Sedimenten bestehen, sondern überhaupt keine Beziehungen. In dieser Weise ist eine große Anzahl im Jahre 1936 am Hindenburgdamm entnommener Bodenproben untersucht worden. Die Anführung dieser wenigen Beispiele möge jedoch genügen, um den tiefen Einschnitt in den Haushalt der Sedimente erkennbar werden zu lassen, den der Dammbau verursacht hat.

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

C. Die Ablagerung der Sinkstoffe und die Leistung der Pflanzengesellschaften für den Anwachs am Hindenburgdamm

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten das Wasser als bewegende und tragende Kraft auf der einen Seite und die Sinkstoffe auf der anderen als die Vorbedingungen für den Anwachs vor der Küste erkannt und zueinander in Beziehung gesetzt wurden, sei auf die besonderen Erscheinungsformen der Sinkstoffablagerung und -bindung am Hindenburgdamm im einzelnen eingegangen. Es liegt in der Natur der Sache, daß bei diesen Darlegungen die biologischen Erscheinungen, ja, man darf sogar sagen, die biologischen Kräfte, das Thema tragen müssen. Somit befassen sich die folgenden Abschnitte mit den mannigfachen Wechselbeziehungen zwischen den pflanzlichen Organismen und dem Sediment im *statu nascendi*.

1. Schlickbindung durch Diatomeen

„Je feiner der Schlick, desto höher sein Diatomeengehalt"
BROCKMANN (4 a)

Auf Grund der auf den Watten der Eidermündung in den Jahren 1929/30 angestellten Untersuchungen hat der Verfasser bereits damals auf die erstaunliche Leistung der Kieselalgen für den Aufwuchs der Watten bzw. der Verlandungszone hingewiesen [WOHLENBERG (64, 67)]. Die damals und auch heute noch bedeutsame Frage der Gezeitenschichtung als eine mit bloßem Auge nicht erkennbare Mikroschichtung führte seinerzeit zu folgender Versuchsanordnung.

In einem Wattaquarium mit künstlicher Gezeitenbewegung wurde ein Sediment eingebracht, das am natürlichen Standort der oberen Wattzone eine reiche Diatomeenflora trug.

Das Sediment wurde nach Einbringung in das Aquarium während der künstlichen „Überflutung" aufgewirbelt und während des erneuten Absetzens der Suspension sich selber überlassen. Nach dem Absetzen wurde das Wasser abgelassen, es trat „Ebbe" ein. Die Diatomeen hatten an der Oberfläche einen üppigen geschlossenen Rasen entwickelt. Nachdem Sonne und Luft — den Bedingungen am natürlichen Standort entsprechend — einige Stunden eingewirkt hatten, wurde eine neue „Überflutung" eingeleitet. Dem „Flutwasser" wurde eine gehörige Menge „Sinkstoff" in Form von diatomeenfreiem Feinsand beigegeben und das ganze als Suspension über das „Watt" ins Aquarium geleitet. In kurzer Zeit setzte sich der „Sinkstoff" zu Boden, das heißt, er lagerte sich auf den ersten Diatomeenrasen ab. Als das „Flutwasser" klarer wurde, konnten schon bald bei Lupenvergrößerung gelblich-olivgrüne Farbflecken auf der Oberfläche des zu Ruhe gekommenen „Sinkstoffes" beobachtet werden. Unterm Mikroskop erkannte man die Bewegung der einzelnen Diatomeen, die schließlich dazu führte, daß nach geraumer Zeit der zugeführte „Sinkstoff" zum Sediment geworden und dieses an der neuen Oberfläche von einem Diatomeenrasen bedeckt war. Dieser „Überflutungs- und Sedimentationsvorgang" mit diatomeenfreiem Feinsand wurde wiederholt, und die verschütteten Diatomeen durchwanderten von neuem die sie bedeckende Schicht aus Feinsand und bildeten an der neuen Oberfläche abermals einen geschlossenen Diatomeenrasen. Der Versuch wurde abgebrochen, um das „Watt" abtrocknen zu lassen. Nach einigen Tagen wurde ein Querbruch gemacht und die Bruchstelle in ganzer Ausdehnung mit einem feinen, ständig wieder in Wasser getauchten Haarpinsel vorsichtig bearbeitet, sozusagen künstlich erodiert, wie es das Meer in freier Landschaft an der Anwachskante leistet und auf diese Weise das Profil der

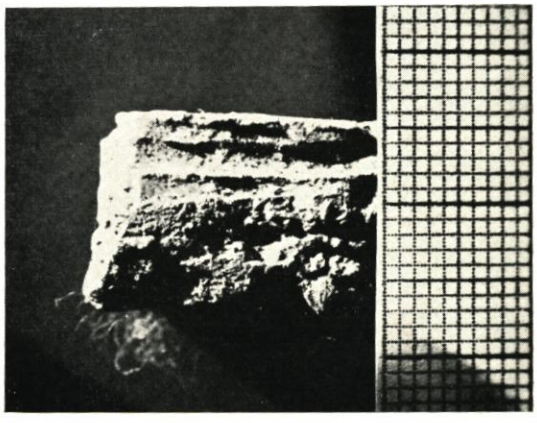


Abb. 23. Künstlich eingeleitete biogene Sedimentation im Wattaquarium (links Diatomeenhorizonte, rechts Millimeterpapier als Maßstab, vgl. Text S. 57 und 58)
Aufn. E. WOHLENBERG, 1929

jungen Marsch herausarbeitet. Durch diese Pinselerosion traten nun die einzelnen, durch künstliche „Überflutung" und „Sedimentation" angelegten Diatomeenhorizonte deutlich in Erscheinung. Abbildung 23 zeigt diesen Querbruch. Das Vor- und Zurückspringen der „erodierten" Schichten zeigt Lage und Leistung der Diatomeen.

Es ist aus der allgemeinen Biologie der Diatomeen bekannt, daß jede Zelle die Fähigkeit hat, ihren Ort durch eigene Kraft zu verändern [BROCKMANN (4c)]. Jede Zelle erzeugt um sich herum durch Schleimabsonderung ein Medium kolloidaler Natur, innerhalb dessen sich die Zelle fortbewegen kann. Durch Seismotaxis wird die Aufwärtsbewegung ausgelöst, sobald sich Sinkstoffteile auf die Zelle legen. Hat die Flut ihren Sinkstoff auf dem Watt zur Ablagerung gebracht und ist der Standort von Diatomeen besiedelt, so setzt sich durch den seismotaktischen Reiz das ungezählte Heer der Diatomeen in Bewegung, wandert durch das soeben abgelagerte Sediment nach oben hindurch und gibt sich an der neuen Oberfläche seinen vegetativen Lebensäußerungen (Vermehrung durch Teilung, Atmung, Assimilation und der Erzeugung des kolloidartigen Mediums als lebensnotwendiger Umgebung) hin. Bei dem Antrocknen der neuen Oberfläche während der Ebbe oder richtiger gesagt, während der Zeit der Nichtüberflutung des Watts, bleibt ein Teil der Einzeller auf der Strecke. Sie wandern bei der folgenden Überflutung nicht mit an die neue Oberfläche, sondern werden zusammen mit dem horizontbildenden Schleim zum Fossil. Der während der tidebedingten Trockenlage erhärtete Schleimhorizont bietet der künstlichen Pinselerosion einen größeren Widerstand als das feinsandige, im Vergleich zur Diatomeengröße aber grobe, künstlich zugeführte Sediment. Dieses springt dann im Profil zurück, die Horizonte ragen vor. So ist das auf Abbildung 23 abgebildete Präparat entstanden.

Der im Wattaquarium durchgeführte Versuch ist ein getreues Abbild der vom Menschen unbeeinflußten Vorgänge am natürlichen Standort. Kein grundsätzlicher, sondern nur ein gradueller Unterschied besteht in der Menge und Art der je Tide zugeführten Sinkstoffe. In der freien Natur geht zumindest die normale Tide etwas sanfter vor; sie verursacht nicht so grobbankige Schichtung. Bei ihrer Tätigkeit handelt es sich um die Ablagerung allerfeinster Lamellen aus neuen Sedimenten. Anders ist es natürlich bei Sturmfluten, wo nicht selten die Diatomeensiedlungen so stark überdeckt werden, daß sie absterben, bevor sie die mühevolle Wanderung an die Oberfläche der neuen Sedimentlage vollzogen haben. Sie bleiben somit als „geschlossene" Gesellschaft im Sediment als Fossil erhalten.

Diese dem Menschen im allgemeinen verborgen bleibenden Vorgänge bedurften der eingehenden Schilderung, um die ungeheure Leistung dieser mikroskopisch kleinen Einzeller besonders im Watt und in der Verlandungszone südlich wie nördlich vom Hindenburgdamm überhaupt vorstellbar und glaubhaft zu machen.

Wegen der Bedeutung der Diatomeen für den gesamten organischen Haushalt des Wattenmeeres besteht seit langem eine enge Zusammenarbeit mit dem bekannten Diatomeenforscher Dr. h. c. CHRISTOPH BROCKMANN. Seit fast zwanzig Jahren ist BROCKMANN für sein Fachgebiet von der Oekologie der Kieselalgen ehrenamtlicher Mitarbeiter der Westküstenforschung. Im Laufe dieser langen Jahre hat er im Rahmen der Untersuchungen im schleswig-holsteinischen Wattenmeer zahlreiche wissenschaftliche Arbeitsberichte verfaßt und der Küstenforschung damit in ganz uneigennütziger Weise einen unschätzbaren Dienst erwiesen. In einer seiner zahlreichen Arbeiten über die Wattdiatomeen [BROCKMAN (4a—c)] befaßt er sich eingehender mit dem Einfluß des Wattbodens auf die Diatomeen. Wegen der darin zum Ausdruck kommenden großen Anschaulichkeit in der Darstellung über die Umwelt der Kieselalgen möge BROCKMANN hier selber zu Wort kommen:

„Ein Sandkorn wirkt gegen eine Kieselalge wie ein Felsblock, der im Rollen einen Menschen erdrückt. Die Länge der Watt-Diatomeen beträgt bei großen Formen über 0,1 mm, bei kleinen 0,020 mm und weniger, so daß letztere im Sand kriechen können wie Mäuse in einem Haufen von Pflastersteinen. Selbst beim „Grobstaube" (0,100—0,050 mm) können kleine Diatomeen noch in „Spalten" fallen, und erst die feinste Körnung (0,010 mm) können sie wie ein Schlitten überfahren." BROCKMANN weist dann nach, daß häufig eine Beziehung besteht zwischen der Korngröße der Sedimente und der Größe der dieses Sediment besiedelnden Diatomeen und sagt: „Auf dem reinsten Schlickwatt der Westküste südlich des Hindenburgdammes leben viele zarte und kleine Formen. Aber gerade hier wird deutlich, wie wenig durchschlagend das angenommene Prinzip ist; denn neben den kleinen Formen kommen auf dem weichen Schlick auch sehr große als Massenformen vor, darunter *Pleurosigma angulatum v. quadrata* und *Gyrosigma balticum*. Die Korngröße ist nicht

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Abb. 24
Diatomeenrasen auf dem Watt südlich vom Damm während optimaler Assimilation (Zündholz als Maßstab)

Abb. 25
Vertriftung von Diatomeenflocken mit dem Flutstrom

Bildarchiv Westküste 52/9a, Mai 1937

Abb. 26
Assimilierende blasenbildende Diatomeenhäute werden bei Flut aufwärts in die Grüppen verfrachtet und bilden hier neue Siedlungen (links Uhr als Maßstab)

Bildarchiv Westküste, Juni 1952
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

allein bestimmend für die Verteilung der Arten. Nach WOHLENBERG [1937, (68)] wirken die bodenphysikalischen Faktoren, worunter das Bodengefüge (Luftgehalt, Wassergehalt, Über- bzw. Untersättigung, Festigkeit, Einlagerungen) verstanden werden soll, in erster Linie auslesend und begrenzend. Sie sind der Korngrößenzusammensetzung als Standortfaktor bei weitem überlegen." „Welche chemisch-physikalischen Bodenfaktoren für die Watt-Diatomeen besondere Bedeutung haben, bedarf noch der Untersuchung. Wenn es wahr ist, daß die Besiedlungsdichte auf dem Watt größer ist als auf dem dauernd wasserbedeckten Meeresgrunde, so liegt der Gedanke an Lufthunger (Aerophilie) nahe."

Die Diatomeengesellschaft auf den Schlickwatten am Hindenburgdamm (Abb. 24) hat BROCKMANN als *Scoliopleuretum tumidae* bezeichnet und nach Proben aus den Jahren 1937, 1938 und 1941 folgende Bestandsliste aufgestellt:

Das *Scoliopleuretum tumidae* von Klanxbüll

Charakterformen:

gesellschaftsfest:
Scoliopleura tumida
Pleurosigma angul v. qu.
Nitzschia sigma

gesellschaftshold:
Gyrosigma speuceri
Stauroneis salina
Gyrosigma attennatum
Surirella gemma
Galoneis formosa
Gyrosigma balticum

Begleiter:
Navicula cincta
Nitzschia epithemioides
Navicula digitoradiata
Pleurosigma aestuari
Navicula cryptocephala
Navicula pygmaea
Gyrosigma fasciola

Zur ökologischen Kennzeichnung der Massenform am Hindenburgdamm *Pleurosigma angulatum var. quadrata* schreibt BROCKMANN: „... mit *Scoliopleura tumida* zusammen Charakterform auf weichem Schlickwatt in Anlandungsräumen, hier oft bestandbildend; nimmt aber in einiger Entfernung vom Strande schnell ab. In Halligtümpeln ebenfalls häufig."

Wenden wir unsere Aufmerksamkeit nunmehr dem freien Standort am Hindenburgdamm zu und betrachten die Abbildungen 24 und 27, so liegt die große Leistung dieser winzigen Meeresorganismen klar vor unserem Auge. Fernab von den eigentlichen Landgewinnungswerken, aber im engeren Schutzbereich des Dammes haben sich die Diatomeen weithin sichtbar aktiv in den Sedimentationsvorgang eingeschaltet und in der Tat Schlickdepots größten Umfangs angelegt. Der ganze Vordergrund des Übersichtsbildes, Abbildungen 27 und 28, zeigt jung abgelagerte feinstkörnige Sedimente, die ihre Bindung an diese Örtlichkeit lediglich den an ihrer Oberfläche wuchernden Diatomeen verdanken. Ohne sie wäre das halbflüssige Sediment hier nicht gebunden worden[3]). Ob es anderswo zur Ablagerung gekommen oder aber von den folgenden Tiden wieder entführt worden wäre, soll hier nicht erörtert werden. Auch jetzt noch ist dieses Sediment außerordentlich weich und wasserhaltig, so daß man bis über die Knie, an manchen Stellen sogar bis an den Leib einsinkt. Diese selbst für das Wattenmeer ungewöhnliche „Verkehrsfeindlichkeit" erschwert natürlich die Fragestellung am

[3]) „Mit mechanischen Bewegungsvorgängen sind die Bildungsgesetze des Schlickwattes nicht erschöpft" [BROCKMANN (4a)].

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Abb. 27
Durch üppige Diatomeensiedlungen erzeugte Schlickdepots südlich vom Damm. Die stärkere Wasserbewegung in Dammnähe ist im Begriff, das biogen entstandene Tafelsystem wieder aufzulösen

Bildarchiv Nissenhaus, März 1949

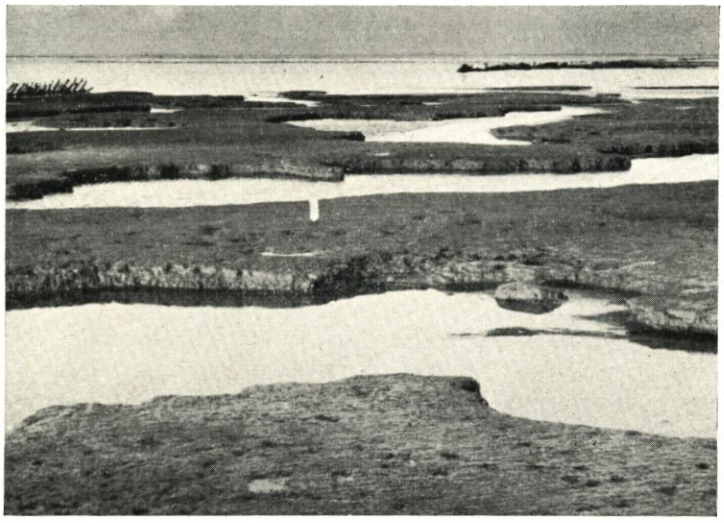


Abb. 28
Nahaufnahme von Schlicktafeln. In der Mitte eine Rotsandstation (vgl. schemat. Abb. 30)

Bildarchiv Nissenhaus, März 1949

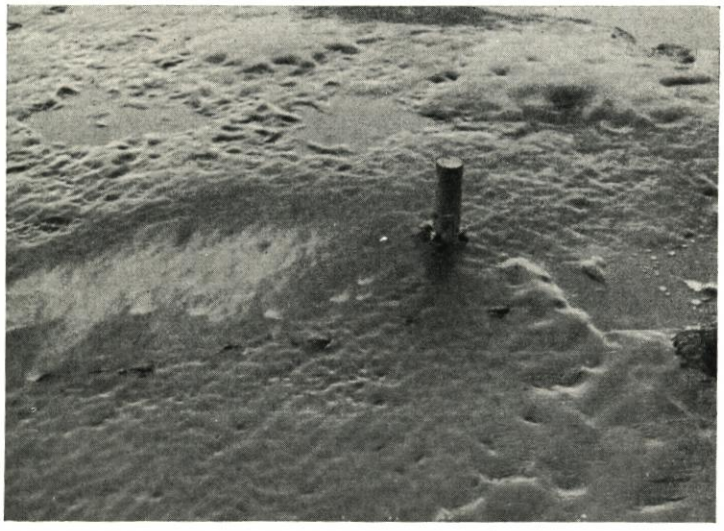


Abb. 29
Rotsandstation auf einer Schlicktafel zwecks Messung der biogenen Sedimentation. Links vom Stationsholz ist der soeben als Indikator ausgestreute rote Sand noch erkennbar (vgl. Text S. 62)

Bildarchiv Nissenhaus, März 1949
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Standort. Sie mußte aber durchgeführt werden, um einen unanfechtbaren Nachweis von der wirklichen Leistung der Diatomeen darbringen zu können.

Die folgende Aufnahme, Abbildung 28, zeigt das „Depot" aus größerer Nähe. Es handelt sich um platten- oder tafelförmige Erhebungen, die von flachen, wassergefüllten Senken unterbrochen werden. Die Höhenunterschiede zwischen Tafel und Senke bewegen sich zwischen 15 und 20 cm. Setzt im Verlauf des Aufwuchses durch unruhiges Wetter stärkere Wasserbewegung ein, Seegang oder Überströmung, dann erliegt der zarte Diatomeenrasen häufig den erodierenden Kräften (Abbildungen 27 und 28). Und wenn erst die Tafeln mit steilem Rand zur Senke abfallen und in den zum Teil abflußlosen Vertiefungen das Wasser auch während der Ebbe stehen bleibt, dann erfährt die Seitenerosion keine Unterbrechung mehr und das bei Flut über diesen Standort zum Anwachs strömende Wasser empfängt aus dieser Zone eine stetige Anreicherung mit Schlickteilen und lagert den hier zusätzlich aufgenommenen Sinkstoff in den Vorflutern und in den Grüppen der Verlandungszone ab. Bei den auf den Abbildungen erkennbaren Schlickdepots handelt es sich um Ablagerungen der Herbst- und Wintertiden 1947/48. Im Frühjahr 1948 setzte eine üppige Diatomeenwucherung ein, band die noch sehr labil gelagerten Sedimente und bestimmte dann nach erfolgter Bindung das Aussehen der Oberfläche. Auf die hohe ökologische Bedeutung des Wasserstandes im Sediment — ob wasserübersättigt oder wasseruntersättigt — ist früher bereits hingewiesen worden [THAMDRUP (57), WOHLENBERG (68)]. Auch hier im Kräftefeld der Diatomeen ist der Sättigungsgrad der Sedimentoberfläche von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der Schlickbindung. Der Diatomeenrasen vermag zwar auch unter ständiger Wasserbedeckung Sinkstoffe zu binden und unter sich zu schützen; aber seine Bindungskraft ist eine weit größere, wenn es ihm gelingt, sozusagen aus dem „Grundwasserbereich" der jungen Ablagerung herauszuwachsen und beim Trockenfallen während der Ebbe eine geschlossene Decke zu bilden und aufrecht zu erhalten.

Ist erst einmal in solch einem nährstoffreichen Watt, wie es am Hindenburgdamm vorliegt, der Diatomeenrasen bis zur zeitweiligen tidebedingten Trockenlage aufgewachsen, dann geht der Aufwuchs mit jeder Tide weiter, so daß die auf den Abbildungen 27 und 28 erkennbaren Schlicktafeln — in ihrer Ausgangssubstanz zwar auf Wintersedimente zurückgehend — danach aber ständigen Zuwachs aus den täglichen Überflutungen beziehen.

Es fehlt jetzt noch als vielleicht notwendiges Schlußglied in der Erörterung über die Leistung der Diatomeen der exakte Nachweis vom Maß des Aufwuchses.

Die Schwierigkeiten einer solchen unmittelbaren Messung am Standort im Tidebereich lagen außer in der bereits geschilderten Unwegsamkeit des allzu weichen Watts in der Erfüllung der unerläßlichen Voraussetzung, die Wattoberfläche und den darauf liegenden, leicht verletzbaren Diatomeenrasen bei der Messung nicht zu zerstören. Es galt also, jede mögliche Fehlerquelle von vornherein auszuschalten. Nach Auswahl einer beliebigen Schlicktafel wurde von der Senke her etwa ein Quadratmeter der Oberfläche mit feinem, auf chemischem Wege (vgl. methodische Einzelheiten auf S. 77) leuchtend rot gefärbten Sand bestreut. Um die mit diesem Indikator versehene Fläche nach etlichen Überflutungen wiederfinden zu können, wurde die Stelle mit einem Holzstab gekennzeichnet, der ebenfalls von der Senke her vorsichtig in die Sedimentplatte eingedrückt wurde. Auf Abbildung 28 ist der Holzpfahl in der Mitte des Bildes erkennbar, und in der Nahaufnahme (Abb. 29) zeichnet sich links vom Stationspfahl für wenige Augenblicke noch der rote Sand als hellerer Fleck gegen die olivgrüne Umgebung ab. Nach zwei Stunden war der rote Sand bereits weitgehend von den Diatomeen durchwandert und nach den folgenden Überflutungen lag er unsichtbar unter der Diatomeenhaut, so wie es jedem natürlich abgelagerten Sinkstoff auch ergangen wäre. Nach acht Tagen, das heißt nach sechzehnmaliger Überflutung wurde die Station wieder aufgesucht und die Lage der Rotsandschicht festgestellt. Stürmische Wetterlagen waren in dieser Zeit nicht eingetreten. Die Ablagerung betrug in dieser Zeit reichlich vier (!) Millimeter. Unbeantwortet bleibt jedoch die Frage, ob man berechtigt ist, aus diesen Beobachtungen schon verallgemeinernde Schlüsse zu ziehen, da Lebenserscheinungen immer sehr „individuell" sind. Diese Frage findet noch eine ergänzende Erörterung im vorletzten Absatz dieser Arbeit auf Seite 88.

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Aber eine andere Frage bedarf noch der Beantwortung. Handelt es sich bei diesem nach sechzehnmaliger Überflutung gemessenen Wert wirklich um den Sinkstoff, der vor dem Niedersinken auf den Diatomeenrasen jeweils frisch von der Tide herangeführt worden ist? Diese Frage muß verneint werden unter Hinweis auf die Morphologie des Geländes (Abb. 27, 31 und 32) und auf die zahlreichen an Ort und Stelle angestellten Beobachtungen. Selbst im Sediment stehend, wurde das Überströmen und die Tätigkeit auch der kleinsten Wellen immer wieder kritisch verfolgt und dabei festgestellt, daß der Herkunft nach zweierlei Arten von Sinkstoffen zu unterscheiden sind. Die nach Geländebeobachtungen entworfene schematische Abbildung 30 möge dies verständlich machen. Auf der Zeichnung sind die von den

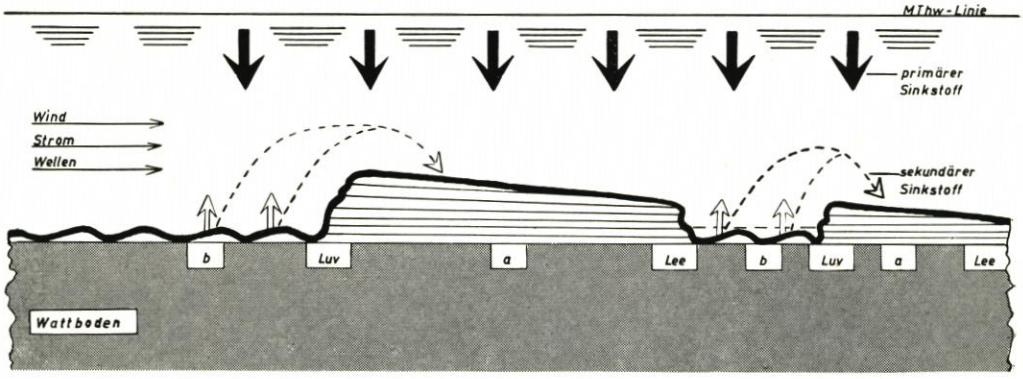


Abb. 30. Sedimentbindung am Hindenburgdamm durch Diatomeen
Oberfläche durch Erosionswirkung in Tafeln (a) und Rinnen (b) gegliedert (schematisch)
Zeichenerklärung:
geschlossene Pfeile = primäre Sedimentation.
Absinken der neuen Sinkstoffe während der Überflutung und biogene Bindung bei a
offene Pfeile = sekundäre Sedimentation,
durch Strömung und Wellen aufgewirbelte, infolge Wasserübersättigung nicht gebundene Sedimente
Erosionswirkung bei b, biogene Bindung bei a
enge waagerechte Linien bei a = Aufwuchs mit Diatomeenhorizonten und wasseruntersättigter Oberfläche, biogene Bindung der primären und sekundären Sinkstoffe
Wellenlinie und gestrichelte waagerechte Linie bei b = Tröge und Rinnen mit wasserübersättigtem Sediment, stehendes Wasser, keine Bindung der Sinkstoffe
(vgl. Abb. 28)

Abbildungen 27 und 28 bekannten Tafeln und Senken schematisch wiedergegeben. Wind, Sturm und Seegang sollen von links her über das Watt ihren Weg nehmen. Die MThw-Linie sei 50 bis 60 cm über Gelände angenommen. Die waagerecht gestrichelte Linie in den Senken zeigt das in den Vertiefungen auch während der Ebbe verbliebene Restwasser an. Das Sediment in den Senken ist infolgedessen wasserübersättigt. Durch die immer vorhandene leichte Unruhe im Wasser erhält das halbflüssige Sediment der Senken keine ausgesprochene Schichtungsstruktur. Das Sediment im Bereich der Tafeln dagegen ruht „sicher" unter der geschlossenen Diatomeendecke. Die weitere Aufmerksamkeit gelte jetzt den Pfeilen. Die senkrecht nach unten weisenden, geschlossenen Pfeile deuten den aus dem Überflutungswasser absinkenden Sinkstoff an; er sei als primärer Sinkstoff bezeichnet. Die aus den Senken nach oben weisenden offenen Pfeile sind das Zeichen für den Sinkstoff, der infolge Seegang besonders im labilgelagerten Sediment der Senken erneut aufgewirbelt wird, sich alsdann als sekundärer Sinkstoff mit dem bewegten Überflutungswasser vereinigt und schließlich in den Bereich der nach rechts gerichteten Wellenbewegung und Strömung gerät. Von dieser wird dieser „sekundäre" Sinkstoff entweder ganz fortgenommen aus dem Gebiet oder auch teilweise zu-

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Abb. 31
Die durch biogene Kräfte während 1953 aufgewachsenen Schlickflächen wurden durch die Winterfluten stark erodiert und unruhig gegliedert. Die Oberflächenstruktur geht zum Teil auf das frühere Klüftungssystem zurück

Bildarchiv Westküste, Januar 1954

Abb. 32
Seegang und Strömung haben das Relief abgehobelt. Die abgetragenen tonigen Sedimente wurden dem Anwachs zugeführt, dort endgültig gebunden oder auch in den Sinkstoffkreislauf wieder einbezogen. Man erkennt noch Spuren der früheren Trockenrisse

Bildarchiv Westküste, Januar 1954

Abb. 33
Nahaufnahme von den abgehobelten Resten der Schlicktafeln. Die Vertiefungen sind angefüllt mit unvorstellbaren Mengen der Wattschnecke *Hydrobia ulvae*, die in Lagen bis zu 10 cm Mächtigkeit zusammengeschwemmt sind und hier zum Fossil werden

Bildarchiv Westküste, Januar 1954
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

sammen mit dem „primären" Sinkstoff auf den Tafeln abgelagert und dort alsdann von den Diatomeen gebunden. Die oben gestellte Frage ist damit beantwortet, und BROCKMANNS Satz *Umlagerung und Neubildung vollziehen sich auf den Watten gleichzeitig* bestätigt (4a). Es können also der Herkunft nach zweierlei Arten von Sinkstoffen für den Aufwuchs der Diatomeensiedlung verantwortlich gemacht werden. Mit welchen Anteilen an primären und sekundären Sinkstoffen zu rechnen ist, bleibt eine Frage der Bewegungsvorgänge einerseits und des Grades der Umlagerungsbereitschaft der Sedimente in den Senken andrerseits. So zeigen zum Beispiel besonders die quer zur Überströmung liegenden Schlicktafeln an der Oberfläche stets eine Neigung von Luv nach Lee. Das bewirken aber nicht die „primären" sondern die zusätzliche Menge der „sekundären" Sinkstoffe, deren Anteil in der Luvzone naturgemäß größer ist als in der Leezone einer jeden Tafel. In manchen Fällen konnte an dem aus den Tafeln herausgestochenen Sediment (etwa 8—10 cm lange Kerne) die Beobachtung gemacht werden, daß sich beim Trocknungsvorgang Trennschichten herausbildeten. Diese waren entweder vorwiegend feinsandiger Natur oder auch der Diatomeenhorizont bildete die Trennfläche.

2. Verlandung durch Queller und Andel

Wenn die Leistung der Hauptverlandungspflanzen in dieser Arbeit nur kurz gestreift wird, dann geschieht es, weil das Verhalten beider Pflanzen im jüngeren Schrifttum ausreichend behandelt ist [NIENBURG (41); WOHLENBERG (64, 65, 69); KOLUMBE (27); LINKE (30); KÖNIG (25)]. Die anomalen Erscheinungsformen beider Gesellschaften im Anwachsgebiet des Hindenburgdammes sollen weiter unten erörtert werden.

Wenn die im vorhergehenden Abschnitt behandelte Leistung der Diatomeen sich zur Hauptsache unterhalb der eigentlichen Quellergesellschaft abspielt, so ist der Diatomeeneinfluß auch noch im eigentlichen Anwachsgebiet sehr stark erkennbar. Der im Frühjahr vom Quellerkeimling besiedelte Standort erfährt in anderen Verlandungszonen im allgemeinen keine wesentlichen Veränderungen. In der Regel kann ein nach Millimetern zählender Aufwuchs im *Salicornietum* festgestellt werden, nur in der Nähe von Prielen oder Senken mit erhöhter Wasserbewegung gelegentlich ein Abtrag. Wie in so vielen Fällen, so liegen auch auf diesem Gebiet der Veränderungen des Standortes im Laufe einer Wachstumsperiode die Verhältnisse am Hindenburgdamm anders. Die Aufwuchsgeschwindigkeit nimmt hier nicht nur im Diatomeengebiet, sondern auch in den beiden genannten Pflanzengesellschaften sehr hohe Werte an (vgl. Abb. 11, 12, 56 u. 63). So kann der durch Diatomeensiedlungen zusätzlich unterstützte Aufwuchs in der Initialphase des Quellers [WOHLENBERG (67 und 89)] im Laufe des Sommers so hoch werden, daß die einzelne Quellerpflanze im neuen Sediment zu ersticken droht. Es ist durch frühere Untersuchungen [WOHLENBERG (65)] nachgewiesen, daß der Queller nicht in der Lage ist, das über dem Keimbett sich neu ablagernde Sediment etwa durch Adventivwurzelbildung zusätzlich zu durchwurzeln oder auch zusätzlich neue grüne Sprosse zu bilden, um aus dem Sedimentzuwachs „herauszukommen", wozu ja bekanntlich *Puccinellia*, der Andel, vortrefflich in der Lage ist. Solche erstickten Quellerpflanzen konnten am Hindenburgdamm häufig festgestellt werden.

Abbildung 39 zeigt üppig entwickelte Pflanzen aus der *Salicornia*-Initialphase, deren Standort während der Vegetationsperiode noch eine Auflage von etwa 50 mm erfahren hatte. Durch kreisende, vom überströmenden Wasser verursachte Bewegung der Pflanzen hatte sich im aufgewachsenen Sediment im zentralen Umkreis der Pflanze ein Trichter gebildet. Im Gegensatz zu früheren Beobachtungen [WOHLENBERG (65), LINKE (30)] war aber nicht das Sediment des Keimbettes vom Frühjahr erodiert, sondern nur das zugewachsene. Die Diatomeensiedlungen konnten sich im Bereich der sich ständig bewegenden Quellerpflanze nicht halten und beschränkten ihre schlickbindende Tätigkeit auf das Gebiet zwischen den Pflanzen außerhalb der Drehkreise.

Die hohe sedimentbindende Kraft der Andelgesellschaft wurde auch im Gebiet des Hindenburgdammes bestätigt gefunden. Der Andel zeichnet sich vor allen Verlandungspflanzen dadurch aus, daß er das einmal „gefaßte" Sediment nicht oder doch nur sehr schwer wieder

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Abb. 34
Das wasserübersättigte Watt außerhalb der Werke südlich vom Damm. Die Winterfluten haben große Mengen von Muscheln und Tangen im Vorfeld der Landgewinnungszone zur Ablagerung gebracht

Bildarchiv Westküste 40/22, November 1936

Abb. 35
Erste Schlickablagerungen mit wasserübersättigter Oberfläche außerhalb (!) der Lahnungsfelder südlich vom Damm

Bildarchiv Westküste 40/23a, November 1936

Abb. 36
Nach dem erstmaligen Aushub der Grüppen geht die Sedimentation neuer Sinkstoffe pausenlos weiter. Hier sollte der Grüppenaushub mehrere Male im Jahr vorgenommen werden

Bildarchiv Westküste 40/26, November 1936
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

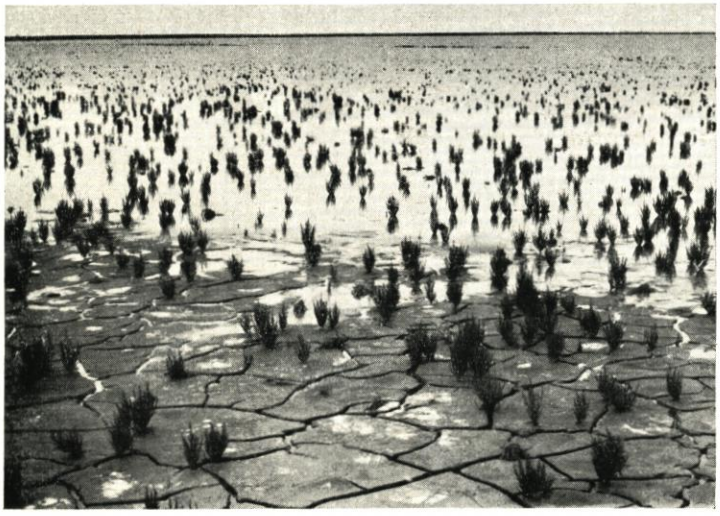


Abb. 37
Die Queller-Anfangsphase in den äußersten Werken südlich vom Damm vor dem erstmaligen Aushub der Grüppen während der Überflutung nach längerer Trockenlage

Bildarchiv Westküste, August 1953

Abb. 38
Schwundspaltenbildung durch länger ausbleibende Überflutung. An den hellen Flecken ausblühende Salze

Bildarchiv Westküste, August 1953

Abb. 39
Aufwuchs in der Quelleranfangsphase durch Mithilfe der Diatomeen. Unmittelbar um die Quellerpflanzen versagt die schlickbindende Wirkung der Diatomeen infolge fortwährender Bewegung der Quellerpflanzen

Bildarchiv Westküste 829, September 1936
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

hergibt. Das gilt sowohl von schlickigen als auch von sandigen Sedimenten. Nach neueren Untersuchungen im dänischen Wattenmeer kommt KAI HANSEN (20) zu der Feststellung, daß nur dort Schlick in größerem Umfange abgelagert wird, wo besonders die Andelgesellschaft Fuß gefaßt hat. Das stimmt am Hindenburgdamm durchaus nicht ausschließlich vom Andel. Es trifft auch nicht allgemein für die übrige deutsche Küste zu. Der Andel bindet a l l e Sedimente, sandige wie schlickige. Auf die schlickbindende Wirkung der Diatomeen, die sich noch im eigentlichen Watt, also weit unterhalb der Salzmarsch, betätigen, sei nochmals hingewiesen (vgl. S. 57 bis 64).

Während der Kriegs- und Nachkriegszeit mußten die Landgewinnungsarbeiten stark vernachlässigt werden. Auch das Anwachsgebiet am Hindenburgdamm blieb lange Jahre fast ganz sich selbst überlassen. Es kam stellenweise zu einer wilden Verlandung; Grüppen und Äcker fehlten, Diatomeen, Queller und Andel wuchsen sozusagen „ohne Führung". So entwickelten sich einzelne Puccinelliasiedlungen ganz isoliert auf eng begrenztem, in starker Erosion liegenden Raum zu allseitig steilabfallenden Turmgebilden von 40 cm Höhe. Ungeachtet der erodierenden Kräfte hatte der Andel jede Sedimentzufuhr gebunden und zäh festgehalten. In der unmittelbaren Umgebung der Andelsiedlungen erfolgte kein Aufwuchs. Damit dürfte die überragende Leistung des Andels gegenüber anderen Pflanzen veranschaulicht sein. Bei dieser Art Bindung handelt es sich nicht um die bloße Anlage eines vorübergehenden Schlickdepots wie bei den Diatomeen, sondern um Sedimente, die dem späteren Koog erhalten bleiben und durch die in späteren Jahren die Pflugschar ihre Bahnen ziehen wird.

Auf dem Lageplan, Abbildung 58, S. 79, ist die flächenmäßige Verteilung der am Anwachs beteiligten Pflanzengesellschaften wiedergegeben. Die Artenbeteiligung ist außerordentlich arm. Es ist weniger von Gesellschaften zu sprechen als eher von Monokulturen, die fast allein von *Salicornia, Suaeda* und *Puccinellia* aufgebaut werden. Hin und wieder erscheint eine *Obione portulacoides*, an zwei Stellen der Anfang einer *Spartina Townsendii*-Siedlung. Auf den hochangespülten Seegrasbeständen am Fuß des Dammes hat sich eine bunte Ruderalflora angesiedelt. Als Besonderheit muß bemerkt werden, daß sich die auf das *Puccinellietum* folgende Rotschwingelgesellschaft, das *Festucetum rubrae litor.* [CHRISTIANSEN (8)] bis heute noch nicht auf dem jungen Anwachs eingestellt hat, obwohl die absolute Höhenlage zum MThw das Gedeihen dieser Gesellschaft wohl gestatten müßte. Die Ursache für das Ausbleiben kann nicht in verbreitungsbiologischen Faktoren liegen, denn vor dem Deichfuß des Wiedingharder Kooges liegt ein schmaler Streifen des *Festucetums rubrae*, das genügend Samen abgeben könnte. Viel eher wird die unzureichende Profilgestaltung als Ursache anzusehen sein. Das *Festucetum* beansprucht nämlich eine ausgezeichnete Vorflut, d. h. eine Ackerwölbung und ein stets offenes Grüppensystem (Abb. 48, 57, A). Wahrscheinlich hat auch das A l t e r der Sedimente, in diesem Fall ihre R e i f e, für die Besiedlung mit *Festuca rubra litor.* eine entscheidende Bedeutung.

3. L a n d g e w i n n u n g s m a ß n a h m e n

a) D a s ö k o l o g i s c h e P r i n z i p d e r L a n d g e w i n n u n g

Wenn an dieser Stelle den weiteren Ausführungen über die künstlich geförderte Verlandung am Hindenburgdamm die folgenden Überlegungen vorangestellt werden, dann sind es zwei Gründe, die eine Betrachtung mehr grundsätzlicher Art notwendig erscheinen lassen.

Verlandung an der Nordseeküste ist ein biologischer Vorgang. Salz- beziehungsweise Brackwasserpflanzen haben sich in Gemeinschaft mit Wasser und Sinkstoff als die Träger und Gestalter der Verlandungsvorgänge erwiesen. Dabei ist es gleichgültig, ob Verlandung von Natur aus erfolgt oder durch Nachhilfe des Menschen. Das Alltägliche dieser Vorgänge ist allgemein bekannt. Obwohl das Schrifttum hierüber weit zurückreicht und auch an Umfang nicht gering ist, findet sie doch nirgends eine wissenschaftliche Formulierung der G r u n d i d e e als solcher. Diese hat zwei Grundlinien, von denen die eine von der Vegetation, die andere vom Wasser, und zwar vom Wasser i m Sediment gebildet wird. Die Änderung des Wassergehaltes im Sediment ändert im Watt schlagartig die Lebensbedingungen. Man kann im technischen Sprachgebrauch der Landgewinnung auch von der Änderung des „k l e i n e n W a s-

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

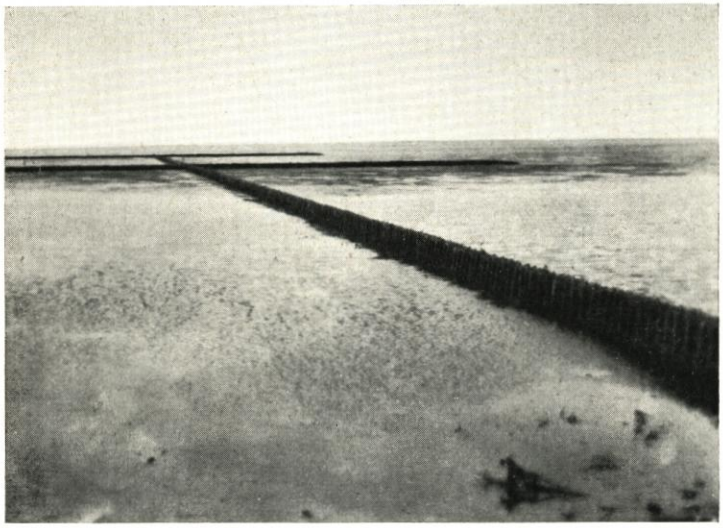


Abb. 40. Erste Lahnung bei Benninghusum, 5 km südlich vom Damm. Die Wattoberfläche ist noch im Naturzustand, wasserübersättigt
Bildarchiv Marschenbauamt Husum. Aufn. ODEFEY, 1927

Abb. 41. Dasselbe Werk wie in Abb. 40 drei Jahre später. Durch die Gliederung der Wattoberfläche (Spatenarbeit) ist aus dem vegetationslosen Watt ein *Salicornietum* mit wasseruntersättigter Oberfläche geworden
Bildarchiv Marschenbauamt Husum. Aufn. ODEFEY, 1930

serhaushalts" sprechen. Beginnt man mit dem vom Sandwurm besiedelten reinen Sandwatt, so kann hier nur eine Änderung im Sinne der späteren Verlandung eingeleitet werden, indem man durch Spatenarbeit den Grad der Wassersättigung des Sediments ändert. Das geschieht durch das Auswerfen der Grüppen. Das bis dahin tischebene, auch bei Ebbe stark wasserhaltige Watt erhält jetzt eine Oberflächengliederung; tiefgelegene Grüppen mit stark wasserhaltigem Sediment auf der einen Seite und, mit der Zeit durch Wiederholung des Grüp-

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

penaushubs, der gewölbte „Acker" auf der anderen Seite. Im Bereich des „Ackers" ist das Watt aus dem Zustand der Wasserübersättigung in den Zustand der Wasseruntersättigung übergetreten. Das ist die entscheidende Wandlung am Standort! Die Folge davon ist, daß dem Sandwurm in einem solchen wasseruntersättigten Sediment die Lebensbedingungen sehr erschwert werden [WOHLENBERG (68)]. Es siedeln sich statt seiner andere Organismen an, bis die im Zuge der Spatenarbeit gleichfalls geänderte Höhenlage des Standorts schließlich der Verlandungsvegetation die Möglichkeit der Ansiedlung und des Gedeihens gestattet (vgl. Abb. 40, 41). Der Landgewinnungstechniker weiß, daß er den Sandwurm vertreiben muß, wenn er Fortschritte sehen will. Durch seine Spatenarbeit gewinnt er Einfluß auf den „kleinen Wasserhaushalt". In der Änderung des „kleinen Wasserhaushalts", in diesem Falle in der Überführung vom wasserübersättigten Zustand in den wasseruntersättigten, haben wir somit das ökologische Grundgesetz der Landgewinnung zu sehen. Der Raum verbietet es, dieser grundlegenden Frage in ihren vielen Einzelerscheinungen weiter nachzugehen. Es wird weiter unten gezeigt, daß jeder Verstoß gegen dieses biologisch-ökologische Grundgesetz in der Landgewinnungspraxis schwerwiegende Folgen nach sich ziehen kann.

b) Grüppen und Äcker

Wie oben erwähnt, konnte schon gegen Ende der Bauarbeiten am Hindenburgdamm eine erste Anschlickung im Süden festgestellt werden [PFEIFFER und MÜGGE (44)]. Die ersten Landgewinnungswerke wurden im Jahre 1925 vom Domänen-Rent- und Bauamt in Husum errichtet. Abbildung 5 und 7 zeigen das dem Damm benachbarte Watt, wo noch keine Buschlahnungen Schutz bieten und der Queller trotzdem mit beträchtlicher Arealenergie im Vorrücken begriffen ist. In dieser Zeit ist das Lahnungssystem angelegt worden, dessen spätere Ausdehnung auf dem Lageplan, Abbildung 58, zu erkennen ist. Auf Abbildung 7 sind die ersten Grüppen erkennbar. Auch hier war als Folge des Dammes bereits dichter Quellerwuchs vorhanden, der sich nach dem Aushub der Grüppen und der damit zunächst einhergehenden Verbesserung der Wachstumsbedingungen noch dichter ansiedelte.

Nun stellte sich im Laufe der dreißiger Jahre heraus, daß der Niederschlag an neuen Sedimenten ein derartiges Ausmaß annahm, daß die Vegetation nicht mehr folgen konnte. Das war bisher von keiner Stelle der Küste bekannt geworden und bildete in der gesamten Landgewinnungspraxis eine neue Lage. Selbst *Salicornia,* an sich eine Pflanze von großer Arealenergie [WOHLENBERG (65)], war nicht in der Lage, die großen Zuwachsflächen so schnell zu besiedeln wie sie anwuchsen.

Dasselbe galt von der auf das *Salicornietum* zum Deich hin folgenden Assoziation, der Andelgesellschaft. Im Gegensatz zum Queller beruht die Inbesitznahme neuer Flächen durch das Andelgras auf vegetativen Vorgängen. Es drohte eine Leere zu entstehen, bis sich schließlich der Anwuchs doch begrünte. Was sich aber ansiedelte, war eine Art Ruderalflora. Der Meerstrandsgänsefuß, *Suaeda maritima,* und stellenweise die Melde, *Atriplex litorale,* bemächtigten sich innerhalb von zwei Jahren der gesamten Verlandungszone südlich vom Hindenburgdamm, und zwar in einer Längenausdehnung von etwa 7000 m und einer Breitenausdehnung von 4—500 m [KÖNIG (81)]. Die Abbildungen 42 bis 44 zeigen die meilenweiten *Suaeda*-Bestände. *Salicornia* war nur noch in den etwas tiefer gelegenen Grüppen zu finden, *Puccinellia maritima,* der Andel, blieb ganz aus. Als Sonnenpflanze vermochte er sich im dicht beschatteten Gebiet von *Suaeda* nicht anzusiedeln beziehungsweise war nicht in der Lage, seine schattenwüchsig lang entwickelten Sprosse auf den Boden zu senken und dort zur weiteren Bewurzelung zu bringen.

Die merkwürdige Vegetationsfolge zog bedenkliche wirtschaftliche Folgen nach sich. Erstens fanden die Außendeichschafe keine ausreichende Andelweide, zweitens kam die für die Struktur des neu anwachsenden Bodens so wertvolle Schichtung durch Andelhorizonte [WOHLENBERG (66)] nicht zur Entwicklung, und drittens war es unmöglich, in dem äußerlich so verheißungsvoll „begrünten" Gebiet etwa Rasensoden für Deichbauten beziehungsweise Deichausbesserungsarbeiten zu gewinnen.

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Abb. 42
Jungpflanzen von *Suaeda* und *Salicornia* im Wettbewerb auf dem Anwachs südlich vom Damm

Bildarchiv Westküste, Juni 1952

Abb. 43
Auf vielen Hektaren des Anwachses südlich vom Damm hatte *Suaeda* den Queller und Andel vorübergehend verdrängt und die Alleinherrschaft angetreten

Bildarchiv Westküste 835, September 1936

Abb. 44
Das Winterbild der mit *Suaeda* bestandenen Anwachsflächen. Die dürren Stengel sind von Blättern und Samen entblößt (Uhr als Maßstab)

Bildarchiv Westküste 52/7, Mai 1937
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Die Ursache für diese absonderliche Erscheinung lag in der ungewöhnlich schnellen Sedimentation und in verzögerten technischen Maßnahmen. Durch den Bau des Dammes waren schlagartig ganz neue Sedimentationsbedingungen geschaffen worden, die damals noch niemand kannte. Der Zuwachs an neuen Sedimenten erfolgte so schnell, daß die verfügbaren Landgewinnungsarbeiter nicht im entferntesten ausreichten, den Schlicksegen zu meistern. Mit anderen Worten, man war nicht in der Lage, das oben erörterte ökologische Grundgesetz der Landgewinnung im Gleichschritt des geradezu stürmischen Zuwachses zu verwirklichen. Die normalerweise alle zwei Jahre auszuhebenden Grüppen hätten hier am Damm vielleicht zwei- bis dreimal (!) im Jahr und sehr tief ausgehoben werden müssen. Dafür fehlten aber Mittel und Arbeitskräfte. Die für eine erfolgreiche Landgewinnungsarbeit so dringend erforderliche Profilgestaltung — Grüppe und Ackerwölbung — unterblieb. Die Nichtbeachtung des ökologischen Grundgesetzes zog die Störung in der sonst gewohnten Vegetationsfolge nach sich.

c) Die Profilumkehr und ihre Folgen

Aber der Verstoß gegen das ökologische Grundgesetz sollte noch bedenklichere Formen annehmen. Im Jahre 1936 blieben große Flächen des Anwachses vollkommen pflanzenleer! Dieser Alarmzustand führte noch im gleichen Jahr zu einer eingehenden Untersuchung an Ort und Stelle. Die Herbst- und Winterfluten 1935/36 hatten ungewöhnliche Mengen an Sinkstoffen am Hindenburgdamm, Nord und Süd, zur Ablagerung gebracht. Die Abbildungen 54 bis 56 lassen den von keinem anderen Küstenabschnitt bekannt gewordenen Umfang der Winterablagerung erkennen. Es liegt nicht etwa nur das bevorzugte Randgebiet einer Haupt- oder Nebenentwässerung unter dem neuen Sediment begraben, sondern riesige Flächen. Man sträubt sich, hier noch von „Sedimentation" zu sprechen. Eher wäre von einer Schlicküberschiebung in breiter Front zu sprechen. In der Bildmitte tritt noch ein kleiner Streifen der alten Oberfläche hervor, alles andere wurde unter der dickflüssigen schwarzen salbenartigen Masse begraben. Von einer Führung der Sinkstoffe durch Querentwässerung oder gar Grüppen, wie sie die Abbildung 48 so plastisch wiedergibt, kann nicht mehr die Rede sein. Das für die Gesundung des jungen Anwachses so lebensnotwendige Profil von Grüppe und Acker ist nicht mehr erkennbar. Die Aufnahme, Abbildung 56, wurde im April 1936 gemacht. Die junge *Salicornia*-Generation liegt noch im Keimstadium, kommt aber im Mai und Juni scheinbar gut zur Entwicklung. Es kommen Überflutungen und Niederschläge, die unter normalen Verhältnissen dem Quellerwachstum in keiner Weise abträglich sind. Aber das Wasser findet nur langsam zur Vorflut zurück, es bleibt länger als gewöhnlich flächenhaft zurück. Es bilden sich die ersten Anzeichen stagnierenden Wassers, wovon bekannt ist, daß es den sonst so unempfindlichen Queller nicht oder nur in Kümmerexemplaren zur Entwicklung kommen läßt [Warming (61); Wohlenberg (65 u. 69)]. Die anfangs normal herangewachsenen Quellerbestände bleiben auf weiten Flächen im Wachstum zurück, sie erreichen das Stadium der Blüte nicht mehr, und die grünen Teile fangen an zu faulen. Abbildung 51 gibt diesen ungewöhnlichen Zustand wieder. Im Vordergrund ist das oben besprochene Profil, Grüppe — gewölbter Acker, so gut wie ausgelöscht! Der anfangs dicht besetzte Standort bietet in seiner toten braunen Farbe ein trostloses Bild. Die Aufnahme stammt vom September 1936, einem Zeitpunkt, wo die Pflanzen sonst im vollen Fruchtstand zu stehen pflegen. In der Bildmitte ist eine Querentwässerung erkennbar. Von hier bis in den Hintergrund des Bildes ist das Grüppensystem in beispielhafter Ordnung. Im Gegensatz zum Vordergrund ist das Profil dort aufrechterhalten. Infolgedessen macht die an sich gleiche Vegetation wie im Vordergrund des Bildes hier einen üppigen und gesunden Eindruck.

Gleich trostlose Erscheinungen wurden in Gebieten festgestellt, wo die Grüppen buchstäblich übervoll mit jungem Sediment angefüllt waren. Durch die Leistung der Diatomeen ist in diesen Grüppen der Schlick höher (!) aufgewachsen als die links und rechts von der Grüppe liegenden Äcker, die schon mit *Salicornia* dicht bestanden waren. Auf Abbildung 52 vom Dezember 1936 wird das Ausheben einer solchen übervollen Grüppe gerade vorgenommen und Abbildung 53 zeigt den massigen, ganz undifferenzierten Aufbau des Sediments

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Abb. 45
Die Andelsiedlungen schieben sich polsterförmig in den noch vegetationslosen Bereich der mit neuem Schlick angefüllten Grüppen vor

Bildarchiv Nissenhaus, Mai 1948

Abb. 46
Die bei ihrer Errichtung das Watt um 1,00 m überragende Lahnung ist vollkommen verlandet und liegt unter den jungen Ablagerungen begraben

Bildarchiv Westküste 140/13, August 1940

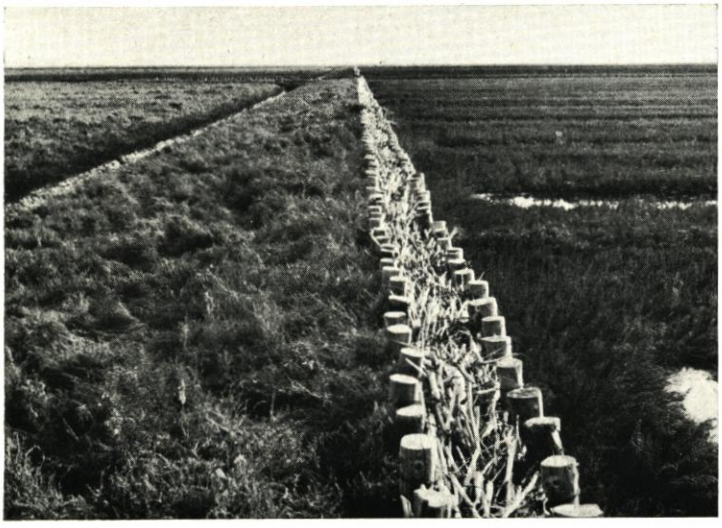


Abb. 47
Lahnung südlich vom Damm trennt die höher gelegene Andel- und *Suaeda*-Gesellschaft (links) von dem noch tiefer liegenden *Salicornietum* (rechts)

Bildarchiv Westküste 76/31a, September 1937
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

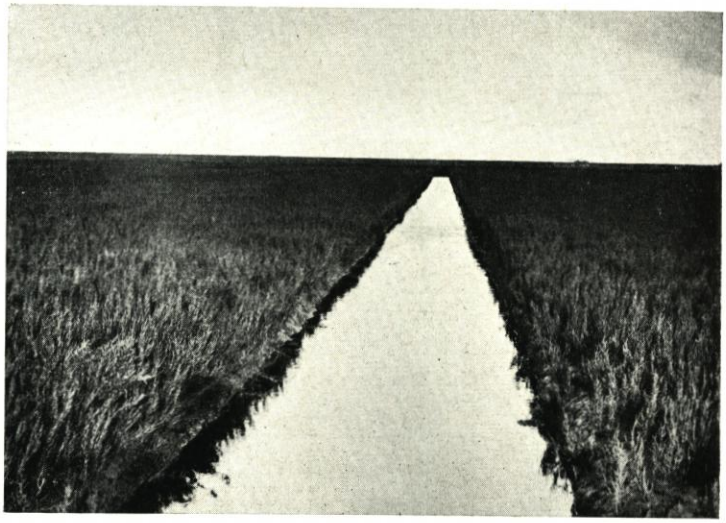


Abb. 48
Vorschriftsmäßige Grüppe, gesundes optimales *Salicornietum*, Normalprofil der Landgewinnung
(vgl. schemat. Abb. 57, A)

Bildarchiv Westküste 838, September 1936

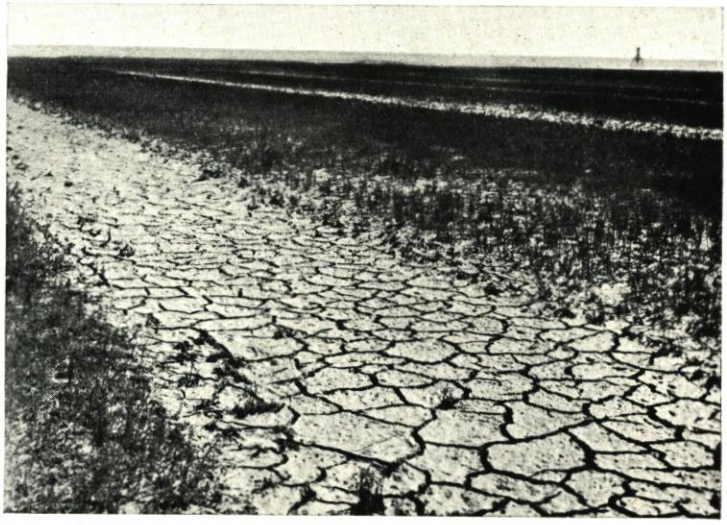


Abb. 49
Starke Sedimentation südlich vom Damm. Grüppen und Ackeroberfläche liegen in einer Ebene. Das Landgewinnungsprofil ist ausgelöscht
(vgl. schemat. Abb. 57, B)

Bildarchiv Westküste 784, April 1936

Abb. 50
Überfüllte Grüppe. Im Hintergrund der Damm. Die Grüppenoberfläche liegt höher als der Acker, also Profilumkehr
(vgl. schemat. Abb. 57, C)

Bildarchiv Westküste 42/10a, September 1936
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

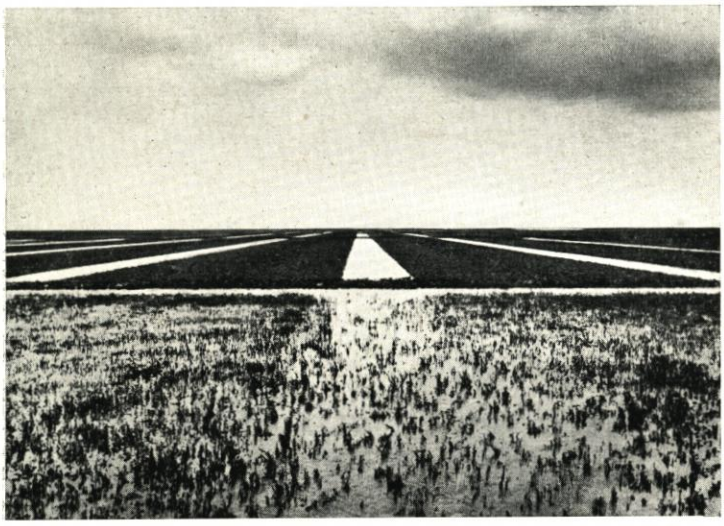


Abb. 51
Vordergrund:
Ausgelöschtes Profil, erkrankte Verlandungsvegetation durch gestörten Wasserhaushalt.
Hintergrund:
Gepflegtes Normalprofil, gute Vorflut. Gesunde und optimale Quellerentwicklung (vgl. Abb. 57, A und B)

Bildarchiv Westküste 839, September 1936

Abb. 52
Das Ausheben der Grüppen hätte zu einem weit früheren Zeitpunkt erfolgen müssen

Bildarchiv Westküste 42/6a, Dezember 1936

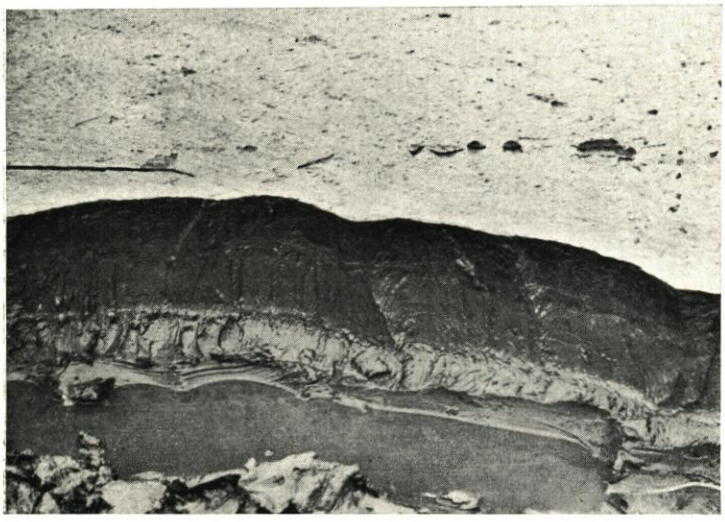


Abb. 53
Man erkennt im Grüppenprofil nur drei Zonen: den helleren feinsandigen Untergrund und darüber zwei mächtige Schlickbänke, die ihren schnellen Aufwuchs einer dichten Diatomeensiedlung verdanken. Sandige Sturmflutschichten sind nicht nachweisbar

Bildarchiv Westküste 42/45a, Dezember 1936
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Abb. 54
Sturmflutablagerungen südlich vom Damm. Das *Salicornietum* ist im Begriff, erstickt zu werden

Bildarchiv Nissenhaus, März 1949

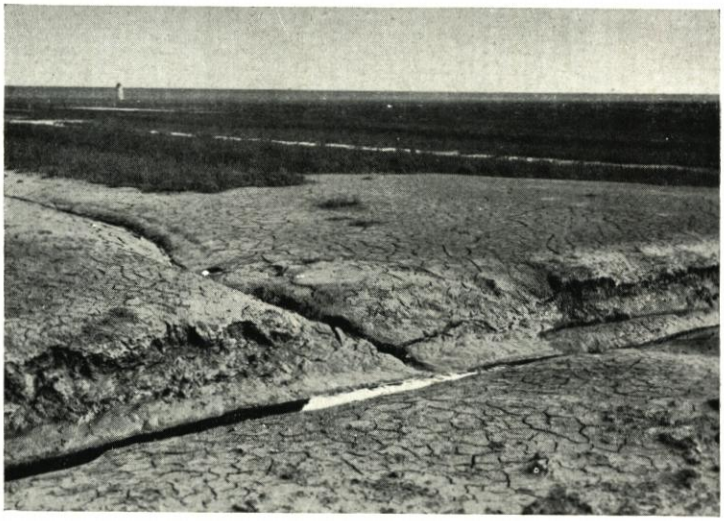


Abb. 55
Sekundäre Sedimentation im Bereich der Querentwässerung. Die in der Querentwässerung vorübergehend angesammelten Schlickmassen wurden während der Sturmtide auf die Randflächen der Äcker befördert

Bildarchiv Westküste 786, April 1936

Abb. 56
Großräumige Massensedimentation südlich des Dammes. Alle Grüppen- und Ackerprofile sind ausgelöscht. Der Standort bedarf der Neubesiedlung

Bildarchiv Westküste 785, April 1936
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

in der Grüppe. Die Oberfläche ist mit einem Diatomeenrasen bedeckt, der die niederfallenden Sinkstoffe so wirkungsvoll gebunden hat.

Auf Abbildung 50 ist unschwer zu erkennen, daß die Ackeroberfläche tiefer liegt als die mit fettem Schlick gefüllte Grüppe. Hier kann also schon nicht mehr die Rede sein von einem ausgelöschten Profil, hier liegt sogar eine Umkehr des Profils vor. Nach Überflutungen oder nach starken Niederschlägen fehlt den mit Vegetation bestandenen Äckern die Vorflut. Aus den Grüppen, die der Entwässerung der Äcker dienen sollten, sind wasserundurchlässige „Wälle" geworden. Eine widersinnige Entwicklung hat Platz gegriffen und ist im Begriff, den Boden zu vergiften. Die pH-Werte waren bereits auf pH 5—6 gesunken, so daß schnelle Abhilfe notwendig wurde. Die Gebiete sind alsdann ausgiebig begrüppelt worden, so daß in den folgenden Jahren das Normalprofil wieder hergestellt werden konnte. Die Erkrankungserscheinungen gehörten damit auch bald der Vergangenheit an und die nachfolgende Andelgeneration schickte sich an, das ihr längst zustehende Gebiet zu besiedeln.

Geblieben ist mit dieser neuen Erfahrung in alter Praxis die Mahnung, das ökologische Prinzip der Landgewinnung stets als ein hohes Gesetz zu achten. An anderen, mehr sandigen Küstenabschnitten mag die vorübergehende zwangsläufige Nichtbeachtung nicht so schwerwiegende Folgen haben wie hier im Raume Hindenburgdamm mit dem allzu einseitigen Aufbau der jungen Sedimente; aber vernachlässigt werden darf das ökologische Prinzip auch nicht in Sandmarschen. Es fordert allgemeine und sorgfältige Beachtung.

Angesichts der entscheidenden Bedeutung des Grundgesetzes für die Praxis der Landgewinnung möge die schematische Zeichnung (Abb. 57 auf Seite 78) das geschriebene Wort und die Abbildung 48 bis 53 noch ergänzen.

4. Das Maß des Aufwuchses

Die Höhenlage des Anwachses ist mehrfach durch Nivellement festgestellt worden. Lag die alte Wattoberfläche zur Zeit der Errichtung des Dammes vor dem Seedeich bei einer durchschnittlichen Höhenlage von rund + 0,00 bis + 0,60 m NN, so zeigen die Höhenlinien auf dem Lageplan, Abbildung 58, heute eine durchschnittliche Höhe von + 0,70 bis + 1,60 m NN an.

a. Die Indikatormethode

Außer diesem Gesamtaufmaß liegt eine große Anzahl Aufwuchsmessungen auf indikatorischer Grundlage vor. Sie geben einen aufschlußreichen Einblick in die mehr individuellen Aufwuchserscheinungen innerhalb der Pflanzengesellschaften. Wozu die Diatomeengesellschaft in der Lage ist, wurde bereits ausführlich dargestellt (vgl. S. 57 bis 65). Die folgenden Ausführungen befassen sich mit dem Maß der Ablagerungen in der Queller- und Andelgesellschaft, und zwar erfolgte der Nachweis wie die bei den Diatomeen (vgl. S. 62) mit rot gefärbtem Sand als Indikator.

Gelegentlich eines kurzen Gastaufenthaltes im Skallinglaboratorium an der jütländischen Westküste bei Herrn Professor Dr. Niels Nielsen im Sommer des Jahres 1934 konnte die von Nielsen zuerst in Anwendung gebrachte Rotsandmethode unter seiner persönlichen Führung im Gelände der Skalling-Halbinsel in Augenschein genommen werden [Nielsen (40)]. Reiner Dünensand mittelfeiner Körnung wurde mit einer Lösung von Sudanrot (in Benzol gelöst) gefärbt und nach dem Trocknen als Indikator auf eine durch einen Pfahl markierte Fläche in einer bestimmten Pflanzengesellschaft ausgestreut. Durch dieses Verfahren wurde mittels des gefärbten Sandes die augenblickliche Höhenlage des Standorts fixiert. Brachten die Fluten nun neue Ablagerungen, so legten sich diese auch auf den roten Sand. Während jede andere Trennschicht, etwa ein Cellophanblatt oder eine Blechplatte, stets als Fremdkörper wirken würde, hat der rote Sand selbst die Eigenschaften eines echten Sediments, wird also den natürlichen Sedimentationsvorgang nicht stören. Noch während der Assistententätigkeit des Verfassers an der Staatlichen Biologischen Anstalt Helgoland konnten die ersten Rotsandprofile auch an der deutschen Küste angelegt werden (1933), und nach Aufbau und Übernahme der wissenschaftlichen Untersuchungen an der neu errichteten Forschungsstelle Westküste fand das Rotsandverfahren eine breite Anwendung entlang der ganzen schleswig-holsteinischen Westküste.

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

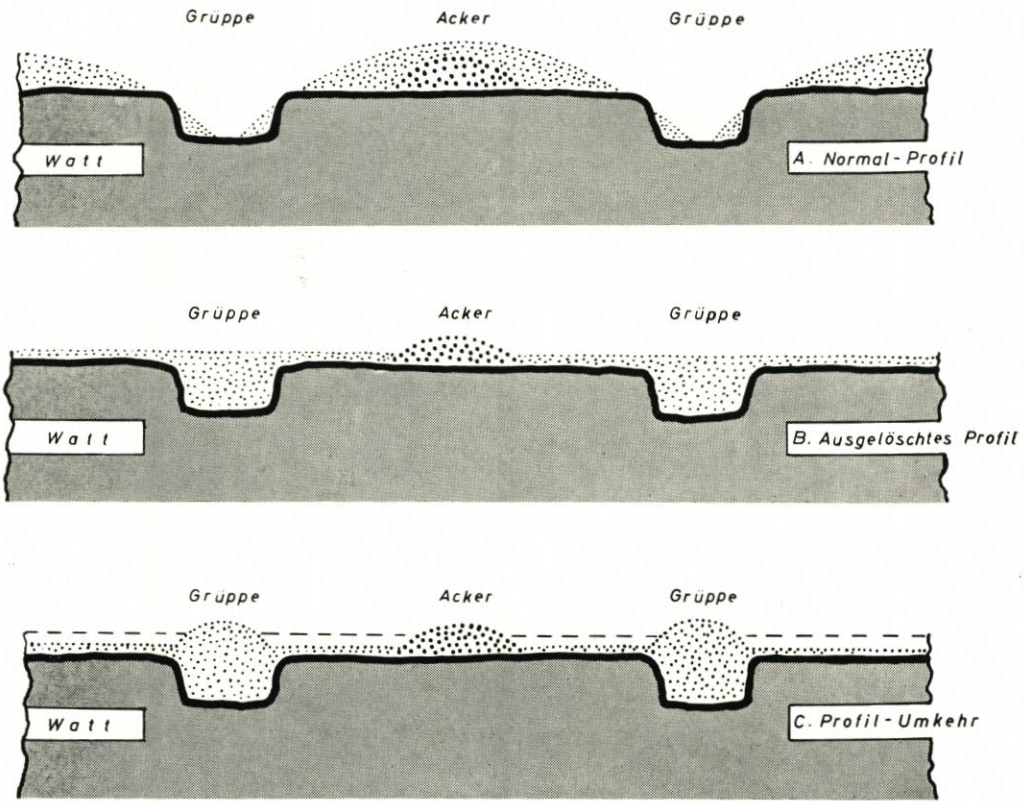


Abb. 57. Landgewinnungsprofile am Hindenburgdamm (schematisch)

A = Das Normalprofil als ökologische Grundidee der Landgewinnung, die „Vorflut" ist in Ordnung

B = Das ausgelöschte Profil
Durch ungewöhnlich starke Sedimentation und Ausbleiben der termingerechten Begrüppelung wird der „kleine Wasserhaushalt" und als Folge davon die Pflanzengesellschaftsfolge gestört

C = Die Profilumkehr
Der Aufwuchs in der Grüppe (Diatomeenwirkung) überragt den Acker. Die „Vorflut" ist aufgehoben. Überflutungs- und Niederschlagswasser finden keinen Abfluß mehr (gestrichelte waagerechte Linie); es kommt zur Stagnation, die Pflanzendecke des Ackers stirbt ab
(vgl. zu A: Abb. 48, zu B: Abb. 49, zu C: Abb. 50)

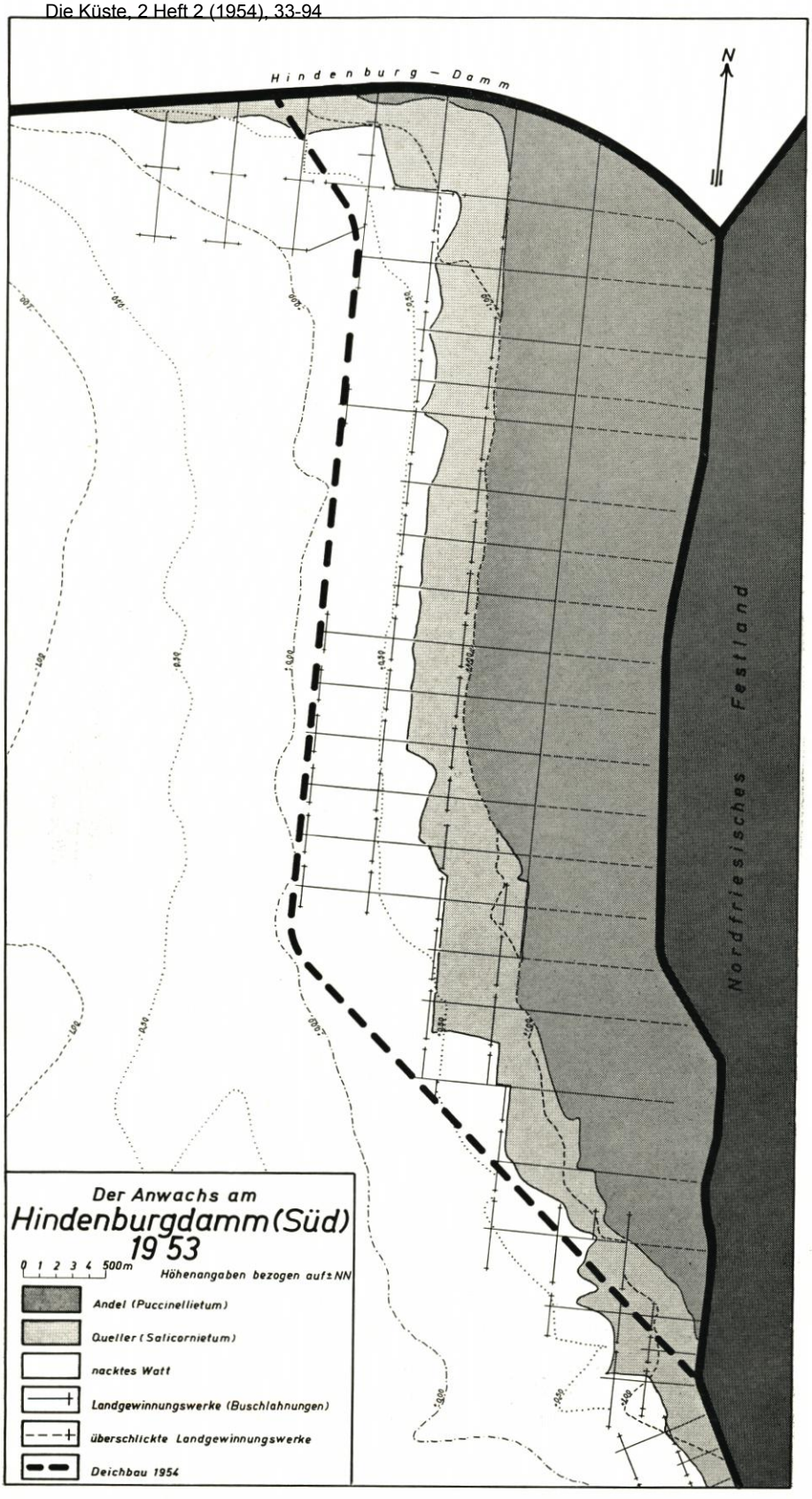
b. Die Ablagerungen 1935 bis 1937

Die übermäßig starke Sedimentation des Winters 1935/36 (vgl. Abb. 55, 56), die das Quellerkeimbett vom Herbst 1935 so hoch überlagert hatte, daß die Neubesiedlung an diesen Stellen praktisch ausblieb, gab den Anlaß, auch das Gebiet südlich und nördlich vom Hindenburgdamm mit einer größeren Anzahl von Rotsandstationen zu belegen, um 1. über

---

Abb. 58 (nächste Seite). Das Anwachsgebiet südlich vom Hindenburgdamm mit Landgewinnungswerken und Höhenlinien bezogen auf NN (MThw = + 1,10 NN)
Das hell gerasterte Gebiet = *Salicornietum* (Quellergesellschaft), das dunkler gerasterte Gebiet = *Puccinellietum* (Andelgesellschaft). Die grob gestrichelte Linie gibt die Lage des zur Zeit im Bau befindlichen Seedeiches an. Die weiße Fläche innerhalb der neuen Deichlinie stellt das noch vegetationslose Watt, die schwarze Fläche am rechten Bildrand die bedeichte Festlandsmarsch dar.

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94



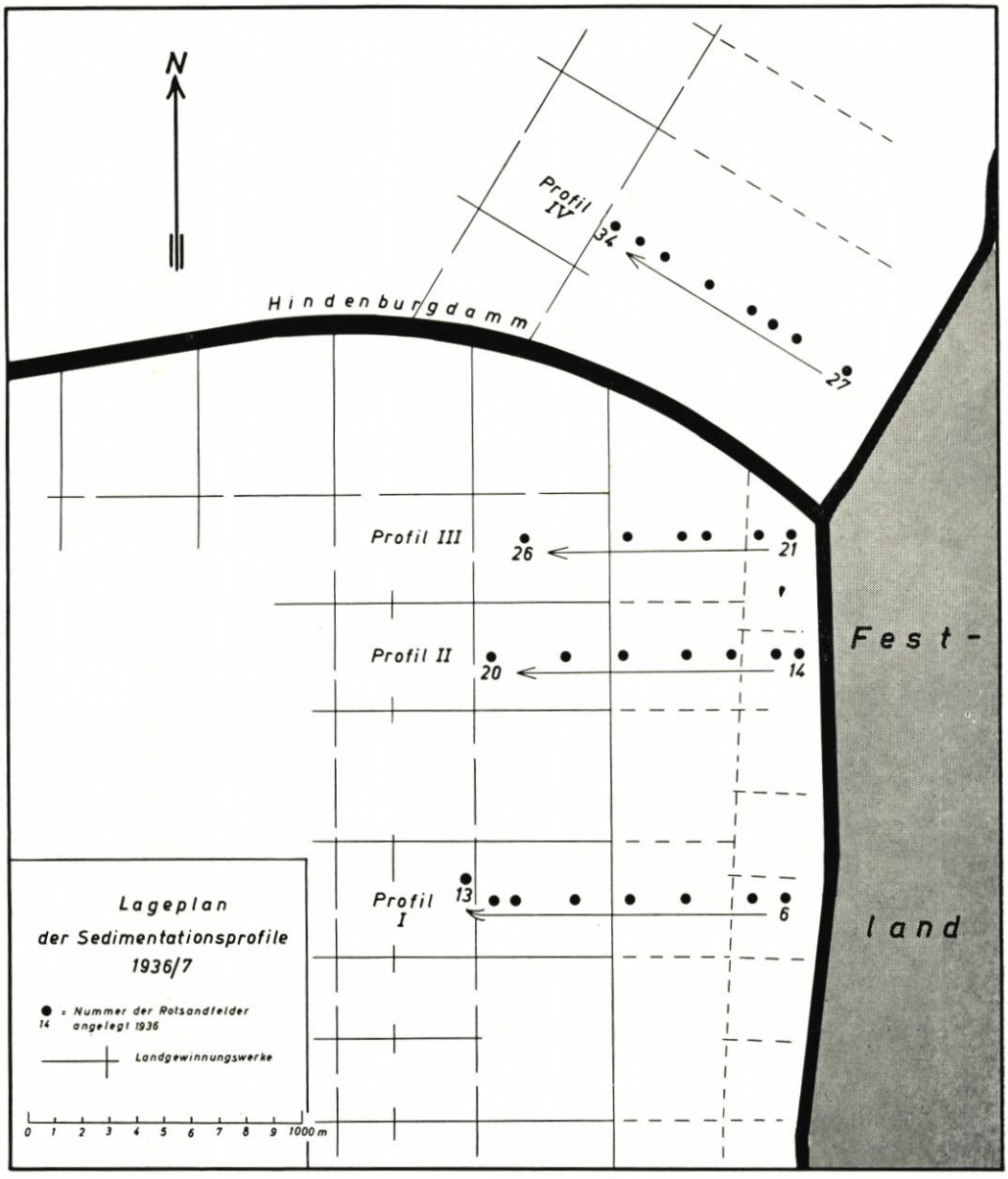


Abb. 59. Die Lage der Rotsandprofile am Hindenburgdamm 1936 bis 1937

das Maß der Anschlickung in einer bestimmten Zeit, 2. über die Zusammensetzung der neuen Ablagerungen und 3. über den Einflußbereich des Dammes nach Süden und Norden Auskunft zu erhalten. Noch im September 1936 wurden vier Profile mit rotem Sand südlich und ein Profil nördlich des Dammes angelegt. Aus dem Lageplan, Abbildung 59, ist Lage und Anordnung der Profile „Wiedingharde I—IV" zu ersehen, I—III liegen südlich, IV nördlich. Das fünfte, Horsbüll I, liegt außerhalb des Lageplans, etwa drei Kilometer südlich von Profil I. Die Profile verlaufen senkrecht zum Wiedingharder Deich und durchweg parallel zum Hindenburgdamm. Sie durchlaufen mit einer Länge von 1200 m alle Zonen

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Abb. 60
Rotsandstation in der Queller-Anfangsphase (Station Nr. 34, vgl. schemat. Abb. 59 u. 63)

Bildarchiv Westküste 63/30, Juli 1937

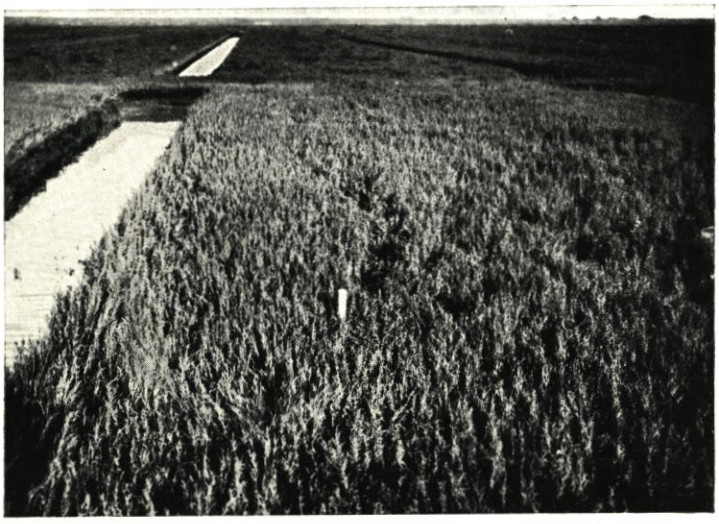


Abb. 61
Rotsandstation in der Queller-Optimalphase (Profil IV, Station Nr. 31, vgl. schemat. Abb. 59 u. 63)

Bildarchiv Westküste 840, September 1936

Abb. 62
Aufschlickung eines Winters. Aufgrabung in der Rotsandstation Nr. 32 vom Profil IV (vgl. schemat. Abb. 59). In 60 mm Tiefe liegt der rote Sand (siehe weiße Papiermarke; Uhr als Maßstab)

Bildarchiv Westküste 63/32a, Juli 1937
Aufnahmen: E. WOHLENBERG

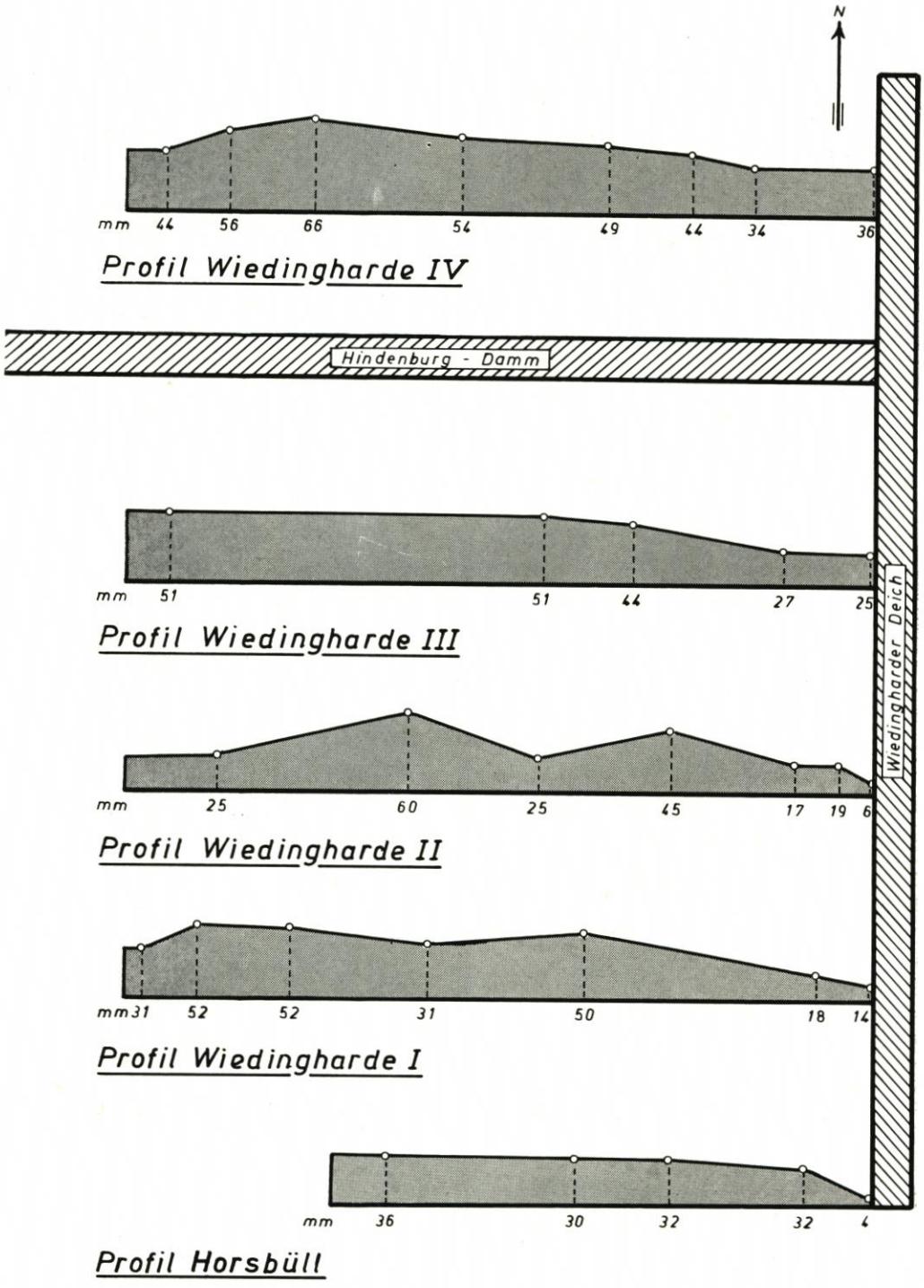


Abb. 63. Neuablagerung am Hindenburgdamm nach den Herbst- und Winterfluten 1936 bis 1937. Länge der Profile (bis auf Profil Horsbüll) 1200 m. Die Zahlen geben das Maß der Aufschlickung in Millimetern an (vgl. Abb. 59)

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

des Anwachses vom Deichfuß beziehungsweise höheren alten Vorland bis hinunter in die äußersten Quellerzonen. Die Profile wurden mit insgesamt 34 Rotsandfeldern besetzt. Der Abstand der einzelnen Meßstationen richtete sich nach dem jeweiligen Vegetationstyp. Einen Monat nach dem Ausstreuen des Sandes wurde die Westküste von zwei schweren Sturmfluten, am 18. und am 27. Oktober 1936, heimgesucht. Von den im September 1936 ausgelegten 34 Stationen waren im nächsten Jahr, Juli 1937, 32 einwandfrei prüfbar, die restlichen zwei (Meßstation 13 und 25) waren durch Eisgang zerstört und fielen dadurch in der Meßreihe aus. Die Abbildungen 60 und 62 zeigen als Beispiel die Meßstation 32. In der Nähe des auf der Abbildung 60 erkennbaren Stationspfahles wurde im September 1936 der rote Sand ausgestreut. Der rote Horizont wurde im Jahre 1937 in 60 mm Tiefe des bereits stichfesten Bodens wiedergefunden. Auf der Abbildung 62 ist die Lage des roten Sandes durch den an der Wand der Aufgrabung angebrachten weißen Papierstreifen kenntlich gemacht.

Die Wiedergabe der auf den 32 Stationen gemessenen Werte erfolgt der Kürze und des besseren Vergleichs halber auf graphischem Wege (Abb. 59 und 63). Hier ist der Wiedingharder Deich am rechtseitigen Rand angedeutet, der Hindenburgdamm senkrecht dazu westwärts weisend. Die gefundenen Werte der auf dem roten Sand abgelagerten Schlickschicht sind unter der jeweiligen Meßstation vermerkt. Die neuen Ablagerungen bestehen aus allerfeinstem Schlick, die Trennschicht des rotgefärbten Sandes wirkt dagegen im Mikroskop wie ein grober Blockhorizont. Der schematischen Wiedergabe (Abb. 63) it folgendes zu entnehmen:

1. Die Sturmfluten des Winters 1936/37 haben im Gegensatz zu den Ablagerungen an anderen deutschen Küstenabschnitten k e i n e n Sand gebracht, sondern zum alten Schlick neues feinstes Sediment, das einige dünne Lamellen aus Schluff enthält, hinzugefügt.
2. Die Werte in der Nähe des Deiches bestätigen die dem Landgewinnungspraktiker bekannte Regel, daß die deichnahen Flächen spärlicher mit neuem Sediment bedacht werden als die weiter draußen liegenden.
3. Das Profil Wiedingharde IV, nördlich vom Damm, zeigt sogar noch höhere Werte als die südlich vom Damm angelegten Meßstationen; bisher wurde immer vermutet, daß der Aufwuchs im Norden geringer sei als im Süden.
4. Das im Süden angelegte Profil „Horsbüll" zeigt zwar noch sehr hohe, aber doch geringere Werte als die Stationen im engeren Bereich des Dammes.
5. Alle gefundenen Werte lassen das bisher aus deutschen Anwachsgebieten bekannte Maß weit hinter sich. Das für eine bestimmte Zeitdauer ermittelte Durchschnittsmaß an unserer Küste wird durchweg um den zehnfachen (!) Betrag übertroffen.

Wie bereits weiter oben erwähnt, ist das Herkunftsgebiet dieses reichen Materials in den sich immer tiefer in den Sockel des Wattenmeeres einschneidenden Prielen zu suchen. Der die Süd-Nordströmung abriegelnde Damm bewirkt dann bezüglich der vom Wasser herangetragenen Sinkstoffe eine spontan ausgelöste „Fällung" der Schlickteilchen. Es handelt sich jedoch nicht um eine durch chemische Umsetzung herbeigeführte Fällung oder gar Ausflockung, sondern um einen rein physikalischen Vorgang, wie ja überhaupt der Übergang vom Sinkstoff zum Sediment im freien Wattenmeer in erster Linie von physikalischen und biologischen Kräften getragen wird. Erst in der Brackwasserzone der Flußmündungen dürfen wir der auf chemische Kräfte zurückgehenden Ausflockung eine gewisse Bedeutung beimessen. Nach dem Dammbau wurden bekanntlich die Landgewinnungswerke als Folgemaßnahmen in den Landgewinnungsprozeß eingeschaltet. Sie erst beseitigten auf den weiten Flächen Willkür und Zufälligkeit bei der natürlichen Verteilung der Sinkstoffe, und ihre planvolle Anlage und sorgfältige Betreuung mit dem Spaten bereiten die Vorstufe des späteren Kulturbodens.

c. E r s t e B e d e i c h u n g s p l ä n e

Auf Grund dieser Meßreihe wurde schon damals vermutet, daß die unwahrscheinlich anmutenden Sedimentationswerte der Jahr 1935—37 nicht als Einzelerscheinungen und Aus-

nahmen zu werten seien, sondern möglicherweise als Norm für das Ablagerungsgebiet am Hindenburgdamm.

Es wurde daher schon damals in den amtlichen Berichten der Deichbau gefordert, um durch Ziehung einer neuen Deichlinie weiteren Aufwuchs an solch schweren Sinkstoffen zu unterbinden [IWERSEN (79), WOHLENBERG (88 u. 90)]. Und zwar erfolgte diese Forderung aus zwei Gründen:

1. den neu zu gewinnenden Koog bodenmäßig gesehen nicht noch schwerer werden zu lassen und
2. der Vergeudung an wertvollen Sinkstoffen, die nach IWERSEN (24) in noch größerem Maße als schon vorhanden nicht mehr benötigt werden, Einhalt zu gebieten.

In dem Bericht des Verfassers vom Jahre 1936 heißt es wörtlich:

„Die biologisch und bodenkundlich begründeten Erwägungen bestimmen eindeutig die örtliche Linienführung des neuen Deiches. Der Deich muß soweit vorgelegt werden, daß das von ihm umschlossene Gebiet diejenigen Flächen enthält, die keinerlei Verbesserung durch weitere Überschlickung mit feinsten Stoffen erfahren können und andererseits diejenigen Wattflächen außerhalb der Deichlinie verbleiben, deren Zustand durch neuartige, von den bisherigen Arbeitsmethoden abweichende Maßnahmen gehoben und normal gestaltet werden kann" [WOHLENBERG(88)].

Da eine Gesamtbedeichung keine Zustimmung fand, wurde ein Versuchskoog im südlichen Winkel des Hindenburgdammes gefordert [IWERSEN und WOHLENBERG (90)]. Kurz vor Ausbruch des zweiten Weltkrieges trat man schließlich doch dem Plan der Hauptbedeichung südlich des Dammes näher. Die ersten Vorbereitungen kamen jedoch durch den Ausbruch des Krieges gleich zum Erliegen.

Nach Kriegsende tauchte der Bedeichungsplan gebieterischer denn je wieder auf, aber der Notzustand der übrigen deutschen Marschenküste war durch die kriegsbedingte Stillegung sämtlicher Küstenschutzarbeiten so groß geworden, daß die Abwendung drohender Gefahren an anderen Küstenabschnitten den Bedeichungsplan abermals zurückdrängte.

d. Die Weiterentwicklung des Anwachses nach dem Kriege

Während der Kriegs- und Nachkriegsjahre nahm die ungewöhnliche Sedimentation am Hindenburgdamm ihren Fortgang. Unmittelbar am Damm haben die pausenlosen Anschwemmungen von Tang und Seegras das Gelände so weit erhöht, daß die ersten Pflanzen einer Süßgraswiese anzutreffen sind. Ansteigend zum Dammfuß hin wurde folgendes Artenbild festgestellt:

Queller *(Salicornia herbacea stricta)*
Andel *(Puccinellia maritima)*
Gänsefuß *(Suaeda maritima)*
Strandrotschwingel *(Festuca rubra litoralis)*
Salzquecke *(Triticum acutum)*
Strandwermut *(Artemisia maritima)*
Straußgras *(Agrostis stolonifera)*
Geknieter Fuchsschwanz *(Alopecurus geniculatus)*
Melde *(Atriplex litorale)*
Wiesenrispengras *(Poa pratensis)*

Vom Wermut ab beginnt die Aussüßung, die bei der Wiesenrispe praktisch geschehen ist.

Die tiefer liegende Andelwiese hat sich gegenüber der Vorkriegszeit wesentlich gebessert. Die inzwischen durchgeführte Begrüppelung führte allmählich zu einem Abklingen der *Suaeda*-Bestände (vgl. Abb. 42 bis 44 auf S. 71), so daß jetzt der Andel sich ausbreiten und endlich das Gebiet besiedeln konnte, das ihm bisher durch den dicht geschlossenen *Suaeda*-Bestand verwehrt war. Die damit einhergehende Beweidung durch Schafe hat nunmehr einen Anwachs von nahezu normaler Pflanzendecke heranwachsen lassen. In der tiefer liegenden Zone ist der Andel auch heute noch nicht in der Lage, das ihm entsprechend der Höhenlage zum MThw zustehende Gebiet restlos zu besiedeln. Das kriegsbedingte Ausbleiben der Spatenarbeit hatte zu einer sozusagen „wilden" Verlandung geführt. Hier könnte

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

bei nachgeholter Profilgestaltung (Grüppe — Acker, vgl. das ökologische Grundgesetz, Seite 68) längst eine geschlossene Andeldecke den Standort schützen und Schafe ernähren.

Was soeben von der Andelzone gesagt wurde, trifft im Grunde auch für die noch tiefer gelegene Quellerzone zu. Der Gebietszuwachs dieser Pflanze steht und fällt mit der Profilgestaltung, also mit der Anlage und laufenden Betreuung von Grüppe und Acker. Der Höhenlage nach könnte heute ein wesentlich breiterer Gürtel von *Salicornia* vor der Küste liegen. Die Versorgung mit Quellersamen geht zum Teil auch vor sich, denn in den ersten Monaten nach der Keimung findet man große Bestände an Keimlingen. Aber die Ablagerungen sind so weich, so an Wasser übersättigt, daß die Quellerpflanzen beim Heranwachsen

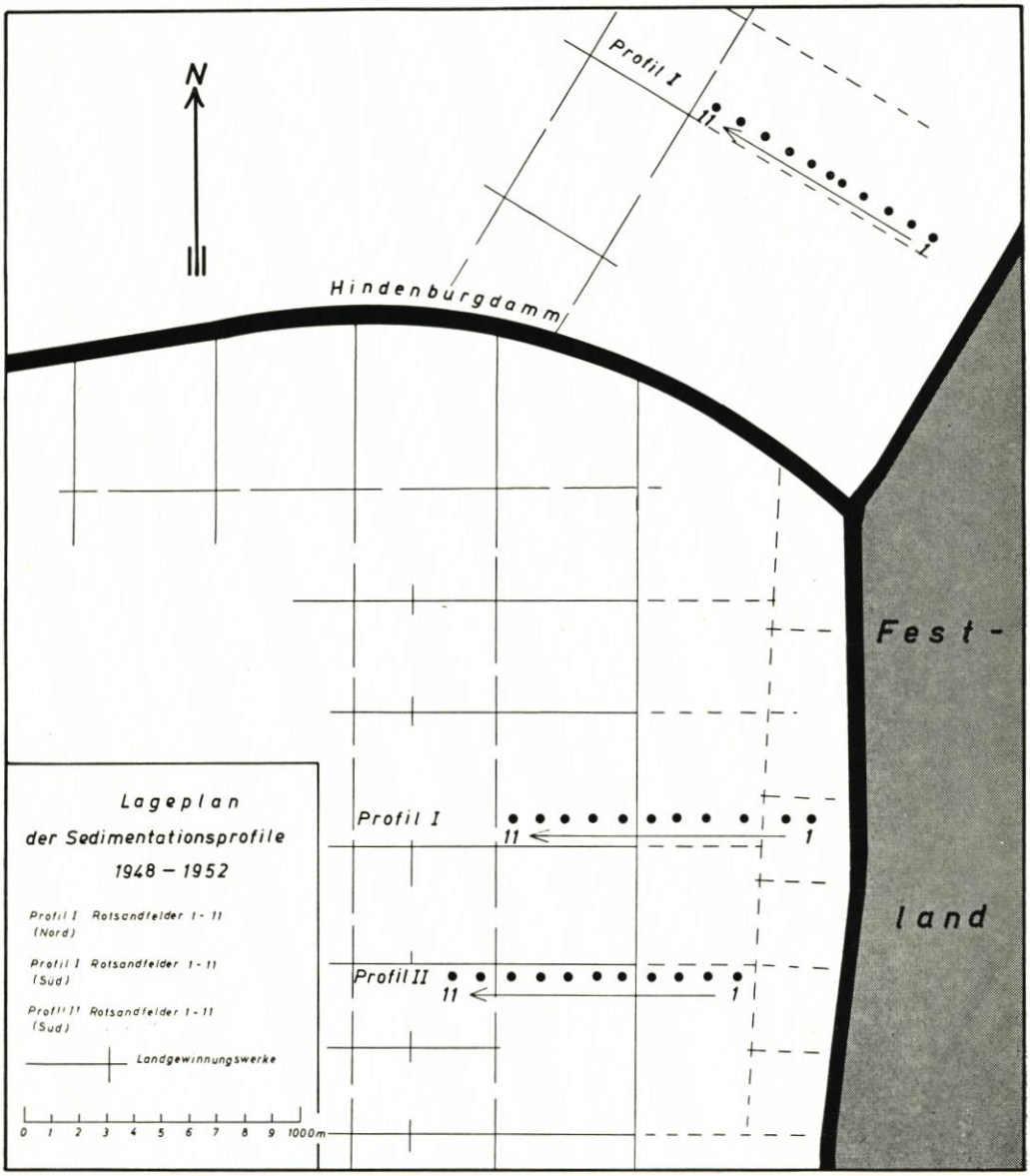


Abb. 64. Die Lage der Rotsandprofile am Hindenburgdamm 1948 bis 1952

in dem jungen, halbflüssigen Sediment nicht genügend Halt finden. Sie legen sich schon im frühen Entwicklungsstadium auf die Seite, so daß Atmung und Assimilation der grünen Sprosse durch angelagerten Schlick unterbunden werden und die jungen Pflanzen bald eingehen. Hiergegen hilft nur intensive und sorgfältige Spatenarbeit, die Ordnung des kleinen Wasserhaushaltes. Gerade diese feinen Sedimente am Hindenburgdamm bedürfen der frühzeitigen Durchwurzelung, d. h. der biologischen und damit einhergehenden chemischen Aufschließung. Was nämlich in dieser Hinsicht v o r der Bedeichung von den natürlichen Kräften geleistet wird, das ist nach der Bedeichung das „erste Gold" des Siedlers.

e. Die Ablagerungen 1947 bis 1952

Rückblickend auf die ersten Sedimentationskontrollen 1935—37, erhebt sich die Frage: Was hat sich nach der kriegsbedingten Unterbrechung der Landgewinnungs- und Forschungsarbeit zugetragen? Trotz erschwerter Arbeitsbedingungen während der Nachkriegszeit nahm

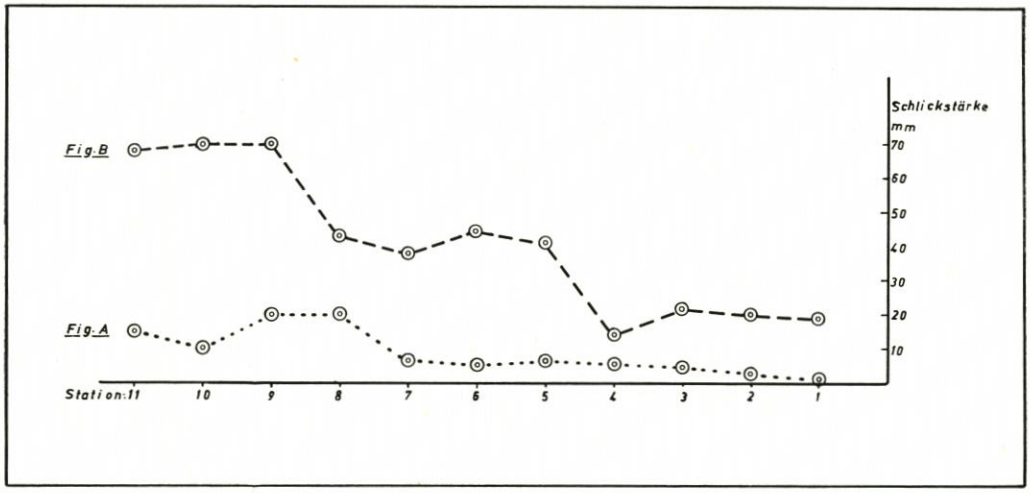


Abb. 65. Neuablagerungen südlich vom Hindenburgdamm nach zwei Ablesungen am Profil I (Lageplan, Abb. 64). Anlage der Rotsandstationen am 6. Oktober 1950
Fig. A: Sedimentationsdauer von 10 Monaten
Fig. B: Sedimentationsdauer von 19 Monaten
Länge der Profile 1200 m; Entfernung vom Damm 1600 m; sämtliche Stationen zwischen 1,00 m und 1,60 m NN

die Forschungsstelle Westküste die Sedimentationsmessungen bereits im Jahre 1947 wieder auf und vom Jahre 1948 an konnten die durchgehenden Kontrollen laufend durchgeführt werden[4]).

Nach der winterlichen Jahreszeit der Jahre 1947/48 wurden im Süden des Dammes auf dem Anwachs *en bloc*-Ablagerungen von einer Stärke bis zu 120 mm (!) festgestellt. Das war gegenüber 1936 das Doppelte! Die Sedimentschicht hatte damit eine Stärke erreicht, die zu durchwachsen selbst dem Andel nicht mehr möglich war.

Die Folge war, daß diese hochgelegenen Flächen im nächsten Frühjahr zunächst wieder vom Queller besiedelt werden mußten, obwohl der Höhenlage nach schon der Strandrotschwingel, mindestens aber der Andel, dort durchgehend bestandbildend wachsen müßte.

[4]) Hierbei war der Laborant der Forschungsstelle, Herr Paul Ettig, dem Verfasser ein verläßlicher Hilfsarbeiter, der seit 20 Jahren durch seine nie ermüdende Einsatzfreudigkeit und ohne Rücksicht auf Zeit und Stunde ein großes Verdienst um das Gelingen der vielseitigen Untersuchungen im Wattenmeer erworben hat.

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Auch hier liegt also wieder das Besondere der vorübergehenden Rückentwicklung vor, eine Rückentwicklung in pflanzensoziologischer Hinsicht. Schnell eingeleitete Spatenarbeit ließ diesen ökologischen „Atavismus" jedoch bald überwinden.

Zum Abschluß seien die Sedimentationsmessungen der Jahre 1948 bis 1952 südlich und nördlich vom Damm besprochen. Die fortlaufende Kontrolle der 1948 angelegten Rotsandstationen wurde durch häufige Entwendung der hölzernen Stationspfähle ernstlich gefährdet[5]).

Die Lage der neuen Profile sei dem Lageplan, Abbildung 64, entnommen. Auf dem Diagramm, Abbildung 65, geben die beiden Kurven die Werte nach einer Ablagerungszeit von 10 (A) beziehungsweise 19 Monaten (B) wieder.

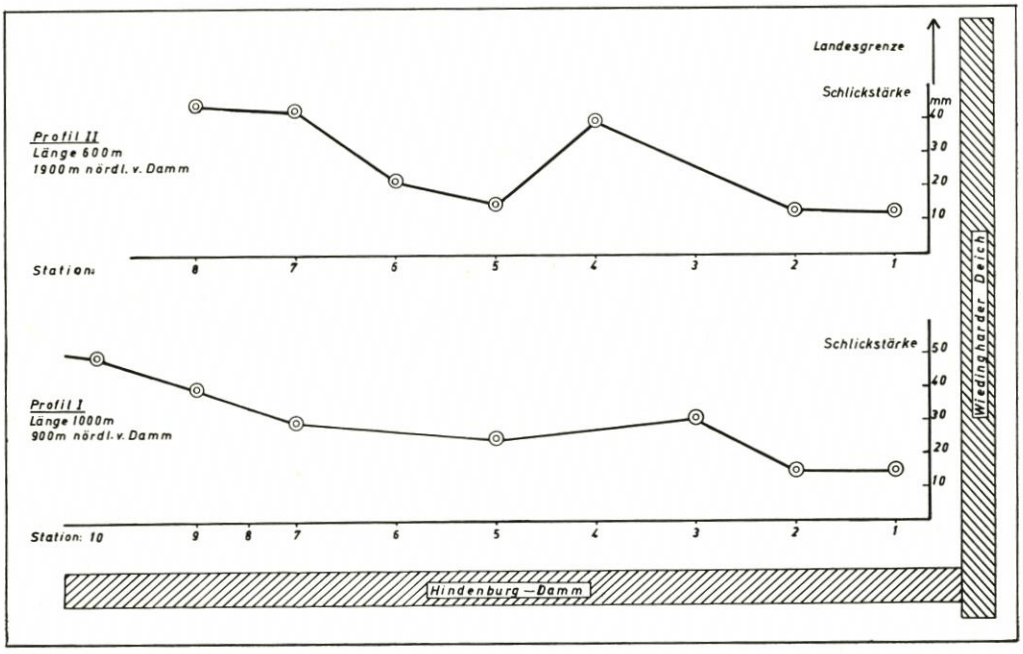


Abb. 66. Neuablagerungen an zwei Profilen nördlich vom Hindenburgdamm (Lageplan, Abb. 64) in der Zeit von September 1948 bis Mai 1949

Diagramm, Abbildung 66, zeigt die Ablagerungen nördlich des Hindenburgdammes in einer Entfernung vom Damm von 900 m (Abb. 66, unten) und von 1900 m (Abb. 66, oben). Die Kurven umfassen eine Sedimentationszeit von acht Monaten.

Diagramm, Abbildung 67, zeigt drei Kurven, die sich auf e i n Profil, aber mit verschieden langer Ablagerungszeit beziehen, nämlich 15, 40 und 49 Monate.

Ohne nochmals auf einzelne Zahlenwerte einzugehen, möge folgendes festgestellt werden:

Alle vier Diagramme haben, verglichen mit dem Diagramm von 1936 (Abb. 63, S. 82), einen grundsätzlich übereinstimmenden Aufbau:

1. allerfeinste Sedimente,
2. ungewöhnlich hohe Werte,

[5]) Die große wirtschaftliche Notlage (Brennstoffmangel) der im Wiedingharder Koog im Barackenlager untergebrachten Flüchtlingsbevölkerung führte häufig zum Verlust der Stationspfähle und damit zum Verlust der Station. Auf den graphischen Darstellungen wurden diese Stationen durch einfache Interpolation der Werte von den noch intakten Nachbarstationen überbrückt.

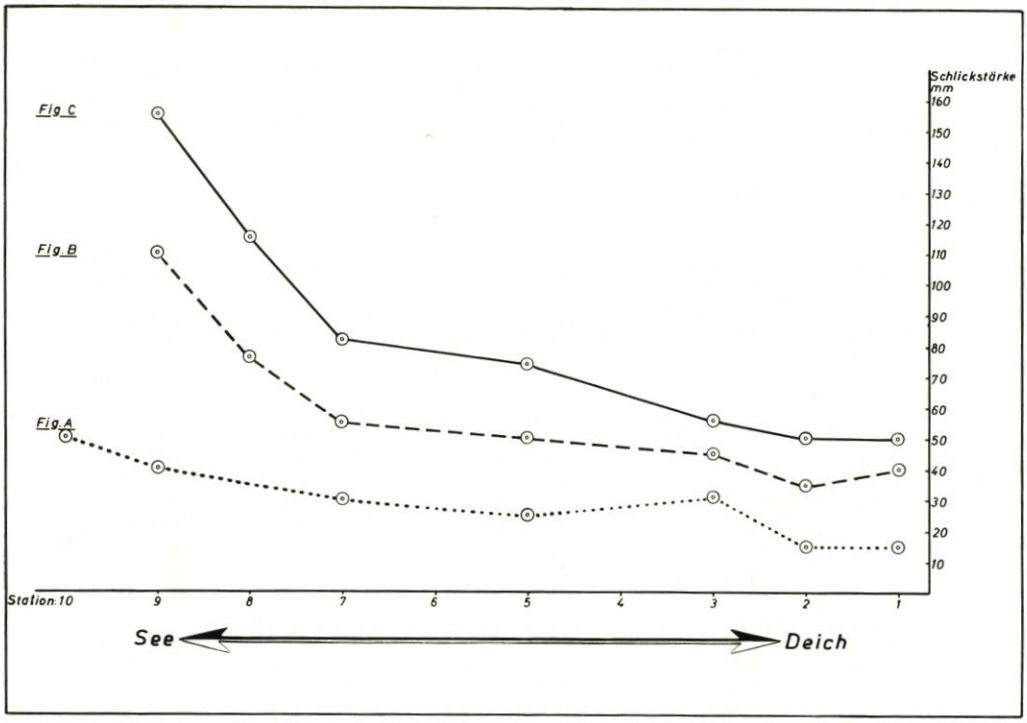


Abb. 67. Neuablagerung nördlich vom Hindenburgdamm, Profil I (Lageplan Abb. 64) in der Zeit von 1948 bis 1952
Fig. A: Sedimentationsdauer 15 Monate
Fig. B: Sedimentationsdauer 40 Monate
Fig. C: Sedimentationsdauer 49 Monate

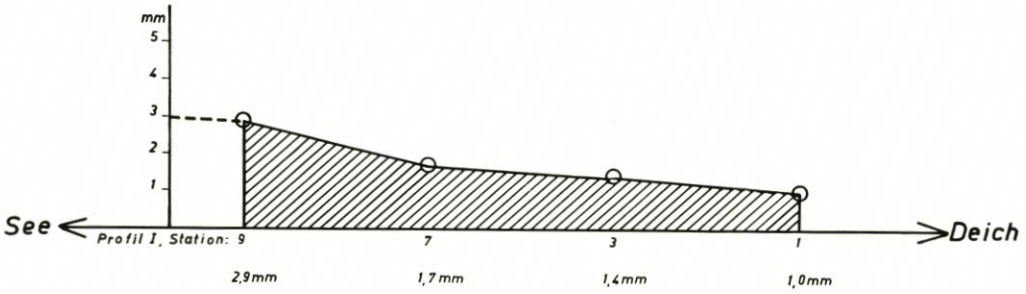


Abb. 68. Monatlicher Schlickzuwachs an den Stationen 1, 3, 7 und 9 vom Profil I (Lageplan Abb. 64), gemittelt aus drei Ablesungen von 1948 bis 1952

3. die außen gelegenen Stationen haben gegenüber den deichnahen ein Mehrfaches an Sedimentzuwachs,
4. die Gesamtwerte liegen am Hindenburgdamm, nördlich wie südlich rund zehnmal so hoch wie an Stationen des übrigen Festlandes.

Auf dem letzten Diagramm, Abbildung 68, ist der rechnerische Versuch unternommen, die Werte von den Stationen 1, 3, 7 und 9 vom Profil I (Abb. 67) auf die Zeiteinheit von einem Monat zurückzuführen. Danach liegt ein Sedimentzuwachs kurz vor dem Deich von etwa 1 mm je Monat vor, weiter draußen mit zunehmender Entfernung vom Deich 1,4 mm, 1,7 mm und 2,9 mm. Das sind ungeheure Werte. Natürlich werden diese auf die Zeit-

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

einheit umgerechneten Zahlen mit allem Vorbehalt wiedergegeben; sie dürfen nicht verallgemeinert werden, aber sie werfen doch ein aufschlußreiches Licht auf die Gesamtlage an unserer Küste und zeigen, daß die Monatswerte am Hindenburgdamm den Jahreswerten normaler Verlandungsgebiete der übrigen Küste etwa die Waage halten.

f. Eis und Sediment

War bisher das Wasser als Träger und Verfrachter der Sinkstoffe Gegenstand der Untersuchung, so bedarf es zur Vervollständigung noch eines kurzen Hinweises auf die Beschaffenheit des winterlichen Eises im Watt.

Bekanntlich geht die Temperaturabnahme während des Winters im Wattenmeerwasser wesentlich schneller vor sich als im tieferen Wasser der freien Nordsee. Bei anhaltenden Frostperioden, mit denen oftmals ablandige Winde und damit wieder niedrige Wasserstände einhergehen, unterbleibt die Überflutung der höher gelegenen Watten. Die Auskühlung der Wattsedimente kann bis zu größerer Tiefe erfolgen, und so kommt es fast in jedem Winter zu umfangreichen Eisbildungen im Wattenmeer. Außerdem wird die Eisbildung gefördert durch den gegenüber der freien See geringeren Salzgehalt des Wattenmeerwassers. Die im Wasser vorhandenen Sinkstoffe werden mit in die Eisdecke eingefroren. Bei anhaltender Trockenlage des Watts verbindet sich die Eisdecke fest mit dem darunterliegenden Sediment. Im Wechsel der tidebedingten Überflutung wird sie bei Hochwasser mit emporgehoben und löst vermöge ihres Auftriebs mehr oder weniger umfangreiche Sedimente aus dem Verband des Watts heraus. Das Ganze gefriert wieder, und durch Wiederholung dieser Vorgänge im Rhythmus der Gezeiten wird das Eis immer dicker und der Gehalt des Eises an Sand und Schlick immer größer. Bei einsetzendem Westwind und höheren Wasserständen kommt es zur Schollenbildung und Vertriftung der Eisblöcke mit den Gezeitenströmungen. An Dämmen, stromabweisenden Buhnen, Molen und Halligkanten entstehen umfangreiche Ansammlungen von Eisschollen. Je nach Windrichtung und -stärke werden die Eismassen örtlich zusammengestaucht, so daß mehrere Meter hohe Schollenberge das Ufer säumen. Abbildung 69 zeigt eine solche Schollenanhäufung am Hindenburgdamm.

Abb. 69. Eisstauungen am Hindenburgdamm mit eingefrorenen Sedimenten
Bildarchiv Westküste 166/17, Februar 1942. Aufn. JÜRGENSEN

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

Beim Auftauen dieser Eismassen werden die eingefrorenen Sedimente wieder frei. Entweder nimmt das strömende Wasser sie jetzt als Sinkstoff mit sich fort, oder aber es kommt zu örtlichen Sedimentanhäufungen unter den langsam abschmelzenden Schollenbergen. Noch

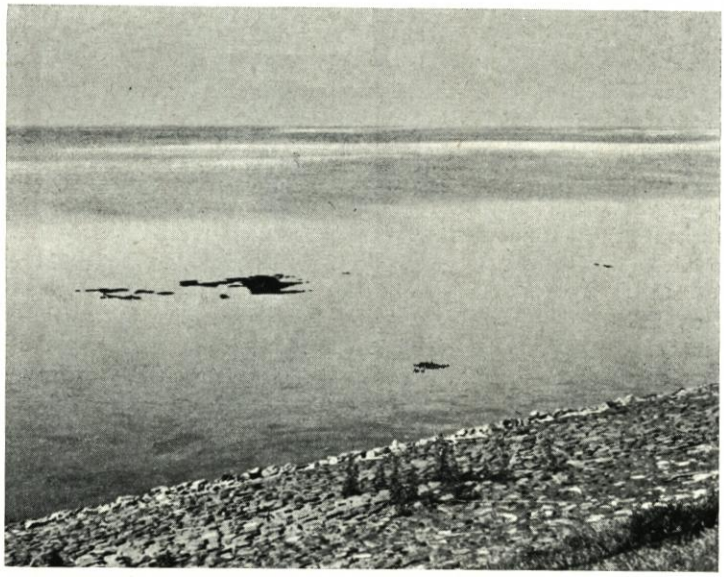


Abb. 70. Mächtige, aber örtlich begrenzte und unbeständige Schlickablagerungen nach dem Auftauen der Eisschollen südlich vom Damm
Bildarchiv Westküste 136/22, Juni 1940. Aufn. E. WOHLENBERG

im Laufe des folgenden Sommers konnten südlich vom Dammfuß solche Schlickanhäufungen beobachtet werden, wie Abbildung 70 zeigt. Auch auf dem grünen Anwachs findet man am Ende des Winters örtlich scharf begrenzte Schlickanhäufungen, die ihre Entstehung dem Abschmelzen der dorthin vertrifteten Eisschollen verdanken[6]).

Damit sei die Erörterung vom Maß des Aufwuchses am Hindenburgdamm abgeschlossen.

In diesem Jahr, 1954, wird der neue Seedeich um das in der vorliegenden Abhandlung nach vielerlei Richtungen untersuchte Anwachsgebiet gezogen werden (Abb. 58, Seite 79). Damit finden die Erörterungen dieses Aufsatzes auch im Gelände einen gewissen Abschluß. Aber auch der neue Koog wird nach einer solchen Fülle von Sondererscheinungen im Laufe seiner jetzt anlaufenden „Geschichte" eine Sonderstellung unter den Kögen der Westküste einnehmen und sowohl der Forschung als auch der Praxis noch manches Problem bieten. Bei der Inkulturnahme des neuen Kooges wird man sich der Erfahrung erinnern müssen, die in den Jahren 1925—27 im Pohnshalligkoog auf Nordstrand und 1935—39 im Tümlauer Koog und in der Finkhaushallig in Eiderstedt auf den in der Entwässerung vernachlässigten Böden gemacht wurden, und man wird die größte Aufmerksamkeit von v o r n h e r e i n der sorgfältig zu unterhaltenden Oberflächenentwässerung schenken müssen. Die bei der Bedeichung noch vegetationslosen Wattflächen sollten zur Vermeidung ihrer Verunkrautung zunächst mit Salzgräsern angesät werden. Salzbewegung und Wasserführung im jungen Boden werden in den Jahren nach der Bedeichung einer fortlaufenden Kontrolle zu unterwerfen sein, damit Ent-

[6]) Die Begrenzung dieser Sedimentflecke im Anwachs gibt übrigens ein getreues Abbild von der Größe der ehemaligen Eisscholle.

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

wässerung und Bewässerung in das rechte Verhältnis kommen und das erste Ansetzen des Pfluges, also die erste Beackerung, nicht zur Unzeit erfolge.

Dann möge der junge Boden als Geschenk und Werk von Natur und Mensch vielen Generationen Brot und Arbeit geben!

III. Zusammenfassung

Hauptgegenstand der Abhandlung ist der Verlandungsraum südlich des Hindenburgdammes.

1. Der Aufsatz wird eingeleitet mit einer geo- und hydrographischen Übersicht über das Untersuchungsgebiet und mit einer kurzen Darstellung des Dammbaues und der vorangegangenen Untersuchungen.
2. Der Sinkstoffgehalt des von der Tide bewegten Wassers wird bei gewöhnlicher Wetterlage und bei Sturmflut untersucht. Das Mengenverhältnis der bei normaler Tide und bei Sturmtide verfrachteten Sinkstoffe wurde mit 1 : 50 ermittelt. Die Sturmflutwerte lagen in Dammnähe bei 3000 mg je Liter.
3. Die vor und nach dem Dammbau abgelagerten Sedimente werden durch Erörterung von Korngröße, Kalkgehalt und Gehalt an organischer Substanz einander gegenübergestellt.
4. Die praktischen Landgewinnungsmaßnahmen sind Gegenstand einer kritischen Betrachtung. Das ökologische Grundgesetz der Landgewinnung wird aufgestellt.
5. Die Leistung der verschiedenen Pflanzengesellschaften für die Bindung neuer Sinkstoffe wird nach Art, Vorgang und Menge eingehend untersucht.

   Weit unterhalb der eigentlichen Verlandungszone schalten sich die Wattdiatomeen aktiv in den Vorgang der Sedimentation ein und legen umfangreiche Schlickdepots an. Diatomeenrasen vermögen täglich bis zu 0,5 mm neues Sediment zu binden.

   Die Stärke und Zusammensetzung der neuen Ablagerungen werden mit Hilfe der Indikatormethode unmittelbar am Standort gemessen. Die Werte von 1936 bis 1952 werden an Hand zahlreicher Kurven besprochen. Als höchster, bisher bekannt gewordener Sedimentationswert wurden südlich vom Hindenburgdamm nach dem Winter 1947/48 in flächenhafter Ausdehnung über 100 mm an schlickigem Aufwuchs festgestellt.

   Die Andelgesellschaft *(Puccinellietum)* als Folgeverband der Quellergesellschaft *(Salicornietum)* ist allen anderen an sedimentbindender und sedimentbewahrender Kraft überlegen.
6. Der Einfluß der Eisbildung auf die Verfrachtung der Sedimente wird erörtert.
7. Die Untersuchungsergebnisse über die Schnelligkeit des Aufwuchses gelten nur für den Anwachs am Hindenburgdamm und können nicht für die übrige Küste verallgemeinert werden.

IV. Schriftenverzeichnis

1. Ankel, W. E.: Hydrobienschill und Hydrobienkalk. Natur und Museum 59, 1, 1929.
2. Braren, L.: Über das Sandwatt westlich Föhr. Unveröff. Bericht 1950, Bibliothek Nissenhaus.
3. Braren, L.: Über die Entstehung der Wattströme Nordfrieslands. Selbstverlag München 1951. (Unveröff. Ergänzung, 1952).

4a. Brockmann, Chr.: Diatomeen und Schlick im Jade-Gebiet. Abh. Senckenbg. Ges. 430, 1935.

4b. Brockmann, Chr.: Küstennahe und küstenferne Sedimente in der Nordsee. Naturwiss. Ver. Bremen XXX, 1/2, 1937.

4c. Brockmann, Chr.: Die Watt-Diatomeen der schleswig-holsteinischen Westküste. Abh. Senckenbg. Ges. 478, 1950.

5. Bruggeman, A. G.: Nieuw Land, Berichten van de Nederlandse Vereeniging voor Landaanwinning. s'-Gravenhage 1951.

6. Busch, A.: Ein Beitrag zu der Frage, ob große Kulturbauwerke wie etwa die Eiderabdämmung und der Hindenburgdamm verhängnisvolle Flutstauungen bewirken können. Die Heimat 42, 1932.
7. Busch, A.: Neue Gesichtspunkte zur Kartographie des mittelalterlichen Nordfrieslands. Jb. Nordfrieslands 23, 1934.
8. Christiansen, W.: Die Außendeichsvegetation von Schleswig-Holstein mit besonderer Berücksichtigung von Föhr. Föhrer Heimatbücher 16, 1927.
9. Delff, C.: Woher stammt der neuauflandende Boden im Wattenmeer? Jb. Nordfr. Ver. 20, 1933.
10. Delff, C.: Nordfrieslands Werden und Vergehen. Nordelbingen 10, 1934.
11. Delff, C.: Neue Gesichtspunkte zur Geschichte der nordfriesischen Marsch. Kieler Neueste Nachrichten 52, 1936.
12. Dittmer, E.: Neue Ergebnisse zur Erforschung des nordfriesischen Eems. Forsch. u. Fortschritte 17,3, 1941.
13. Dittmer, E.: Die Küstensenkung an der schleswig-holsteinischen Westküste. Forsch. u. Fortschritte 24, 17 u. 18, 1948.
14. Dittmer, E.: Die nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. Meyniana I, 1952.
15. Dittmer, E. und Vinck: Der Sinkstoffhaushalt der Eider. In Bearbeitung, 1954.
16. Eich: Die Höhe der Sturmfluten im Wattenmeer hinter der Insel Sylt. Zentralblatt d. Bauverw., 41, 1921.
17. Eerde van, L. A. AE.: Die Landaanwinning van het Noorderleegs Buitenveld. Nederl. Aardr. Gen. LIX, 1, 1942.
18. Franzius, O.: Landgewinnung und Küstenströmung. 1. Denkschr. d. Marschenverbandes S.-H. Husum, 1932.
19. Gilli, Al.: Die Phänologie des *Salicornietum herbacea* an der Nordsee. Phyton, II. 4, 1950.
20. Hansen, K.: Preliminary Report on the Sediments of the Danish Wadden Sea. Medd. Skalling Labor. XIII, 1952.
21. Herrmann, F.: Über den physikalischen und chemischen Aufbau von Marschböden und Watten verschiedenen Alters. Westküste 1943.
22. Hinrichs, W.: Nordseedeiche, Küstenschutz und Landgewinnung. Husum 1931.
23. Jessen, O.: Neue Landgewinnungs- und Landsicherungsarbeiten an der Westküste Schleswig-Holsteins. Peterm. Geogr. Mitt., 1934.
24. Iwersen, J.: Das Problem der Kultivierung eingedeichter Watten. Die Küste 2, 1, 1953.
25. König, D.: Die Chromosomenverhältnisse der deutschen Salicornien. Planta 29, 3, 1939.
26. König, D.: Vergleichende Bestandsaufnahme an bodenbewohnenden Watt-Tieren im Gebiet des Sicherungsdammes vor dem Friedrichskoog in den Jahren 1935—39. Westküste 1943.
27. Kolumbe, E.: Die Bedeutung der Pflanzen für die Landgewinnung an der schleswig-holsteinischen Westküste, Die Heimat 42, 1932.
28. Krey, H. O.: Der Verlauf der Tide- und Sturmflutwellen in Meeresarmen und die Wirkung eines Abschlusses, mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse hinter Sylt. Zentralbl. d. Bauverw. 41, 1921.
29. Kühl, H.: Studien über die Klaffmuschel *Mya arenaria*. Arch. f. Fischereiwissenschaft 4, 1952/53.
30. Linke, O.: Die Einwirkung des Quellers *(Salicornia herbacea* L.) auf den Verlandungsvorgang des Wattes im Jadebusen. Abh. Nat. Ver. Bremen, XXX, 1/2, 1937.
31. Linke, O.: Biologie und Praxis an der ostfriesischen Küste. Der Biologe, VII, 7, 1938.
32. Linke, O.: Die Biota des Jadebusenwattes. Helgoländer Wiss. Meeresunters. I, 3, 1939.
33. Lorenzen, J. M.: Landeskultur-Aufgaben an der schleswig-holsteinischen Westküste. VDJ-Zeitschrift, 81, 26, 1937.
34. Lorenzen, J. M.: Planung und Forschung im Gebiet der schleswig-holsteinischen Westküste. „Westküste", I, 1, 1938.
35. Lüders, K.: Über das Wandern der Priele. Abh. Nat. Ver. Bremen, XXIX, 1/2, 1934.
36. Lüneburg, H.: Über Messung und Bedeutung der Sinkstoffe in Elbe- und Wesermündung. Ztschr. vom Wasser XVIII, 1950/51.
37. Lüneburg, H.: Ein Gerät zur Messung des Schlickfalles in Küstengewässern und Häfen. Veröff. Institut f. Meereskunde, Bremerhaven, Bd. I, 1952.
38. Marschenverband: Die Landgewinnung und ihre wirtschaftliche Bedeutung. (Denkschrift), Husum.
39. Müller-Fischer: Sylt, II. Teil. Die Inseln. In: Wasserwesen an der schleswig- holsteinischen Westküste. Berlin 1938.

Die Küste, 2 Heft 2 (1954), 33-94

40. Nielsen, N.: Eine Methode zur exakten Sedimentationsmessung. Medd. Skalling Laboratoriet I, Kopenhagen 1935.
41. Nienburg, W.: Zur Oekologie der Flora des Wattenmeeres. Wiss. Meeresunters. Kiel XX, 1927.
42. Ostendorff, E.: Die Grund- und Bodenverhältnisse der Watten zwischen Sylt und Eiderstedt. Westküste 1943.
43. Pfeiffer, H.: Untersuchungen über den Einfluß des geplanten Dammbaues zwischen dem Festland und der Insel Sylt auf die Wasserverhältnisse am Damm und der anschließenden Festlandsküste. Dissert. 1920, Bibliothek Forschungsstelle Westküste Husum.
44. Pfeiffer, H. und Mügge, W.: Bau eines hochwasserfreien Eisenbahndammes vom Festland nach der Insel Sylt. Zentralbl. d. Bauverw. 48, 1928.
45. Plath, M.: Die biologische Bestandsaufnahme als Verfahren zur Kennzeichnung der Wattsedimente und die Kartierung der nordfriesischen Watten. Westküste 1943.
46. Reichsbahn, Dammbau Festland — Sylt. Die Heimat, 36, 7, 1926.
47. Remane, A.: Einführung in die ökologische Zoologie der Nord- und Ostsee. Tierwelt der Nord- und Ostsee Ia, 1940.
48. Richter, R.: Gründung und Aufgaben der Forschungsstelle für Meeresgeologie „Senckenberg" in Wilhelmshaven. Natur und Museum, 59, 1, 1929
49. Schäfer, W.: Biogene Sedimentation im Gefolge von Bioturbation. Senckenbergiana 33, 1952.
50. Schäfer, W.: Zur Unterscheidung gleichförmiger Kot-Pillen meerischer Evertebra. Senckenbergiana 34, 1953.
51. Schäfer, W.: „Geführte" Trockenrisse. Natur und Volk 84, 1, 1954.
52. Schelling, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum. Die Küste I, 1, 1952.
53. Schmidt, R.: Der Hindenburgdamm nach Sylt und die Landgewinnung an der schleswigschen Westküste. Meereskunde XVI, 4, 1928.
54. Schumacher, A. und Thorade, H.: Die Gezeiten der Sylter Gewässer. Arch. Dt. Seewarte 41, 2, 1923.
55. Schwarz, A.: Die Ausbreitungsmöglichkeiten der Hydrobien. Natur u. Museum 59, 1, 1929.
56. Schwarz, A.: Der tierische Einfluß auf die Meeressedimente. Senckenbergiana 14, 1932.
57. Thamdrup, H. M.: Beiträge zur Ökologie der Wattenfauna. Medd. Danmarks Fiskeri og Havunders. X, 2, 1935.
58. Trusheim, F.: Trockenrisse mit Hydrobienfüllung im Schlickwatt. Natur u. Museum 59, 1, 1929.
59. Trusheim, F.: Eigenartige Entstehung von Tongallen. Natur und Museum 59, 1, 1929.
60. Verhoeven, B.: Het wisselen op korte afstand van het chlorgehalte in geinundeerte gronden. Landbouwkundig Tijdschrift 62/4, 5, 1950.
61. Warming, E.: Dansk Plantevaekst I, Strandvegetation. Kopenhagen 1906.
62. Wetzel, W.: Die koprogenen Beimengungen mariner Sedimente und ihre diagnostische und lithogenetische Bedeutung. N. Jb. Mineralog. Berl.-Bd. 78B, 1937.
63. Wiggers, A. J.: De Gehalten aan organische Stof in Nederlandse Gronden. Landbouwkundig Tijdschrift 62/6, 1950.
64. Wohlenberg, E.: Die grüne Insel in der Eidermündung, eine entwicklungsphysiologische Untersuchung. Arch. Deutsche Seewarte 50, 2, 1931.
65. Wohlenberg, E.: Über die tatsächliche Leistung von *Salicornia herbacea* L. im Haushalt der Watten. Wiss. Meeresunters. Helgoland XIX, 3, 1933.
66. Wohlenberg, E.: Das Andelpolster und die Entstehung einer charakteristischen Abrasionsform im Wattenmeer. Wiss. Meeresunters. Helgoland XIX, 4, 1933.
67. Wohlenberg, E.: Biologische Landgewinnungsarbeiten im Wattenmeer. Der Biologe III, 7, 1934.
68. Wohlenberg, E.: Die Wattenmeer-Lebensgemeinschaften im Königshafen von Sylt. Helgol. wiss. Meeresunters. I, 1, 1937.
69. Wohlenberg, E.: Biologische Kulturmaßnahmen mit dem Queller *(Salicornia herbacea* L.) zur Landgewinnung im Wattenmeer. Westküste I, 2, 1938.
70. Wohlenberg, E.: Die Nutzanwendung biologischer Erkenntnisse im Wattenmeer zu Gunsten der praktischen Landgewinnung an der deutschen Nordseeküste. Rapp. et Procès-Verbaux, CIV, 1939.
71. Wohlenberg, E.: Unsere jungen Köge. Meyn's Schlesw.-Holst. Hauskalender. Heide 1939.
72. Wohlenberg, E.: Der horizontale Wasserschöpfer. Deutsche Hydrogr. Zeitschr. III, 5/6, 1950.
73. Wohlenberg, E.: Produktionsbiologische Untersuchungen auf eingedeichten Watten. Die Küste II, 1, 1953.

74. Ziegel, W.: Landgewinnungsarbeiten in Dänemark. Information, Raumforschung Bonn, 1953.
75. Zuur, A. J.: Drainage and Reclamation of Lakes and of the Zuiderzee. Soil Science 74, 1, 1952.

Aus der Sammlung amtlicher Berichte und Gutachten des Marschenbauamts Husum — Forschungsstelle Westküste

76. Dechend, W.: Mineralogische Untersuchungen zur Lösung der Frage nach der Herkunft, Wanderung und Ablagerung der Aufbaustoffe zur Landgewinnung im Watt Nordfrieslands. Oktober 1939.
77. Dittmer, E.: Sinkstoff- und Sandwanderungsmessungen. Februar 1938.
78. Ely, W.: Sinkstoffbewegung und Sandwanderung. (Unmittelbare Messungen). September 1938.
79. Iwersen, J.: Stellungnahme zum Deichbau und Versuchskoog im Wattgebiet vor Klanxbüll. Dezember 1936.
80. Iwersen J. und Wohlenberg, E.: Versuchskoog am Hindenburgdamm. Juni 1937.
81. König, D.: Verbreitung von Suaeda maritima im Gebiet des Schlickwatts vor dem Wiedingharder Neuen Koog mit Karte 1 : 10 000. Dezember 1936.
82. Ostendorff, E.: Bericht über die Watten- (und Boden-)aufnahme am Hindenburgdamm. September 1937.
83. Ostendorff, E.: Bericht über die Wattenaufnahme am Hindenburgdamm. Amtl. Bericht i. d. Forschungsstelle Husum.
84. Ostendorff, E.: Erläuterungsbericht zur Watt- und Boden-Spezialaufnahme am Hindenburgdamm April 1937/Juni 1938. Amtl. Bericht i. d. Forschungsstelle Husum, 1938.
85. Petersen, M.: Sinkstoffgruppenmessung in der Norder-Hever 1937.
86. Plath, M.: Bericht über Kotballenuntersuchungen und -beobachtungen im Sinkstoff des Meerwassers der nordfriesischen Watten. Januar 1939.
87. Wohlenberg, E.: Bericht über die Anlandung nördlich und südlich des Hindenburgdamms nach den Herbst- und Winterfluten 1936/37. Juli 1937.
88. Wohlenberg, E.: Zusammenstellung einiger Punkte zur Begründung der Frühbedeichung des Verlandungsgebietes am Hindenburgdamm. Dezember 1936.
89. Wohlenberg, E.: Der Anwachs am Hindenburgdamm. Dezember 1952.
90. Wohlenberg, E. und Iwersen, J.: Versuchskoog am Hindenburgdamm. Juni 1937.