

Deichsicherung durch Verhüttungsrückstände

Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Technisch-Wissenschaftlicher Beirat*)

Summary

The remainder of steel production was used on the bank of the estuary of the river Ems to reclaim foreland which diminishes the wave attack on the slope of an earth-dike. After description of this deposition of slaggy remainder, the behaviour of the material is explained and the results of investigations are discussed. Advantages and disadvantages of this artificial foreland are compared with those of an natural foreland reclaimed with sandy and clayey soil. Dimensions and slope inclinations are suggested in order to get a suitable profile of foreland consisting of slaggy remainder. Also costs of these different foreland reclamation are calculated in connection with dike construction. – Additional in special paragraphs are described: chemical and physical properties of the remainder, costs of transport from the steel-work to the coast and deposition of material, soil-physical research, and otherwise use of remainder in construction of land reclamation works.

Inhalt

A. Vorbemerkung	75
B. Veranlassung für die Verwendung von Verhüttungsrückständen zur Deichsicherung	76
C. Die Versuchsschüttungen bei Campen	78
D. Bisheriges Verhalten der Anschüttungsfläche bei Campen	80
E. Bauweisen und deren Kosten	83
F. Beurteilung der Bauweisen	84
G. Erkenntnisse aus dem bisherigen Verhalten der Anschüttungsfläche bei Campen	86
H. Schriftenverzeichnis	87

Anlageberichte:

I. Dipl.-Phys. M. HAUCKE: Herkunft und Zusammensetzung der Verhüttungsrückstände sowie aufgewendete Kosten für die bisherigen Versuchsschüttungen	88
II. Dipl.-Ing. G. RAGUTZKI: Bodenphysikalische Untersuchungen der verwendeten Verhüttungsrückstände	93
III. Oberbaurat H. F. ERCHINGER: Verhüttungsrückstände im Lahnungsbau bei Ostermarsch	98

A. Vorbemerkung

Die Deichacht Krummhörn hat 1965 in Zusammenarbeit mit der Hoesch A.G. Hüttenwerke, Dortmund, und unter Beratung des Wasserwirtschaftsamtes Aurich sowie der Forschungsstelle Norderney in einem Naturversuch die Eignung von Verhüttungsrückständen für die Sicherung eines scharliegenden Hauptdeiches an der Außen-Ems erprobt. Dieses neuartige Bauverfahren, das als „aktiver Küstenschutz“ für die Deichsicherung von allgemeiner Bedeutung werden kann, gab Veranlassung, die bisherigen Erfahrungen mit Verhüttungsrückständen im

*) Bericht aus dem Fachgebiet „Küstenschutz“ des Technisch-Wissenschaftlichen Beirats, Obmann Regierungsdirektor a. D. Dr.-Ing. K. LÜDERS.

Küstenschutz sowie die technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte dieses Verfahrens in einem Arbeitskreis zu erörtern. Dem Arbeitskreis gehörten an:

Regierungsbaudirektor BÖKE, Wasser- und Schiffsamt Emden, Oberbaurat ERCHINGER, Bauamt für Küstenschutz in Norden, Dipl.-Phys. HAUCKE, Hoesch A.G. Hüttenwerke, Dortmund, Baudirektor KRAMER, Wasserwirtschaftsamt Aurich, Dipl.-Ing. LUCK, Forschungsstelle Norderney, Dipl.-Ing. RAGUTZKI, Forschungsstelle Norderney, Baudirektor ZUNKER, Regierungspräsidium Aurich. Die Deichacht Krummhörn war durch ihren Vorsitzenden, Oberdeichrichter J. OHLING, vertreten. Die Leitung des Arbeitskreises oblag dem Obmann des Fachgebietes „Küstenschutz“, Regierungsdirektor a. D. Dr.-Ing. LÜDERS.

B. Veranlassung für die Verwendung von Verhüttungsrückständen zur Deichsicherung

Der Hauptdeich an der Außen-Ems in der Deichacht Krummhörn (Abb. 1) liegt auf rund 15 km weitgehend schar. Seine Kronenhöhe beträgt nach einer streckenweisen Erhöhung in den Jahren 1957 bis 1961 im Mittel NN + 6,9 m.

Für den nördlichen Abschnitt (Upleward bis Hauen), der bei der Sturmflut 1962 eine der am stärksten gefährdeten Deichstrecken Ostfrieslands war, ist ein Deich mit aufzuspüledem



Abb. 1. Übersichtsplan mit Eintragung der Baustellen

Vorland geplant. Die mittlere Höhe des Vorlandes wird auf NN + 1,60 m liegen. Die see-seitige Kante soll durch ein massives Deckwerk geschützt werden.

Im südlichen Abschnitt (Rysum bis Upleward) hat der Hauptdeich zur Seeseite hin eine Böschungsneigung von 1:6, etwa bis zum Bemessungswasserstand, und darüber 1:3. Die Binnenböschung ist 1:2 und streckenweise 1:1,5 geneigt. Die Außenberme, die im Mittel auf NN

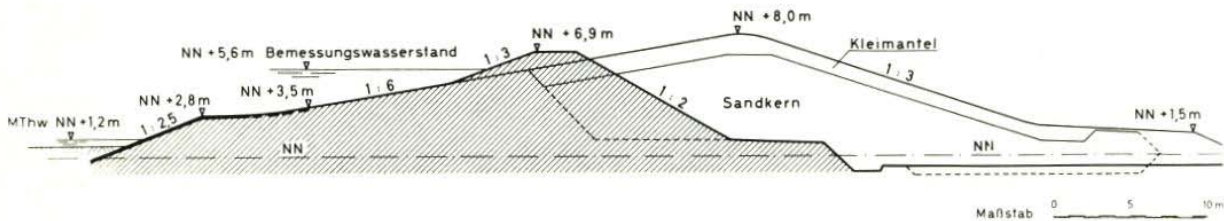


Abb. 2. Querschnitt des Hauptdeiches an der Außen-Ems bei Campen mit Eintragung der geplanten Deichverstärkung

+ 2,8 m liegt, ist durch ein schweres Deckwerk aus Naturstein gesichert (Abb. 2). Dieser 5,3 km lange Deichabschnitt müßte nach den Bestimmungen des Niedersächsischen Deichgesetzes verstärkt und auf eine Höhe von NN + 8,0 m ausgebaut werden. Diese Kronenhöhe ergibt sich aus dem Bemessungswasserstand von NN + 5,6 m (HThw = NN + 4,96 m) und einem angenommenen maximalen Wellenaufwurf von 2,4 m. Die hiernach erforderlichen Deichabmessungen sind in Abb. 2 ebenfalls eingetragen.



Abb. 3. Versuchsschüttung bei Campen kurz vor Abschluß des Materialtransportes (freigegeben durch Nds. Min. für Wirtschaft u. Verkehr am 27. 10. 1965, Nr. 902/11)

Eine andere Möglichkeit, die notwendige Sicherheit dieses Deichabschnittes zu erreichen, bieten die Verfahren des „aktiven Küstenschutzes“ durch Schaffung eines breiten und hohen Vorlandes am Deich mit dem Zweck, die angreifenden Wasserkräfte seawärts zu verlagern, um

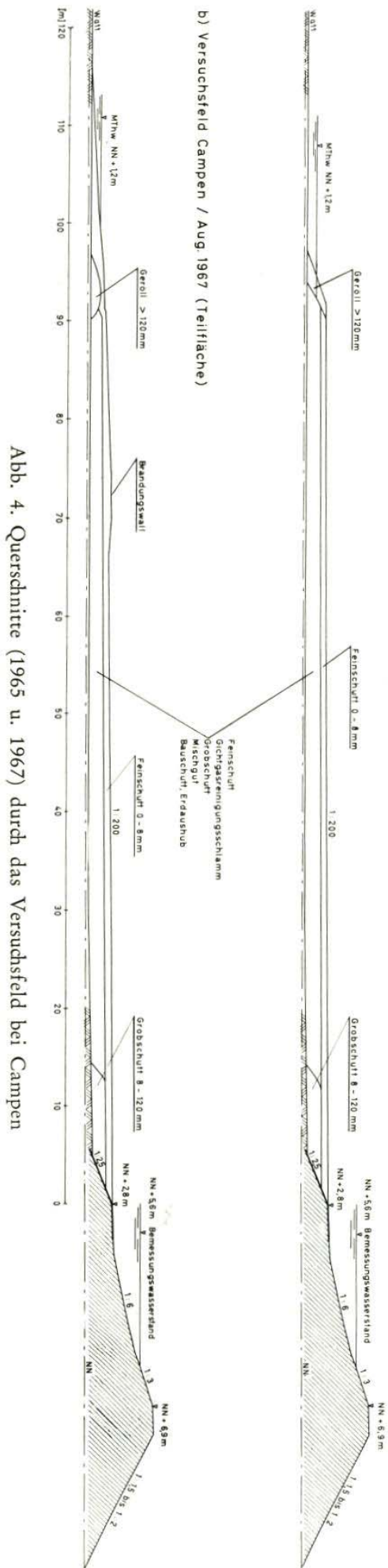


Abb. 4. Querschnitte (1965 u. 1967) durch das Versuchsfeld bei Campen

dadurch den Wellenangriff bei Sturmflut auf den Deich zu mindern. Die Wirkung eines solchen Deichvorlandes auf die Größe des Wellenaufbaus am Deich ist aus den Ergebnissen von Modellversuchen (2) und aus verschiedenen Erfahrungen bei der Februar-Sturmflut 1962 (5) bekannt. Im vorliegenden Fall kann angenommen werden, daß der oben genannte maximale Wellenaufbau von 2,4 m um mindestens 1 m geringer werden wird, wenn der heute scharliegende Hauptdeich ein etwa 150 m breites, im Mittel auf MThw + 0,5 m liegendes Vorland erhielte. In diesem Fall brauchte die in den Jahren 1957/1961 hergestellte Höhe des jetzigen Deiches mit NN + 6,9 m und die Anlage der Deichaußenböschung mit 1:6 und 1:3 nicht geändert zu werden. Die Neigung der Binnenböschung mit 1:2 bis 1:1,5 ist aber zu steil; sie müßte auf 1:3 abgeflacht werden, damit sie einen gelegentlichen Wellenüberschlag schadlos vertragen kann.

Neben der künstlichen Vorlandgewinnung durch Aufspülung mit Wattboden bot sich im vorliegenden Fall die Aufschüttung eines Vorlandes aus Verhüttungsrückständen an, deren Unterbringung für die Hütten- und Stahlwerke von Interesse ist (s. Anlagebericht I). Durch eine Versuchsschüttung sollte geklärt werden, ob diese Lösung brauchbar ist.

C. Die Versuchsschüttungen bei Campen

Ein Vorversuch mit rund 1300 t Verhüttungsrückständen ist 1964 ausgeführt worden (3). Im Jahre 1965 wurden anschließend in einem Großversuch 94 000 t Verhüttungsmaterial bei Campen (Abb. 1) eingebaut, um das Gesamtverhalten, wie Lagestabilität bzw. Erosionserscheinungen, hydraulische Wirksamkeit, biologische und chemische Auswirkungen besser beurteilen zu können.

Die Versuchsschüttung wurde als hochliegendes Vorland angelegt (Abb. 3, 4 und 6). Sie erstreckt sich in einer Breite von rund 100 m über eine Länge von etwa 200 m parallel zur Hauptdeichlinie. Im Süden ist sie durch eine Steinbühne begrenzt; höhenmäßig schließt sie an das auf

NN + 2,8 m liegende Deckwerk der Außenberme des Hauptdeiches an und fällt mit einer Neigung von etwa 1:200 zur Seeseite hin ab.

Die Verhüttungsrückstände wurden ohne besondere Verdichtung eingebaut, und zwar getrennt nach Korngrößen bzw. nach ihrer Herkunft, die bestimmend für die chemischen und physikalischen Eigenschaften ist. Grobschutt (Körnung 8 bis 120 mm) sowie Geröll und Bauschutt wurden in Erwartung einer dränierenden Wirkung unmittelbar am Deckwerksfuß angeschüttet. Der Kern des Versuchsfeldes enthielt alle Komponenten der Verhüttungsrückstände: Feinschutt, Grobschutt, Geröll, Gießereisande, Gichtgasreinigungsschlamm und Mischgut. Für die 30 bis 70 cm starke Oberflächenabdeckung wurde der kalkreiche Feinschutt (Körnung bis 8 mm) verwendet (Abb. 4). Das Schüttmaterial wurde von Lastkraftwagen jeweils so dicht



Abb. 5
Seeseitige Böschung der
Versuchsschüttung bei
Campen

an den Rand der Schüttung gekippt, wie diese schon befahrbar war, und dann von einer Planierraupe ohne Rücksicht auf den Tidewasserstand über den Rand geschoben. Zur Sicherung der seeseitigen Schüttungskante wurde grobes Geröll (größer als 120 mm) in einer Neigung von 1:3 aufgeschüttet (Abb. 5). Die ursprünglich geplante Begrünung der Oberfläche der Schüttung nach vorheriger Kleiabdeckung wurde zurückgestellt, um das Verhalten der unbedeckten Oberfläche unter Einwirkung der hydraulischen Kräfte abzuwarten (4).

Beim abschnittsweisen Einbau, beginnend am Deckwerk, wurde der weiche, schlickige Wattsand teilweise verdrängt, so daß ein Mehrbedarf an Verhüttungsmaterial entstand, der zusammen mit anderen Verlusten (z. B. Setzung des Untergrundes, Verluste beim Transport) etwa 10 % betrug.

Abbrüche und Verflachungen der steilen Schüttungskante (1:3) aus grobem Lockergestein führten 1966 zu einem Zusatzversuch, durch den geklärt werden sollte, ob eine flacher geneigte Böschung (etwa 1:15) aus Feinschutt eine bessere Lösung darstellt. Bei diesem Versuch wurden rund 2000 t Material auf einen 60 m breiten Böschungstreifen verteilt und, soweit möglich, mit einem Oberflächenrüttler verdichtet (7). Einzelheiten über Herkunft und Zusammensetzung des Materials sowie über die Kosten der Versuchsschüttungen sind im Anlagebericht I behandelt.

D. Bisheriges Verhalten der Anschüttungsfläche bei Campen

Nach Aufschüttung des Versuchsfeldes im Herbst 1965 sind bis zum Herbst 1967 vier Nivellements zur Bestimmung der Höhenveränderungen der Schüttfläche ausgeführt worden (Abb. 7 und Anlagebericht II). In dieser Zeitspanne traten fünf Sturmfluten mit Scheitel-

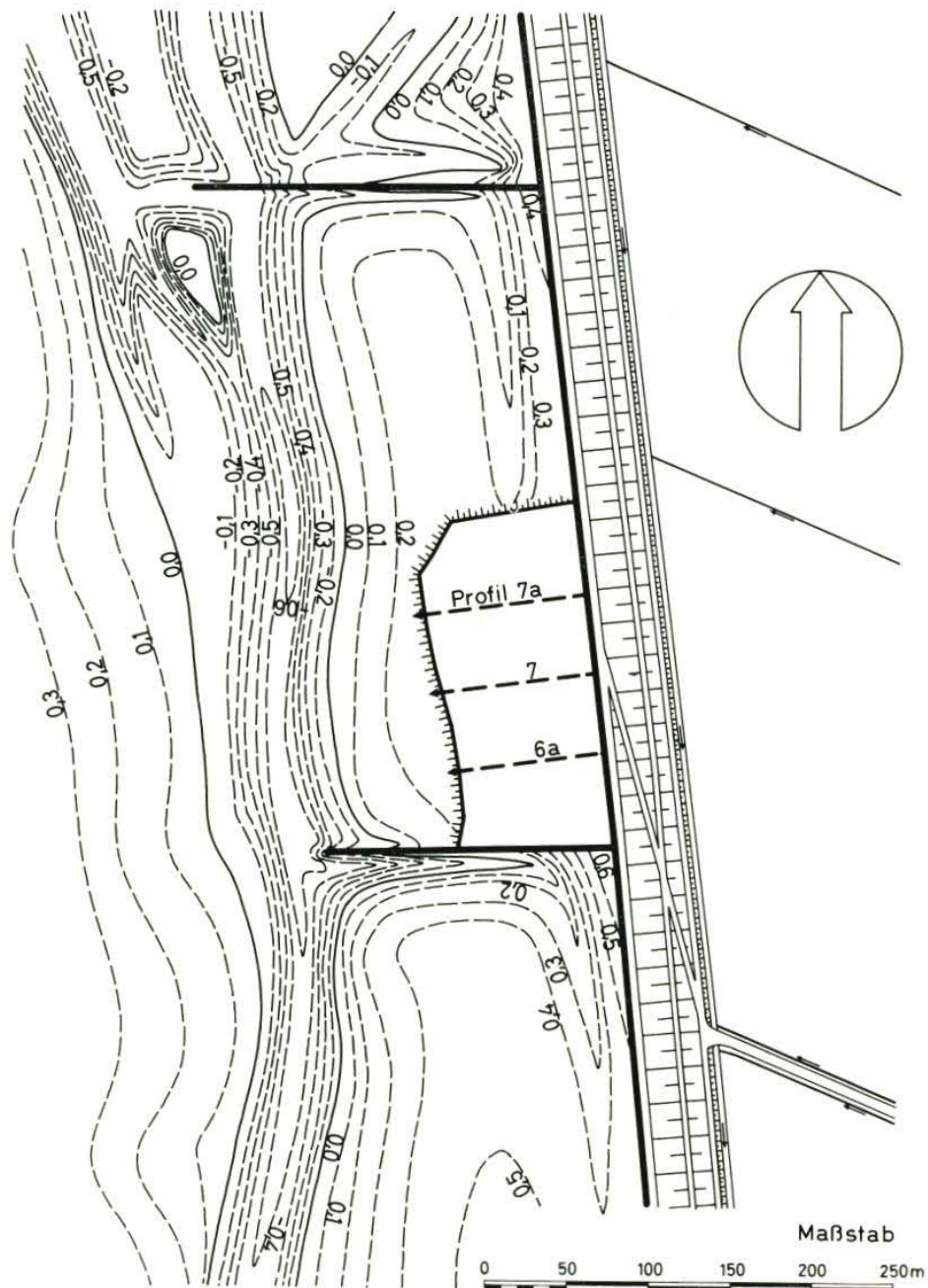


Abb. 6. Lageplan des Versuchsfeldes bei Campen (s. Abb. 1)

wasserständen von mehr als NN + 3,5 m auf, die das Versuchsfeld etwa 0,7 m im Bereich der Außenberme des Seedeiches überspülten. Bei den Sturmfluten wurde die Grasnarbe der Außenböschung des Deiches nördlich und südlich des Versuchsfeldes beschädigt, während sie im Schutz des Schüttkörpers keine Schäden erlitt. Die Verminderung des Wellenaufbaus wurde

an Hand der Treibselgrenze ermittelt; diese lag etwa 1 m tiefer als in den benachbarten Bereichen. Die Auswirkungen der Brandung zeigten sich auf dem Versuchsfeld in Umlagerungen von rolligem Material mit geringfügigen Höhenveränderungen, die stellenweise bis zu 10 cm betragen. Umlagerungen größeren Umfangs traten lediglich im seeseitigen Böschungsbereich auf, dort auch als Auswirkung der normalen Tidebewegung. Die anfangs steile Böschung (etwa 1:3) wurde auf 1:12 bis 1:17 abgeflacht und Geröll sowie Grobschutt zu einer strandwallartigen

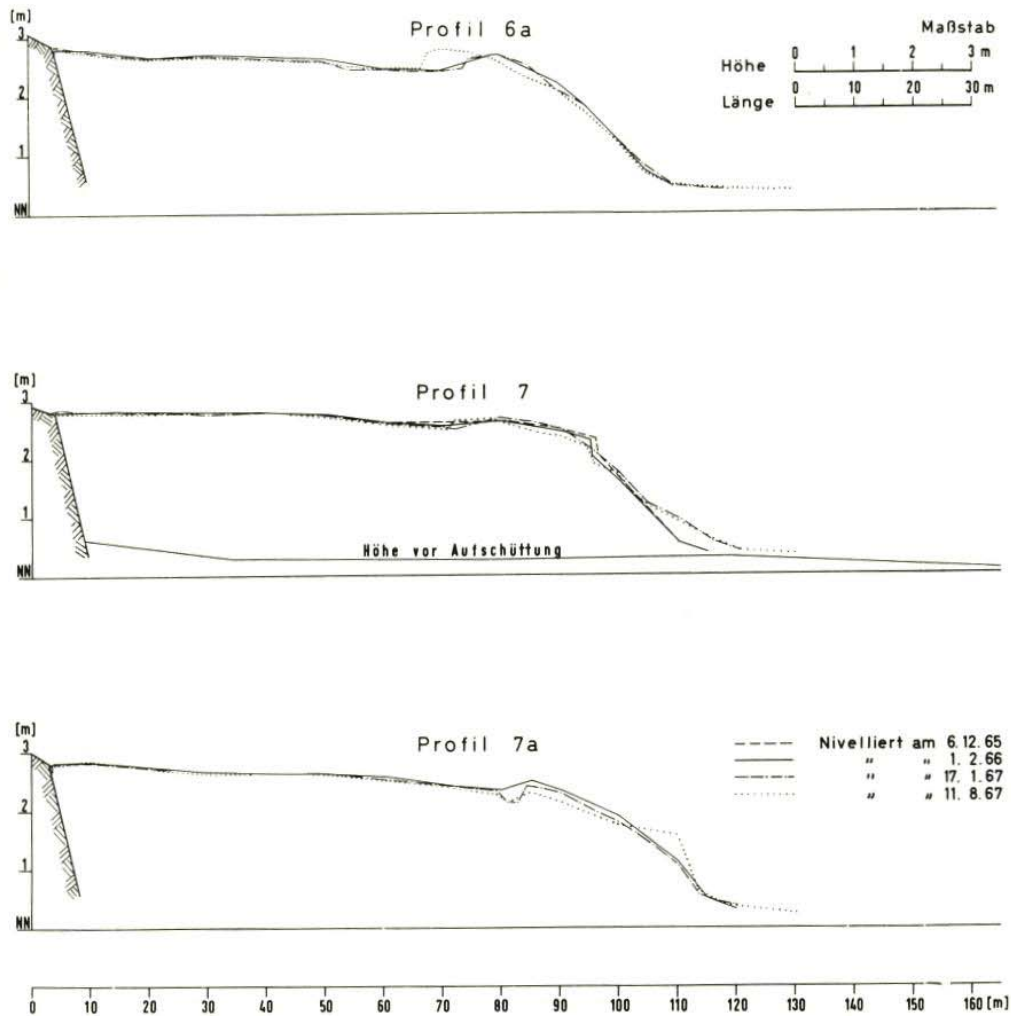


Abb. 7. Profile des Versuchsfeldes bei Campen (Lage der Profile s. Abb. 6)

Aufhöhung oberhalb der Böschung aufgeworfen. Feinkörniges Material – vornehmlich aus dem Böschungsbereich – wurde teilweise bis zum Deckwerk an der Bühnenwurzel im Süden des Versuchsfeldes verlagert. Die Auswirkungen der Brandungs- und Strömungskräfte sind bisher insgesamt gering gewesen. Dies ist vor allem auf die Eigenschaft des Feinschuttes zurückzuführen, der sich zementähnlich verfestigt und dadurch den Abbau durch erodierende Kräfte verzögert.

Über die Zusammenhänge zwischen den Materialeigenschaften und der Lagestabilität wurden bodenphysikalische Untersuchungen ausgeführt, deren Ergebnisse im Anlagebericht II zusammengefaßt sind.

Ein Materialtransport über die Betonberme des Deckwerks bis in den Bereich des Deichkörpers wurde bisher nicht festgestellt. Somit ist eine mögliche und durch die chemische Aktivi-

tät des Feinschuttes (pH-Wert ≈ 12) denkbare Schädigung der Grasnarbe am Außendeich nicht eingetreten und auch künftig nicht zu erwarten. Ebenso ergab eine von der Forschungsstelle Norderney vorgenommene Untersuchung der Wattsedimente in der näheren Umgebung des Versuchsfeldes keine erhöhten pH-Werte.

In diesem Zusammenhang sei auch das Ergebnis von Auslaugungs- und Aquarienversuchen mitgeteilt, die in der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg, durchgeführt wurden (nach schriftlicher Mitteilung von Herrn Professor MANN):

„Auslaugungsversuche mit Nordseewasser, die in der Hauptsache mit dem Feinschutt angestellt wurden, da dieser vorwiegend bei den Deichbauten mit dem Meerwasser in Berührung kommen würde, zeigten, daß der Gesamt-Salzgehalt des Wassers nur wenig verändert wurde. Von Bedeutung war nur, daß bei dem Auslaugungsversuch mit Feinschutt der pH-Wert des Seewassers nach 9,2, also ins Alkalische verschoben wurde (HAUCKE 1968).“

„Wir führten daher einige Versuche mit Brackwassergammariden (Flohkrebse) durch, die in Aufschwemmungen von Feinschutt mit Seewasser und Brackwasser verschiedenen Salzgehalts bei guter Durchlüftung gehalten wurden. Der pH-Wert war auch in unseren Versuchen von 7,8 auf 9,1 durch die Auslaugungen aus dem Feinschutt erhöht worden, doch zeigten sich bei den sonst relativ empfindlichen Gammariden (*Gammarus tigrinus* und *G. duebeni*) bei einer Beobachtungszeit von 24 Stunden keine Schäden.“

„Nach diesen Ergebnissen ist wohl kaum mit einer nachteiligen biologischen Wirkung irgendwelcher Stoffe, die aus den Hüttenrückständen ausgelaugt werden könnten, zu rechnen.“

„Aus Beobachtungen an den Deichschüttungen am Campener Leuchtturm ging hervor, daß das für den Schüttkörper verwendete Material mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit steril ist (HAUCKE 1968), denn bisher können keine Ansiedlungen von Organismen festgestellt werden. Wie weit sich in Zukunft Tiere und Pflanzen ansiedeln werden, muß abgewartet werden.“

Von der Forschungsstelle Norderney wurde dennoch eine eingehende biologische Untersuchung bei Campen über mögliche schädigende Auswirkungen der Verhüttungsrückstände eingeleitet, weil die Wattenfauna auf eine Änderung der ökologischen Randbedingungen erfahrungsgemäß sehr empfindlich reagiert. Ein gesichertes Ergebnis kann allerdings erst nach einigen Jahren erwartet werden.

Eine natürliche Begrünung deutet sich nur in spärlichen Ansätzen auf dem Versuchsfeld an, und zwar im wesentlichen dort, wo Mischschutt eingebaut worden war oder eine Überschlickung bei Sturmfluten erfolgte. Es handelt sich dabei fast ausschließlich um typische Vorlandkräuter und -gräser.

Da die Oberfläche einer Anschüttung aus Verhüttungsrückständen landschaftlich kein ansprechendes Bild bietet und eine Überschlickung mit anschließender Begrünung zwar grundsätzlich möglich, aber kostenmäßig zu aufwendig wäre, wurden 1968 von der Forschungsstelle Norderney Versuche zur Begrünung des Feinschutts auf dem Versuchsfeld ausgeführt. Im März wurden 29 im Handel erhältliche Gräserarten und -sorten ausgesät und ihre Entwicklung regelmäßig verfolgt. Die Aussaat zeigte sich in dem Feinschutt durchaus keimfähig, das Wachstum verharnte jedoch in einem frühen Stadium und die längsten Hälmlchen erreichten nur 4–5 cm Höhe. Auf einigen Beeten starben die Gräser im Laufe des Sommers ab, die übrigen nahmen abnorme gelbliche und rötliche Färbung an, hielten sich aber als zwergwüchsige, lockere Rasen. Die vegetative Vermehrung, die erst je nach Grasart zur Horstbildung oder zu gleichmäßiger Wuchsdichte führt, war völlig unterblieben. Relativ dicht und kräftig zeigten sich nur drei Sorten der Art *Festuca rubra*, die in einer Wildrasse den bekannten „Rot-schwingelrasen“ des natürlichen Vorlandes bildet.

Insgesamt verliefen die Versuche, durch eine unmittelbare Graseinsaat in den Feinschutt eine ausreichende und wünschenswerte Begrünung der Oberfläche zu erreichen, negativ. Dieses Ergebnis steht im übrigen in Übereinstimmung mit verschiedenen früheren Versuchen kommerzieller Unternehmen.

E. Bauweisen und deren Kosten

Drei Bauverfahren können für die Herstellung der Deichsicherheit im südlichen Abschnitt der Deichacht Krummhörn in Betracht gezogen werden:

- a. die Verstärkung und Erhöhung des bestehenden Deiches,
- b. die Schaffung eines Deichvorlandes
 1. durch Aufspülen des anstehenden Wattsandes,
 2. durch Aufschütten von Verhüttungsrückständen.

Die Baukosten einer Deichverstärkung (Abschnitt B und Abb. 2) würden sich auf etwa 1500,- DM/lfd. m stellen. Bei diesen Kosten sind die Erdarbeiten für den Deichkörper mit 500,- DM/lfd. m und die Verstärkung der vorhandenen Deichfußsicherung mit 1000,- DM/lfd. m veranschlagt. Erforderlicher Grunderwerb und Ausbau des Deichverteidigungssystems sind nicht berücksichtigt, damit die Kosten der einzelnen Bauweisen annähernd vergleichsfähig sind.

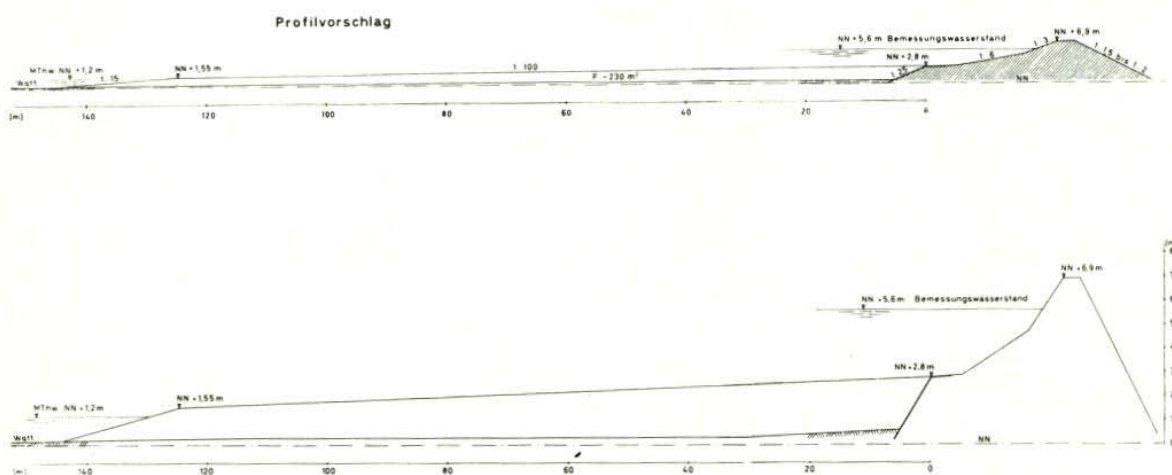


Abb. 8. Vorschlag für die Profilierung der Aufschüttungsfläche vor dem Campener Hauptdeich (oben unverzerrt, unten vierfach überhöht gezeichnet)

Die Schaffung eines Vorlandes durch Anlandungen in Lahnungssystemen ist auf Grund der hydraulischen und morphologischen Randbedingungen im betrachteten Abschnitt sehr langwierig und würde auch bei günstigen Voraussetzungen nicht zu der kurzfristig erforderlichen Deichsicherheit führen. Ein Vorland ist daher durch Aufspülen von Wattsand oder durch Aufschütten von Verhüttungsrückständen anzulegen.

Bei einer Vorlandaufspülung mit dem örtlich anstehenden Wattsand wird sich im Auflandungsfeld wegen der starken Verdünnung durch das Spülwasser eine annähernd horizontale Oberfläche ausbilden. Um die erforderliche Aufspülhöhe von rd. 1,85 m über Wattoberfläche bei dem vorgesehenen Vorlandquerschnitt von 230 m² und einer Vorlandbreite von 125 m (Abb. 8) zu erreichen, muß an der Seeseite der Spülfläche ein Damm errichtet werden, dessen Oberkante auf NN + 1,9 m anzuordnen ist. Nach Abschluß der Spülarbeiten wird dieser Damm mit einer seeseitigen Böschungsneigung von 1:3 als Uferschutzwerk (überhöhtes Deckwerk) beibehalten.

Die Kosten einer derartigen Aufspülung belaufen sich auf etwa 1350,- DM/lfd. m. In diesen Kosten sind neben den Bagger- und Aufspülkosten in Höhe von 550,- DM/lfd. m enthalten: der Bau des Spüldammes (Höhe NN + 1,90 m) zum Schutz der seeseitigen Vorlandkante mit 600,- DM/lfd. m, eine 20 cm starke Kleiabdeckung und die Begrünung des Vor-

landes mit etwa $1,50 \text{ DM/m}^2 = \text{rd. } 200,- \text{ DM/lfd. m}$. Bei geeigneter Zusammensetzung des Spülmaterials könnte auf die Kleiabdeckung verzichtet werden, so daß die Baukosten dann auf rd. $1200,- \text{ DM/lfd. m}$ zu veranschlagen sind.

Die Höhe der bei einer Verwendung von Verhüttungsrückständen zur Vorlandaufschüttung entstehenden Baukosten wird entscheidend beeinflusst von dem Transportkostenanteil, den die Hüttenindustrie für die Unterbringung ihrer Reststoffe im Küstenbereich übernimmt. Verbindliche Verhandlungen über eine Kostenteilung wurden bisher noch nicht geführt.

Auf Grund von Kostenbetrachtungen des Hüttenwerkes (vgl. hierzu Anlagebericht I) kann für die Verhüttungsrückstände, angeliefert und eingebaut im Küstenabschnitt bei Campen, ein Preis von etwa $2,70 \text{ DM/t} (= \text{rd. } 4,75 \text{ DM/m}^3)$ angenommen werden. Nach dem Profilveranschlag (Abb. 8) ist ein Materialbedarf von $230 \text{ m}^3/\text{lfd. m} + 10\%$ Mehrbedarf für Setzung und andere Verluste, also rd. $250 \text{ m}^3/\text{lfd. m}$ erforderlich. Damit wären für die Vorlandaufschüttung aus Verhüttungsrückständen etwa $1220,- \text{ DM/lfd. m}$ anzusetzen.

Zusätzlich sind bei der Vorlandaufhöhung die Kosten für die notwendige Abflachung der Deichbinnenböschung von 1:1,5 bis 1:2 auf eine Neigung von 1:3 mit rd. $280,- \text{ DM/lfd. m}$ zu berücksichtigen. Damit liegen die Kostenschätzungen für die drei Verfahren zwischen $1480,- \text{ DM/lfd. m}$ und maximal $1630,- \text{ DM/lfd. m}$, also annähernd auf gleicher Höhe, so daß sich ein entscheidender Kostenvorteil des einen oder anderen Verfahrens erst nach genauer Kalkulation ergeben würde.

Ein Vergleich der drei Möglichkeiten zur Herstellung der erforderlichen Deichsicherheit ausschließlich auf der Grundlage der Kosten ist aber ohnehin unrichtig, weil die Wirkungen, die mit den Bauweisen erzielt werden, in mehrfacher Hinsicht unterschiedlich sind, wie die nachstehende Beurteilung der Bauweisen zeigt.

F. Beurteilung der Bauweisen

Die Deichverstärkung und Deicherhöhung ist ein Verfahren des „passiven Deichschutzes“, die beiden anderen Bauverfahren – Aufspülung bzw. Aufschüttung eines Vorlandes – gehören zum „aktiven Deichschutz“. Es ist heute unbestreitbar, daß der „aktive“ Schutz für das bedeihte Gebiet eine größere Sicherheit darstellt als der „passive“ Schutz (vgl. hierzu die Untersuchung: „Passive oder aktive Deichsicherheit“ (6)).

Außer der mit der Schaffung eines Deichvorlandes erreichbaren größeren Deichsicherheit gibt es nach WENHOLT (in 6) noch zahlreiche weitere Vorteile, die der aktive Deichschutz bietet:

„Ein Vorland:

bricht die Brandungswelle und schwächt dadurch deren Angriffskraft auf den Deichkörper, vermindert die Höhe der Brandungswelle und damit gleichzeitig die Höhe der auflaufenden Wellen am Deich, sichert in hervorragender Weise den Deichfuß und macht kostspielige Kunstbauten und deren laufende Unterhaltung überflüssig, verhindert die weitere Höhenabnahme des Watts vor den Deichen, verhindert die Bildung von Prielen in Nähe des Deiches und im Zusammenhang damit die für den Deichfuß gefährlichen Längsströmungen, bietet eine willkommene Reserve an Kleiboden und Grassoden für die laufende Deichunterhaltung und für notwendig werdende Deichverstärkungen, ermöglicht letzten Endes eine Erweiterung der Deichnutzung als Weide und bietet damit eine zusätzliche Einnahmequelle.“

Diese Vorteile, die ein natürliches Vorland für die Deichsicherheit hat, gelten überwiegend auch für ein durch Aufspülung von Wattboden oder Aufschüttung von Verhüttungsrückständen

künstlich angelegtes Deichvorland. Mit einer solchen künstlichen Vorlandherstellung kann zudem ein scharliegender Deich in verhältnismäßig kurzer Zeit strombruchsicher gemacht werden. Auch ist erwähnenswert, daß der Deichkörper selbst während der Bauzeit, d. h. der Herstellung des Vorlandes, unangetastet bleibt; er wird also in seiner Wehrfähigkeit zu keiner Zeit beeinträchtigt.

Jedes der beiden Verfahren „Aufspülung“ bzw. „Aufschüttung“ hat naturgemäß seine Vor- und Nachteile; die hauptsächlichsten sind in der folgenden Tabelle einander gegenübergestellt.

Wattbodenaufspülung	Aufschüttung von Verhüttungsrückständen
Das Watt vor der Spülfläche wird durch die Bodenentnahme verändert	Das Watt vor der Aufschüttungsfläche bleibt unberührt
Der Ablauf der Bagger- und Aufspülarbeiten sowie insbesondere der Bau des Spüldammes werden von Wetter- und Tideverhältnissen beeinflusst	Die Aufschüttungsarbeiten sind vom Wetter weniger abhängig
Die natürlichen Neigungen der aufgespülten Oberfläche sind von der jeweiligen Bodenzusammensetzung abhängig. Ohne zusätzliche Profilierungsarbeiten sind bei dem örtlich anstehenden Wattsand Neigungen von 1:50 bis 1:200 erreichbar	Das Schüttprofil kann bei gleichbleibenden Eigenschaften der Verhüttungsrückstände in der am wirksamsten erscheinenden Form hergestellt werden
Auf der aus reinem Wattsand aufgebauten Spülfläche können bis zur Abdeckung mit Kleiboden Verwehungen auftreten	Nennenswerte Verwehungen treten nicht auf
Materialumlagerungen durch strömendes und brandendes Wasser treten auf dem begrünnten Vorland nicht auf	Bei der Aufschüttung von Verhüttungsrückständen können durch strömendes und brandendes Wasser Materialumlagerungen auftreten
Die volle Widerstandsfähigkeit der Aufspülungsfläche wird erst mit der Begrünung nach einiger Zeit erreicht	Die erreichbare Widerstandsfähigkeit wird bereits während des Einbaues erzielt
Im Jahre können etwa 4 bis 5 km aufgespült werden	Der Baufortschritt der Aufschüttung ist von den hüttenseitigen Liefermöglichkeiten abhängig. Zur Zeit abschätzbar ist eine Deichsicherung von etwa 1,5 km/Jahr
Öffentliche Straßen und Wege werden nicht benutzt	Das öffentliche Verkehrsnetz wird beim Landtransport zusätzlich belastet, sofern nicht eine besondere Umschlagstelle in Nähe des Verwendungsortes eingerichtet und das Material nicht auf einer aus Verhüttungsrückständen geschütteten Fahrbahn transportiert wird
Die Widerstandsfähigkeit des begrünnten Vorlandes bleibt im Laufe der Zeiten unverändert	Die Erosionsbeständigkeit der Aufschüttung ist wesentlich bestimmt durch die chemische Verfestigung, deren Zeitabhängigkeit über Jahre hinweg noch nicht bekannt ist (s. a. Anlageber. II, 14. 2)
Das Vorland erfordert laufende Unterhaltungs- und Pflegearbeiten am Grünland, an den Entwässerungsgräben und am Uferdeckwerk	Am Schüttkörper beschränken sich Unterhaltungsarbeiten auf gegebenenfalls notwendigen Materialersatz im Böschungsbereich

Das begrünte Vorland kann landwirtschaftlich genutzt werden. Im Notfall können aus ihm Kleiboden und Soden für die Sicherung des Deiches entnommen werden

Das Landschaftsbild eines begrünten Vorlandes ist gut

Diese Vorteile eines begrünten Vorlandes bestehen bei der Aufschüttung nicht

Das Landschaftsbild eines Schüttkörpers aus Verhüttungsrückständen ist unbefriedigend

Wägt man die Vor- und Nachteile gegeneinander ab, die eine Aufspülung mit Wattboden bzw. eine Aufschüttung mit Verhüttungsrückständen haben, so dürfte insgesamt der Aufspülung der Vorzug zu geben sein.

G. Erkenntnisse aus dem bisherigen Verhalten der Anschüttungsfläche bei Campen

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der einzelnen Komponenten der Verhüttungsrückstände sind in gewissen Grenzen veränderlich. Da sich der Feinschutt als die einzige Komponente der Verhüttungsrückstände ergeben hat, die sich wegen ihrer zementähnlichen Eigenschaften zur Oberflächenabdeckung des Schüttkörpers eignet, wäre insbesondere für den Feinschutt zu prüfen, ob die Voraussetzung für seine Verwendung, nämlich die relativ gute Lagestabilität auf Grund der Verfestigungseigenschaften, gleichbleibend gegeben ist. Deshalb ist die Zusammensetzung des anzuliefernden Materials schon im Lieferwerk auf entsprechend optimale Werte festzulegen.

Nach den Ergebnissen bodenphysikalischer Untersuchungen ist das bei der Versuchsaufschüttung angewandte Einbauverfahren verbesserungsbedürftig. Eine Entmischung des abgestuft angelieferten Ausgangsmaterials ist beim Einbau soweit wie möglich zu vermeiden. Das Material sollte künftig schichtweise auf den Wattboden geschüttet werden, um einerseits dessen Stabilität zu erhöhen und andererseits eine Verdichtungsmöglichkeit der Schüttung zu ermöglichen. Hierbei sollte der Wassergehalt des Feinschutts etwa 15 % betragen und sein Trockengewicht auf ungefähr $1,7 \text{ t/m}^3$ verdichtet werden.

Die bei der Versuchsschüttung entlang dem Deichdeckwerk als Drainage ausgeführte Geröllschüttung (Abb. 4) wird nicht für notwendig angesehen, weil die Grundwasserverhältnisse durch die Aufschüttung nach den bisherigen Erfahrungen nicht beeinflusst werden.

Die seeseitige Böschung des Schüttkörpers ist auf Grund der Erfahrungen am Versuchsfeld mit einer Neigung von etwa 1:15 oder noch flacher anzulegen; damit würde sie weitgehend die Wirkung der Wellenkräfte bei normalen Tiden schadlos aufnehmen können.

Die bisherigen Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Versuchsschüttung bei Campen haben zu dem in Abb. 8 dargestellten Profil geführt. An der Deckwerksoberkante des Deiches liegt die Schüttung auf NN + 2,80 m. Seewärts fällt sie auf 125 m Länge mit einer Neigung von 1:100 auf NN + 1,55 m ab. Die anschließende seeseitige Böschung des Schüttkörpers erhält eine Neigung von 1:15 und ist etwa 17 m lang. Die Gesamtbreite des geschütteten Vorlandes ist damit $125 + 17 = 142 \text{ m}$ gegenüber rund 100 m des Versuchsfeldes.

Unter Berücksichtigung der Höhenverhältnisse des aufgeschütteten Vorlandes kann dessen Breite mit 125 m als ausreichend für die Sicherung des Hauptdeiches angesehen werden. Das bedeutet, daß der Deichkörper, der sich nach der 1957/1961 ausgeführten Erhöhung in einem guten baulichen Zustand befindet und dessen Außenböschung ausreichend flache Neigungen hat, unverändert gelassen werden kann. Die steile Binnenböschung (1:1,5 bis 1:2) müßte jedoch abgeflacht werden.

Insgesamt hat sich erwiesen, daß die Verhüttungsrückstände für die Schaffung eines künstlichen Deichvorlandes hinsichtlich der Wechselbeziehungen zwischen angreifenden Wasserkräften (Strömung, Wellen, Brandung) und Lagestabilität gut geeignet sind.

Die Verwendungsmöglichkeit von Verhüttungsrückständen im Küstenschutz hat sich auch bei dem Lahnungsbau vor einem Schardeich in der Deichacht Norden gezeigt (Abb. 1). Dort sind Verhüttungsrückstände als Dammbaumaterial verwendet worden. Die Oberfläche der Außenlahnung wurde durch eine Asphaltbetondecke gesichert. Weiteres über dieses Bauvorhaben ist im Anlagebericht III enthalten [vgl. auch (1)]. Bei diesem Bauvorhaben handelt es sich allerdings nur um die Unterbringung kleiner Mengen von Verhüttungsrückständen, so daß damit die von der Hüttenindustrie erstrebte Ablagerung großer Mengen im Küstengebiet nur zum Teil gelöst werden kann.

H. Schriftenverzeichnis

1. ERCHINGER, H. F.: Küstenschutz durch Vorlandgewinnung. Wasser und Boden 19 (1967), H. 10, S. 307.
2. HENSEN, W.: Modellversuche über den Wellenaufbau an Seedeichen im Wattengebiet. Mitt. Franzius-Inst. H. 5, Hannover 1954.
3. JANSSEN, TH.: Gutachten über die Möglichkeit der Unterbringung von Verhüttungsrückständen im Vorfeld der niedersächsischen Nordseeküste (v. 5. 12. 1964) [nicht veröffentlicht].
4. KRAMER, J.: Deichverstärkung mit Verhüttungsrückständen. Bericht vom Oktober 1965 (nicht veröffentlicht).
5. KRAMER, LIESE, LÜDERS: Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 im niedersächsischen Küstengebiet. Die Küste 10 (1962), H. 1, S. 17.
6. LÜDERS, K. und andere Verfasser: „Passive“ oder „aktive“ Deichsicherung? (Das Fachgespräch am Runden Tisch.) Wasser und Boden 9 (1957), H. 10, S. 386.
7. RAGUTZKI, G.: Bodenphysikalische Untersuchungen zur Frage der Verwendbarkeit von Verhüttungsrückständen im Küstenschutz. Forschungsstelle Norderney, Jahresbericht 1966. Bd. XVIII, 1968.

Anlagebericht I

M. Haucke: Herkunft und Zusammensetzung der Verhüttungsrückstände sowie aufgewendete Kosten für die bisherigen Versuchsschüttungen

1. Vorbemerkung

Die Anstrengungen der Industrie zur Reinhaltung von Luft und Wasser haben mit z. T. großem finanziellen Aufwand beachtliche Erfolge erbracht.

Demgegenüber ist die Beseitigung bzw. Unterbringung fester Industrieabfälle (incl. Stäube und Schlämme) technisch und wirtschaftlich noch nicht befriedigend gelöst.

Die Gründe der Hoesch AG Hüttenwerke, die nicht in die metallurgischen Prozesse repetierfähigen und unverkäuflichen Reststoffe – im folgenden als „Verhüttungsrückstände“ bezeichnet – vor der Küste im Meer unterzubringen, sind neben wirtschaftlichen Gesichtspunkten:

- a) die zunehmende Verknappung des Kipp-Geländes in Hüttennähe – d. h. im industriellen Ballungsgebiet;
- b) die Einschränkung der Deponie-Möglichkeiten durch wassergesetzliche Vorschriften z. B. in Trinkwasser-Einzugsgebieten sowie bei der Genehmigung neuer Schuttkippen;
- c) die Inanspruchnahme von Flächen für Kippen, Halden und Schlammteiche, die damit als Industrie- und Wohngelände verlorengehen.

Ursprünglich bestand die Absicht, vor der Meeresküste langfristig nutzbare, für Verhüttungsrückstände geeignete Ablagerungsflächen zu suchen. Gemeinsame Überlegungen mit den für den Küstenschutz zuständigen Behörden ergaben, diese Stoffe für die Schaffung von Vorland zur Verstärkung und Sicherung scharliegender Hauptdeiche nutzbringend zu verwenden.

Die Versuche über die Verwendungsmöglichkeit von Verhüttungsrückständen im Deichschutz wurden in Zusammenarbeit mit der Deichacht Krummhörn vor dem scharliegenden Seedeich am Campener Leuchtturm ausgeführt (Abb. 1).

Zunächst wurden für einen Vorversuch 1964 etwa 1300 t in Form einer kleinen Dreiecksquerschnittsfläche vor dem Deichdeckwerk angeschüttet (3). Die Ergebnisse dieses Versuchs ermutigten zu einem Großversuch 1965 mit rd. 100 000 t Verhüttungsrückständen in Form einer sich 100 m seewärts erstreckenden Vorschüttung (Abb. 4, a). Im Jahre 1966 wurde die vordere Kante dieser Schüttung mit 2000 t Feinschutt überdeckt, um das Verhalten dieses Materials besser beurteilen zu können (Abb. 4, b).

2. Herkunft und Zusammensetzung

Der weit überwiegende Anteil der Nebenprodukte und Reststoffe eines gemischten Hüttenwerkes wird aufbereitet und dann entweder verkauft oder in die metallurgischen Prozesse zurückgeführt. Trotzdem hinterbleiben 50 bis 100 kg/t erzeugtem Rohstahl Verhüttungsrückstände, die beseitigt oder abgelagert werden müssen. Bei den Versuchen wurden die Verhüttungsrückstände in dem Mengenverhältnis, in dem sie in einem großen Hüttenwerk anfallen, zur Deichvorschüttung verwendet.

Die Herkunft des für die Vorschüttung vorgesehenen Materials läßt sich wie folgt kennzeichnen:

- a) Feuerfestes Material aus Ofen- und Pfannenausbrüchen, wie Dolomit, Schamotte, Magnesit, Silikate u. a.;

- b) Restschlacken aus der Roheisen- und Stahlerzeugung;
- c) Gießereirückstände aus Abstichrinnen und Gießgruben;
- d) Schlämme aus der Gasreinigung des Hochofens (Gichtgasreinigungsschlamm) und aus der Naßreinigung anderer Betriebe;
- e) Stäube aus Entstaubungsanlagen, Dachstaub usw.;
- f) Bauschutt und Erdaushub aus Bauvorhaben des Hüttenwerkes.

Alle festen Stoffe (außer Schlamm) werden einer Aufbereitungsanlage zugeführt, in der sie vom Eisen befreit und durch Siebung klassiert werden. Bei langfristig fast gleicher Zusammensetzung des Zulaufs entstehen durch den Aufbereitungsprozeß ziemlich homogene Komponenten, deren chemische Analyse und Kornverteilung sich nur wenig ändern. Dies gilt insbesondere für die sehr wichtige Hauptkomponente Feinschutt 0–8 mm.

Die im Großversuch 1965 eingebauten 100 000 t Material verteilten sich auf folgende Komponenten:

Tabelle 1

Bezeichnung	Korngrößenbereich mm	Gewichtsprozent
1. Feinschutt	0–8	32,5
2. Grobschutt	8–120	16,0
3. Geröll (= „Katzenköpfe“)	120–400	6,5
4. Gießereischutt (= Sand)	0–3	9,5
5. Gichtgasreinigungsschlamm	0–1	3,5
6. Erdaushub	nicht bestimmt	7,5
7. Mischgut (aus 1 bis 5)	0–500	24,5

3. Chemische Analysen und Meerwasserlöslichkeit

Die chemische Analyse der Hauptkomponenten des 1965 verwendeten Materials ist in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2 (Gewichtsprozent)

	Fein- und Grobschutt		Gießerei- schutt	Gichtgas- reinigungsschlamm
	1965	1967		
Fe	10,46	10,64	4,82	23,94
ber. als Fe ₂ O ₃	14,96	15,20	6,90	34,20
MnO	2,76	2,28	0,23	1,14
P ₂ O ₅	4,33	0,85	0,26	1,33
SiO ₂	36,45	47,66	77,80	11,40
Al ₂ O ₃ + TiO ₂	5,55	7,61	—	7,65
CaO	22,30	15,40	4,40	10,00
MgO	5,00	5,83	1,29	3,16
Cr ₂ O ₃	0,42	0,08	—	—
Ges. S	0,31	0,27	—	0,27
Sulfat	—	0,81	—	—
Ges. C	1,24	3,49	0,77	9,61
CO ₂	2,08	0,42	—	—
ZnO	—	< 0,01	—	8,96
Na ₂ O	0,77	0,35	—	0,12
K ₂ O	0,19	0,73	—	0,24
Glührückstand	—	95,12	96,42	—
Glühverlust	—	4,88	3,58	—
chem. geb. H ₂ O	2,84	2,03	1,28	8,20
pH-Wert	11,8	9,2	8,3	8,4

Die größeren Anteile des Grobschutts und ebenso das Geröll haben vom Feinschutt abweichende Stückanalysen. Es handelt sich überwiegend um feuerfeste Steine und Schlackenbrocken, deren Einzelanalysen in summa aber der angegebenen Feinschuttanalyse entsprechen. Beim Mischgut (Tabelle 1) handelt es sich um Material, das für den Großversuch von der Schuttkippe wiederaufgenommen wurde und dessen Zusammensetzung der prozentualen Verteilung der Komponenten 1-5 entspricht.

Da die Abdeckung bzw. die Oberfläche der Anschüttung aus Feinschutt besteht, ist dessen Analyse besonders wichtig. Der Feinschutt hat auf Grund hoher CaO- und SiO₂-Anteile einen gewissen Zementcharakter mit abbindenden und verfestigenden Eigenschaften. Die Feinschuttanalyse hat sich aber gegenüber 1965 (Großversuch) infolge der Stilllegung des Thomasstahlwerkes, das einen sehr kalk- und phosphorsäurehaltigen Schutt lieferte, geändert (Tabelle 2).

Die Änderung der chemischen Zusammensetzung dürfte vermutlich nicht ohne Einfluß auf den Abbindemechanismus sein. Es ist deshalb wichtig festzustellen, daß vom Hüttenwerk die chemische Zusammensetzung in gewissen Grenzen steuerbar ist, indem die verschiedenen Stoffzuläufe getrennt aufbereitet und versandt werden.

Der Gießereischutt ist im wesentlichen ein durch Eisenoxyd verunreinigter Sand. Der aus der Gasreinigung des Hochofens stammende Gichtgasreinigungsschlamm enthält über das chemisch gebundene Wasser von 8,2 % hinaus trotz jahrelanger Ablagerung noch einen Wasseranteil von ca. 40 %. Im Feststoffanteil dieses Schlammes befindet sich überwiegend Eisenoxyd (34,2 %) und ein bemerkenswert hoher Anteil Zinkoxyd (rd. 9 %).

Die Löslichkeit der Verhüttungsrückstände wurde durch Auslaugungsversuche mit Nordseewasser nach DIN 50 900 bestimmt. Da bei den Versuchen zur Deichvorschüttung überwiegend nur der Feinschutt (0-8 mm) mit dem Meerwasser in Berührung kommt, sind in Tabelle 3 lediglich die Werte für dieses Material angegeben.

Tabelle 3

		Bezeichnung der Lösungen*)			
		Feinschutt (1967) 0-8 mm Ø	Meerwasser	Zunahme	Abnahme
pH-Wert		9,2	7,8	1,4	
Leitfähigkeit	mS/cm	47,5	46,5	1,0	
Gesamthärte	°dH	303	346		
Calcium	g/l	1,38	0,32	1,06	
Magnesium	g/l	0,48	1,31		0,38
Natrium	g/l	11,90	11,30	0,60	
Kalium	g/l	0,08	0,02	0,06	
Sulfate	g/l	3,04	2,79	0,25	
Chloride	g/l	19,99	19,70	0,29	
Phenole	g/l	0,0002			
Rhodanide	g/l	n. n.			
Cyanide	g/l	n. n.			

*) Künstliches Meerwasser nach DIN 50 900. Standversuch: 96 Stunden Einwirkungszeit. Mischungsverhältnis Probe und Wasser 1:1. Auslaugungswasser vor Untersuchung filtriert.

Aus dem Löslichkeitsversuch ist ersichtlich, daß sich der Gesamt-Salzgehalt des Wassers beim Feinschutt nur geringfügig ändert. Bei der Auslaugung ist der pH-Wert gestiegen und die Leitfähigkeit hat sich leicht erhöht. Während der Gehalt an Calcium sich um das Vierfache erhöht (Probe von Oktober 1967), verringert sich der Magnesiumanteil erheblich. Die

Verringerung des Mg-Gehaltes wird verursacht durch die Erhöhung der Alkalität (Reaktion des Wassers mit Kalk) und der dann möglichen Bildung von unlöslichen Magnesium-Verbindungen.

Die möglichen Veränderungen der ökologischen Verhältnisse des betroffenen Meeresraumes sind annähernd aus den Löslichkeiten der Verhüttungsrückstände abschätzbar. Die Abdeckung besteht ausschließlich aus dem o. g. Feinschutt. Von den biologisch interessierenden Löslichkeiten der Cyanide, Rhodanide und Phenole wurden nur Phenole mit 0,2 mg/l nachgewiesen. Selbst wenn dann die 70 cm starke Deckschicht, die einer Materialmenge von 25 000 t entspricht, am Stoffaustausch beteiligt wäre, würden maximal nur 5000 g Phenole gelöst werden. An der Wechselwirkung mit dem Meerwasser nimmt wahrscheinlich aber zunächst nur der vordere Randstreifen von 10 bis 15 m Breite teil, und zwar mit der Frequenz und der Überspüldauer der Gezeiten sowie in Abhängigkeit vom Durchlässigkeitsverhalten des Schüttmaterials. Der Übergang gelöster Stoffe in das Wasser der freien See geht somit vermutlich nur außerordentlich langsam vonstatten.

4. Kosten

a) Material- und Frachtkosten (DM/t)

Die von den Hoesch AG Hüttenwerken/Dortmund im Küstenschutz zur Deichsicherung mit Verhüttungsrückständen aufgewendeten Mittel waren:

a) Vorversuch 1964	1 340 t	Kosten 50 000,- DM
b) Großversuch 1965	100 000 t	Kosten ca. 1 Mio. DM

Darüber hinaus wurden Gelder für die Herrichtung von Deichzuwegungen ausgegeben.

c) Zusatzversuch 1966	2 000 t	Kosten 50 000,- DM
-----------------------	---------	--------------------

Beim Großversuch 1965 (b) betragen die Gesamtkosten pro Tonne Material von der Hütte in Dortmund bis zum kompletten Einbau vor dem Deich bei Campen 10,50 DM; abzüglich der Kosten für die (eigens errichtete, versuchsbedingte) Umschlaganlage im Emdener Hafen (mit etwa 1,50 DM/t) ergab sich (nach Preisen und Bedingungen 1965):

Transporte + Umschlag vom Werk in Dortmund bis frei verladen Binnenschiff ankommend Emden	4,80 DM/t
Umschlag Schiff/Lkw (in Emden)	1,15 DM/t
Lkw-Transporte Emden-Campen (20 km) (nach GNT - 20 %/o)	2,81 DM/t
Planierdraupe am Deich	0,25 DM/t
	<u>9,01 DM/t</u>

Der Preis für Verhüttungsrückstände liegt nicht einheitlich fest, sondern hängt entscheidend ab von der Materialart, -qualität und -zusammensetzung (klassierter Hütteneschutt ist teurer als ein unklassierter Querschnitt aller Verhüttungsrückstände) und von der Abnahmemenge insofern, als eine Grundmenge klassierten Hütteneschutts verkäuflich ist, die Überschussmenge jedoch auf Kosten der Hütte untergebracht werden muß.

Aus den unterschiedlichen Voraussetzungen ergeben sich entsprechend gestaffelte Preise:

a. Hütteneschutt, fein (0-6 oder 0-8 mm) und grob (6-120 oder 8-140 mm) ab Hütte/ex Bunker	1,40 DM/t
b. - dto. - ab Hütte/ex Lager	0,70 DM/t
c. - dto. - frei Schiff Emden	5,10 DM/t
Verkauf nach a.-c. durch Händler, der Vertrag mit Hütte hat.	

- d. – dto. –, nicht verkäufliche Überschussmengen, z. B. Abgabe von klassiertem Hüttenschutt an Bauamt für Küstenschutz – frei ankommend Binnenschiff Hafen Emden 0,00 DM/t
Die Preiskalkulation basiert auf einer betriebswirtschaftlichen Kostenvergleichsrechnung „Unterbringung auf eigenen Kippen und Halden – Unterbringung an der Küste“.
- e. Verhüttungsrückstände unklassiert (repräsentativer Querschnitt aller Stoffe – z. B. nach Tabelle 1, und, sofern klassiert, nicht verkäufliche Überschussmengen. Für diese Materialzusammensetzung kann das Hüttenwerk einen anderen Preis kalkulieren, da es sich hierbei um die Realisierung des ursprünglichen Zieles, der gesicherten Unterbringung aller Verhüttungsrückstände (wenn möglich langfristig) handelt.
Aus einer entsprechenden Grenzkostenrechnung folgt, daß die Transporte von Dortmund bis frei verladen Schiff ankommend Emden mit 3,50 DM/t (statt 4,80 DM/t) anzusetzen sind.
Für den Einsatzort Campen folgen daraus Gesamtkosten von 7,70 DM/t (statt 9,- DM/t).
Falls die Hütte sich an den Gesamtkosten von 5,- DM/t beteiligt, wie es 1967 diskutabel erschien, verbliebe ein „Preis“ für den Abnehmer an der Küste von 2,70 DM/t

b) Spezifische Kosten (pro lfd. m Deich)

Beim Einsatz der Verhüttungsrückstände zur Deichsicherung gelten für das Hüttenwerk die vorgenannten Voraussetzungen, da im Kern des Vorschüttprofils die Stoffe nach Tabelle 1, also Unklassiertes und Überschussmengen untergebracht werden können. Lediglich ca. 25 % klassierter Hüttenschutt – Feinschutt 0 bis 6 mm oder 0 bis 8 mm Korngrößendurchmesser – wird zur Oberflächenabdeckung benötigt.

Für den Einsatzort Campener Leuchtturm und für den Fall des Schüttprofilvorschlages nach Abb. 8 ergibt sich:

Querschnittsfläche	230 m ² /lfd. m Deich
die entsprechende Menge	450 t/lfd. m Deich

Die resultierenden Kosten ergeben sich somit zu:

$$450 \text{ t/m} \times 2,70 \text{ DM/t} = 1215,- \text{ DM/lfd. m Deich}$$

Anlagebericht II

G. Ragutzki: Bodenphysikalische Untersuchungen der verwendeten Verhüttungsrückstände

Die nachstehenden Ergebnisse sind die Zusammenfassung eines Berichts, der im Jahresbericht 1966 der Forschungsstelle Norderney (7) veröffentlicht wurde:

1. Die Feststoffbewegung durch strömendes Wasser und die Lagestabilität als Grenzfall der Feststoffbewegung werden vom Material her grundsätzlich durch folgende Parameter beeinflusst:
 - a. Spezifisches Gewicht,
 - b. Korndurchmesser der Bodenteilchen,
 - c. Korngrößenverteilung (Ungleichförmigkeitsgrad, Einheitlichkeitsmodul, maßgebender Korndurchmesser),
 - d. Eigenschaften des Einzelkornes (Kornform, Oberflächenrauigkeit, Porosität),
 - e. die Kohäsion, die von der Korngrößenverteilung, dem Porenanteil und den chemischen Eigenschaften abhängig ist.
2. Als rolliges Material – maßgebend sind die Parameter a bis d – unterscheiden sich die Verhüttungsrückstände (abgesehen von dem Grobschutt 8–120 mm und dem Geröll 120–600 mm) im Hinblick auf die angreifenden Kräfte und die erforderliche Lagestabilität nicht wesentlich von marinen Sanden. Die Erosionsgrenzgeschwindigkeiten sind mit etwa $v_g = 0,2$ bis $0,8$ m/s anzunehmen. Infolgedessen wird das im Anlieferungszustand sehr gut abgestufte Material (Feinschutt, Gießereisande, Abb. 9 und 10) durch Brandungs- und Strömungskräfte bewegt, entmischt und zonenweise nach Körnungen getrennt abgelagert (Abb. 11 und 12).
3. Für die im Brandungsbereich zur Deichsicherung eingebauten Verhüttungsrückstände ist überhaupt nur dann eine ausreichende Lagestabilität zu erwarten, wenn Kohäsionseigenschaften vorhanden sind. Diese Voraussetzung wird lediglich vom Feinschutt erfüllt. Die Festigkeitseigenschaften resultieren dabei aus der zementähnlichen chemischen Zusammensetzung. Zur Bestimmung der Verfestigung nach Art und Größenordnung wurden einfache Zylinderdruckversuche ausgeführt.
4. Für die lockerste Lagerung wurde im Normversuch ein Trockenraumgewicht von $1,32$ t/m³ ermittelt. Der entsprechende Grenzwert für die dichteste Lagerung beträgt $1,73$ t/m³. Im Proctor-Versuch wurde dagegen bei einem Wassergehalt von 14 % das größte Trockenraumgewicht mit $1,96$ t/m³ bestimmt. Aus dem mittleren spezifischen Gewicht von $2,95$ t/m³ errechnen sich die entsprechenden Werte für den Porenanteil zu $n_o = 55$ %, $n_d = 41$ % und $n_p = 34$ %. (Vergleichswerte für ungleichförmigen Sand: $n_o = 40$ %, $n_d = 30$ %.)
5. Die Zylinderdruckversuche mit Feinschutt ergaben nach Lagerung der Proben (Abmessungen $d/h = 3,6/7,2$ cm) in Seewasser 28-Tage-Festigkeiten von rd. 3 kg/cm² (Abb. 13). Zum Vergleich sind die entsprechenden Werte für Proben bei Süßwasserlagerung eingetragen, die auf einen anderen Abbindechemismus hindeuten. An der Luft getrocknete Proben schließlich erreichten Festigkeiten bis zu 10 kg/cm². Mit einem Reibungswinkel von $\varrho = 37^\circ$, der in Dreiaxial- und Rahmen-Scherversuchen bestimmt wurde, errechnen sich daraus Haftfestigkeitsbeiwerte von $c = 0,7$ bis $2,5$ kg/cm².
6. Voraussetzung für die Verfestigung in dieser Größenordnung ist bei gleichbleibender chemischer Zusammensetzung die gut abgestufte Korngrößenverteilung mit einem Anteil der Korngrößen unter $0,06$ mm von mindestens 12 % sowie eine Verdichtung auf Trocken-

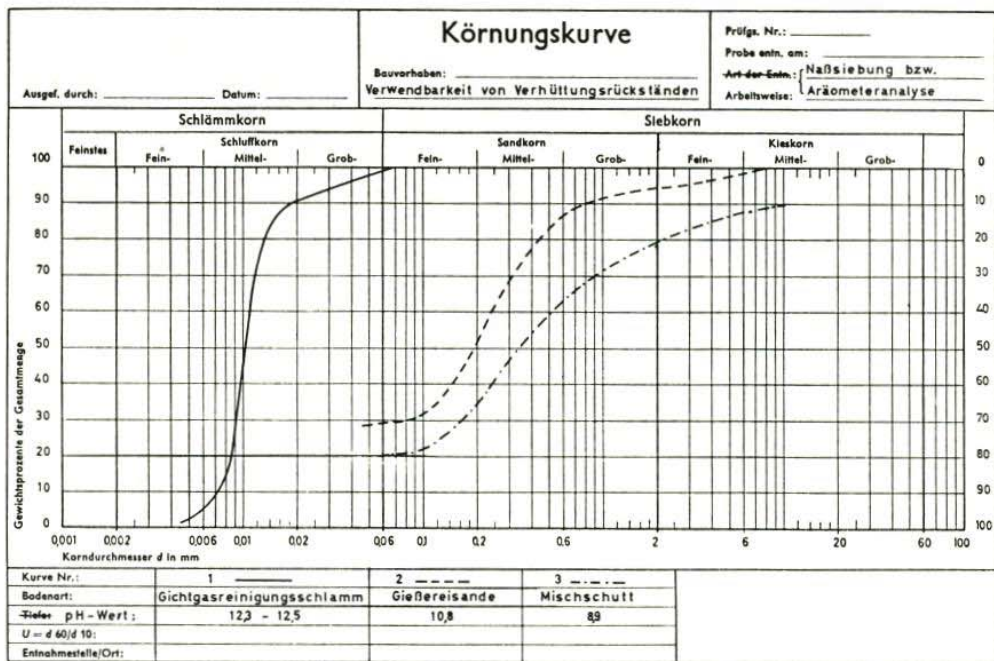
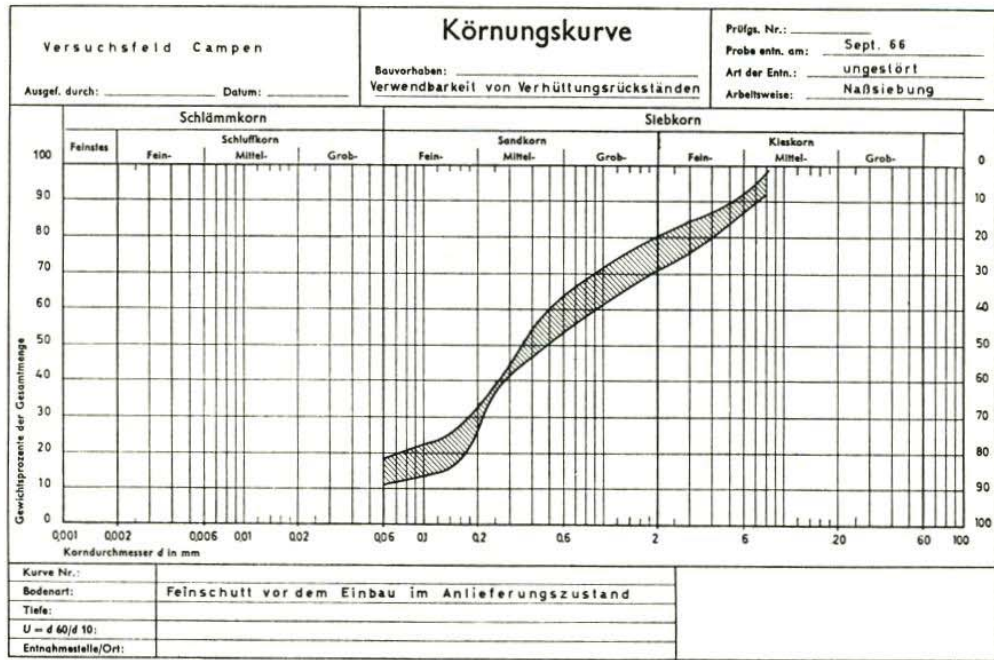


Abb. 9 und 10. Korngrößenverteilung der eingebauten Verhüttungsrückstände

raumgewichte von über 1,7 t/m³ bei einem Einbauwassergehalt von rd. 14 % (Abb. 9, 11 und 13).

- 7.1 Nicht geklärt ist die Frage, inwieweit die Verfestigung auf die Dauer gegen Auslaugung, Austauschreaktionen u. ä. resistent ist.
- 7.2 Ferner wurde nicht untersucht, ob eine Aktivierung latent vorhandener hydraulischer Eigenschaften durch geringe Zugaben von Portlandzement o. ä. möglich ist.
8. In seiner Eigenschaft der Verfestigung ist der Feinschutt vergleichbar mit Ton, Lehm und Klei in halbfester bis harter Konsistenz. Diesen kohärenten Erdstoffen entsprechend

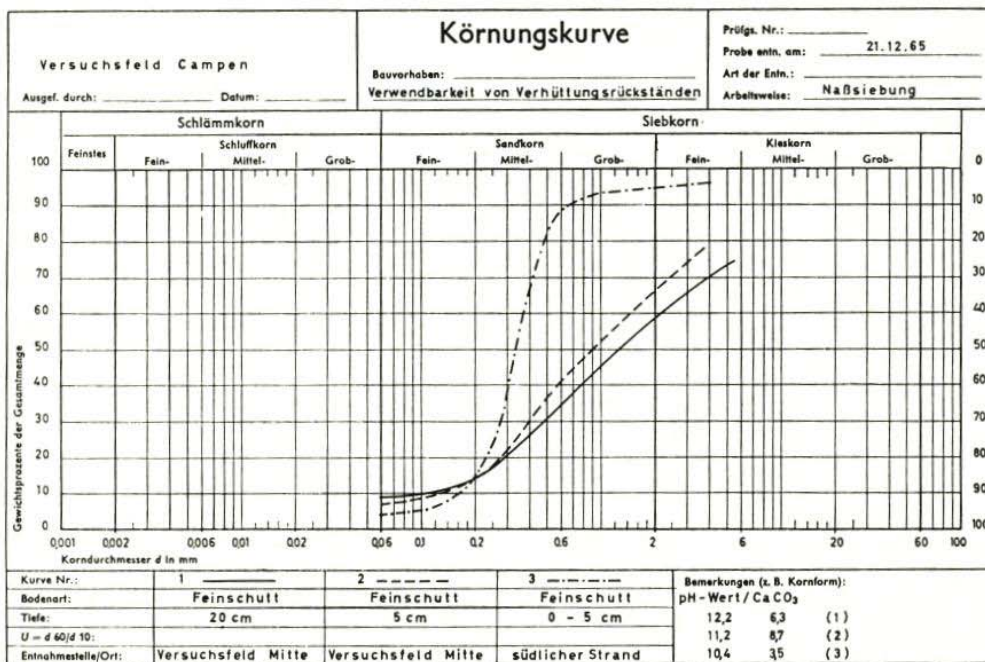
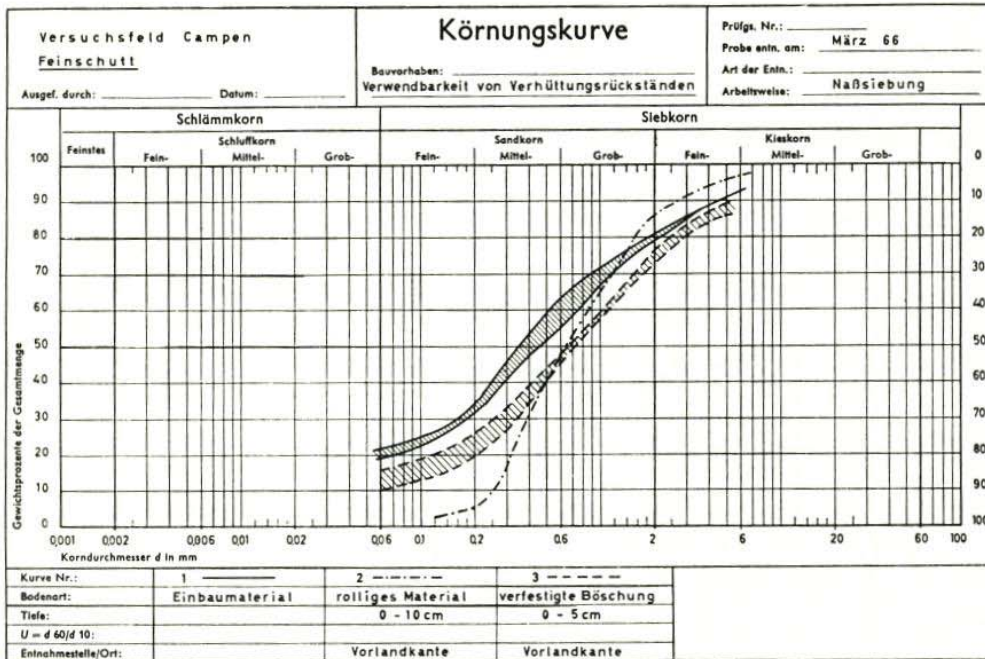


Abb. 11 und 12. Korngrößenverteilung des Oberflächenmaterials (Feinschutt) nach Verfestigung oder Umlagerung im Vergleich zum Einbauzustand

ist die untere Erosionsgrenze bei Geschwindigkeiten von $v_g = 1,5$ bis $2,0$ m/s anzunehmen.

9. Da im Brandungsbereich die anzunehmenden Erosionsgrenzgeschwindigkeiten überschritten werden, ist eine absolute Lagestabilität nicht erreichbar.
10. Die obere Grenze der Erosionsbeständigkeit liegt wahrscheinlich bei $v_g = 4$ m/s. Sie wäre maßgebend, wenn eine völlig gleichmäßige Verfestigung erreichbar und das Material absolut verwitterungsbeständig wäre.

11. Nach Beobachtungen auf dem Versuchsfeld Campen beschränkt sich der Bereich starker Verfestigung auf eine Tiefe von 2 bis rd. 10 cm, wobei die Identität mit den Versuchswerten über Korngrößenverteilung, pH-Wert, Trockenraumgewicht und teilweise auch über CaO-Analysen nachgewiesen wurde. Bei örtlich und zeitlich begrenzter Druckschlagbeanspruchung können im Zusammenwirken mit Strömungskräften Oberflächenteile schollenartig herausgebrochen werden.

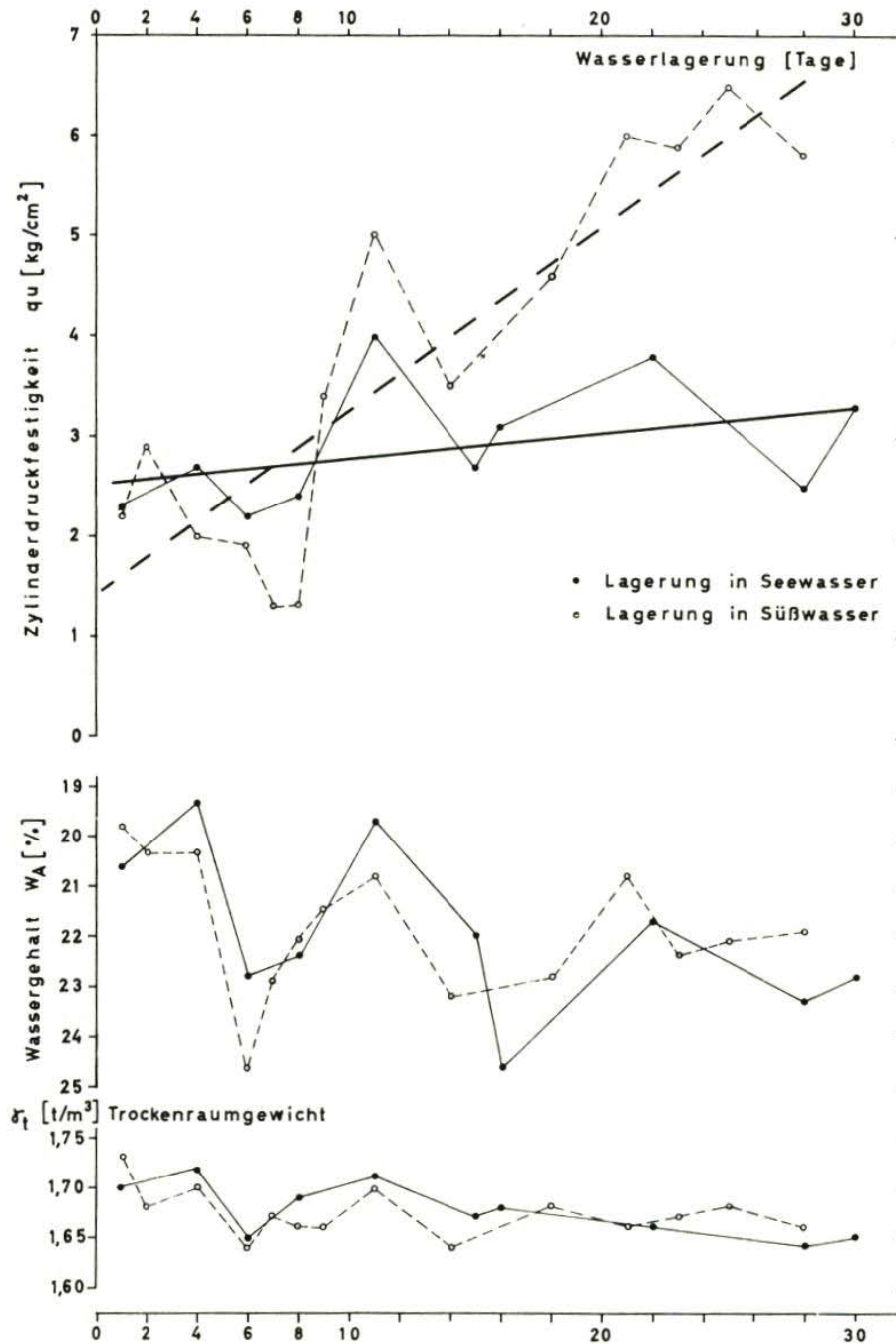


Abb. 13. Verfestigungswerte des Feinschuttes nach Zylinderdruckversuchen

12. Da der Durchlässigkeitsbeiwert mit $k = 2 \cdot 10^{-3}$ cm/s und der Porenanteil mit $n = 43,5\%$ bei einem Trockenraumgewicht von $1,7$ t/m³ verhältnismäßig groß sind, werden sich Witterungseinflüsse nachteilig auf die Verfestigung im Oberflächenbereich auswirken.

13. Eine Vorstellung über die Abrasion in bestimmten Zeitspannen vermitteln die mehrmals ausgeführten Nivellements vom Versuchsfeld Campen (Abb. 6 und 7). Vergleichbar sind die Profile 6a, 7 und 7a, da in den anderen Querschnitten seitlich angreifende Kräfte einen überdurchschnittlichen Abtrag verursachen.
- 14.1 Auf der Oberfläche des Versuchsfeldes (Höhenbereich NN + 2,50 m bis NN + 2,80 m) ist nur eine unwesentliche Höhenabnahme festzustellen. Sie beträgt vereinzelt höchstens 5 bis 10 cm.
- 14.2 Die anfangs vorhandene „beton“-ähnlich verfestigte Oberflächenschicht im südlichen Teil des Versuchsfeldes ist inzwischen weitgehend zersetzt. In das durch Brandungsströmungen bewegte rollige Material sind stellenweise Wattsedimente eingelagert worden.
15. Stärkere Umlagerungen – verbunden mit Profilländerungen – sind bisher nur im seeseitigen Böschungsbereich eingetreten. Im Beobachtungszeitraum, der nicht die nach Änderung der ursprünglich geplanten Versuchsdurchführung – Vermörtelung der Steinschüttung – aufgetretene Abflachung umfaßt, ist die Böschung um 0,5 bis 6 m abgebaut bzw. umgelagert worden (Abb. 7, Profil 7a). Die Böschungsneigungen haben sich auf 1:10 bis 1:17 abgeflacht. Oberhalb der Erosionsflächen ist ein Brandungswall (NN + 2,4 m bis NN + 2,8 m) aus Geröll und Grobschutt aufgeworfen (Abb. 7, Profil 6a). Feinkörniges Material wurde teilweise bis an das Deckwerk des Seedeiches südlich des Versuchsfeldes umgelagert. Das auf der Böschung verteilte Geröll führt zu einer Abminderung der angreifenden Kräfte.
16. Die übrigen Komponenten der Verhüttungsrückstände – Gießereisande, Gichtgasreinigungsschlamm – sind lediglich als Füllmaterial verwendbar.
17. Beim Gichtgasreinigungsschlamm beträgt die Steifeziffer (abhängig von Konsistenz und Belastung) etwa 20 kg/cm². Diese starke Zusammendrückbarkeit könnte bei ungleichmäßigem Einbau zu Setzungsmulden führen. Um den Einstau von Oberflächenwasser auszuschließen, sind daher stärker als bisher geneigte Böschungen – etwa 1:30 anstatt 1:200 – vorzusehen.

H. F. Erchinger: Verhüttungsrückstände im Lahnungsbau bei Ostermarsch

1. Veranlassung

Vor dem scharliegenden Hauptdeich der Deichacht Norden bei Ostermarsch – etwa 4 km nordöstlich von Norddeich (Abb. 1) – sollte 1967 auf dem sehr niedrigen Watt eine hauptdeichparallele, etwa 900 m lange schwere Lahnung als Glied eines Lahnungsnetzes zur Vorlandgewinnung gebaut werden. Bei dieser vorderen Querlahnung bereitete das übliche Bauverfahren unter Verwendung des anstehenden Wattbodens als Lahnungskern Schwierigkeiten (1), da der schlickreiche, schluffige Wattboden sich hierfür nicht eignete. Dieser Mangel führte zur versuchsweisen Verwendung von Verhüttungsrückständen, die im Versuchsfeld Campen eine relativ gute Lagestabilität gezeigt hatten.

2. Transport der Verhüttungsrückstände zur Baustelle

Die Verhüttungsrückstände wurden in Emden vom Binnenschiff auf Lastkraftwagen umgeschlagen und von dort zum Lagerplatz am Fuß des Schardeiches bei Ostermarsch transportiert. Angeliefert wurden Feinschutt – Körnung 0–8 mm – und Grobschutt – Körnung 8 bis 120 mm.

Vom Lagerplatz aus wurde zunächst aus Verhüttungsrückständen eine rd. 200 m lange, 1 m hohe Fahrspur an der Luvseite eines vorhandenen Schüttsteindammes nach der Lahnungstrasse gebaut (Abb. 14). Material und Geräte konnten so auf einfache Weise zur Lahnungsbaustelle transportiert werden. Hierdurch wurde für die Bauabwicklung ein entscheidender Vorteil erreicht, da die schwierigen Verkehrsverhältnisse auf den Anlandungsflächen sich in der Landgewinnung erschwerend und verteuern auswirken.

Das Material wurde vor Kopf eingebaut, planiert und durch das ständige Befahren mit Lastwagen nach kurzer Zeit zu einem festen Gefüge verdichtet. Die Eigenschaft des verdichteten Feinschuttes, bei Wasseraufnahme eine Ver kittung zu erfahren, wirkte sich vorteilhaft aus.

3. Der Lahnungsbau

Die schwere Lahnung hat den in Abb. 15 dargestellten Querschnitt erhalten. Die äußere Fußsicherung mit Schüttsteinvorlage sowie die Holztafeln an der Binnenseite wurden vor dem Anschütten eingebaut. Dann wurde das Material bis zu einer solchen Höhe geschüttet, daß die obere Breite sich noch zum Befahren eignete (Abb. 16). Die Oberfläche lag etwa 50 cm unter MThw und wurde täglich zweimal überspült. Ausspülungen und Umlagerungen traten jedoch nur in sehr geringem Umfange ein.

Nachdem der Unterbau auf der ganzen Lahnungstrecke auf diese Weise eingebracht war, konnten der obere Kernbereich sowie die Abdeckung aus 12 cm Asphaltbeton in Tagesabschnitten von etwa 50 m Länge eingebaut, profiliert und verdichtet werden (Abb. 17).

Die ursprüngliche Absicht, in die Krone der Lahnung Filterrohre zur Entlüftung des Kerns einzubauen, wurde aufgegeben, nachdem sich gezeigt hatte, daß der mit Asphaltbeton abgedeckte Lahnungsquerschnitt infolge der geringen Durchlässigkeit und der entsprechend hohen

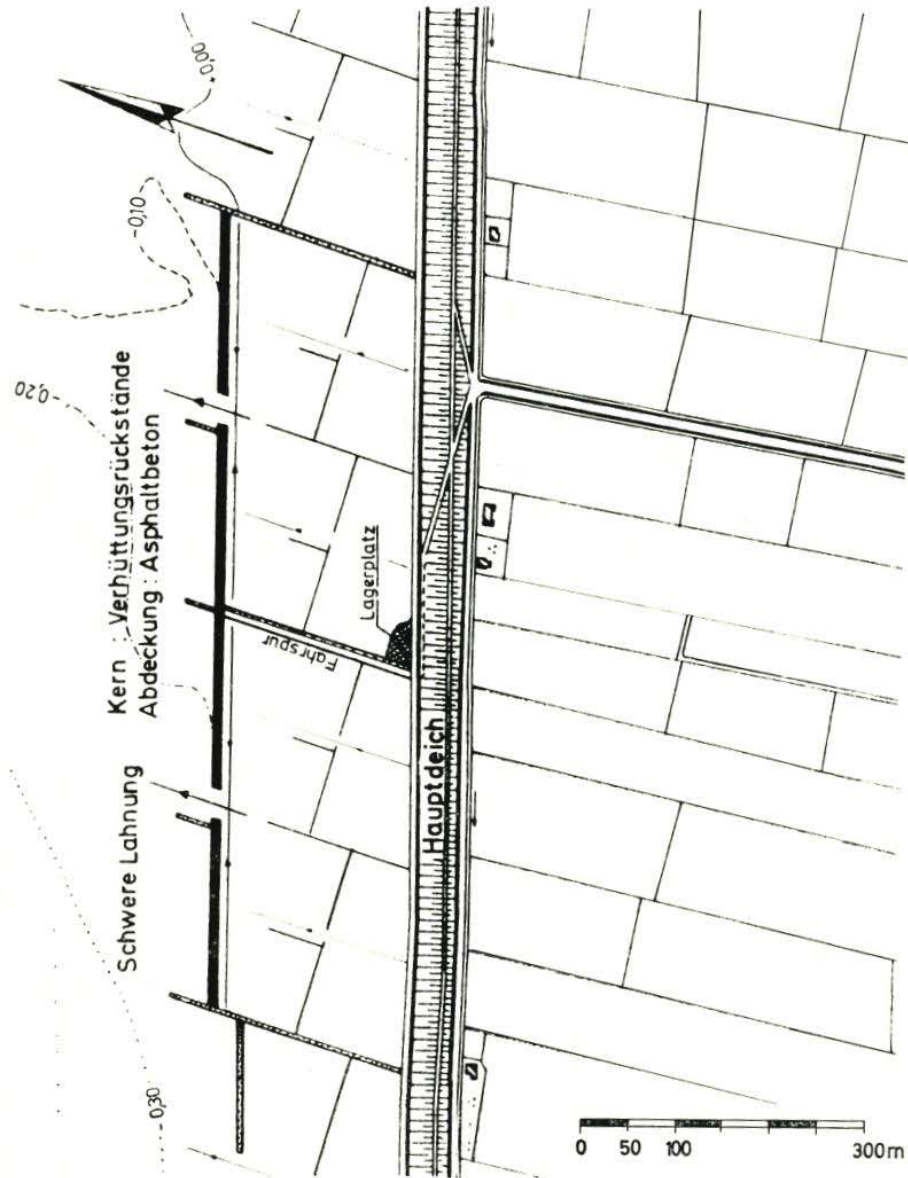


Abb. 14. Lageplan der Lahnungsbaustelle bei Ostermarsch (s. Abb. 1)

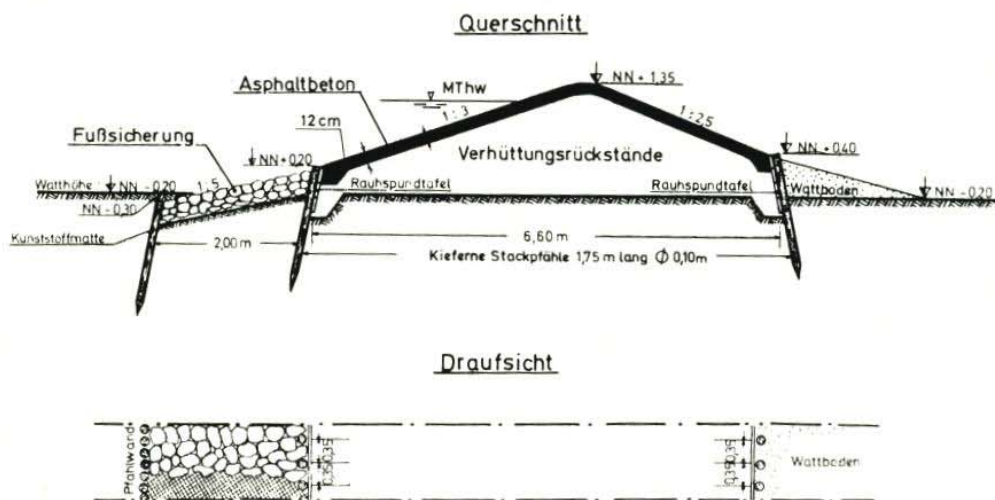


Abb. 15. Regelprofil der Lahnung bei Ostermarsch

Abb. 16
Einbringen des Unter-
baues für die Lahnung
(Ostermarsch)

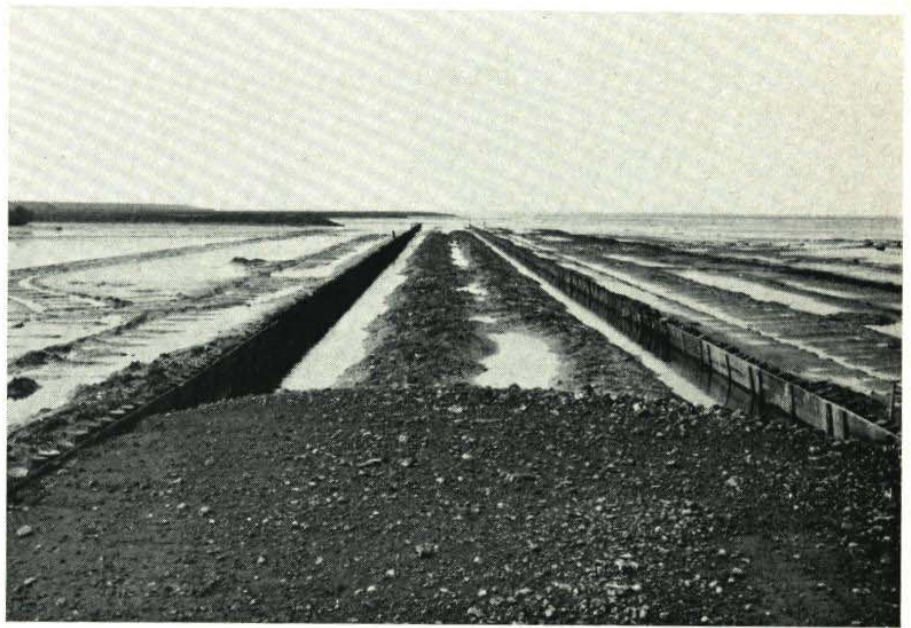


Abb. 17
Einbau der Asphalt-
betonschicht (Oster-
marsch)



Abb. 18
Fahrspur aus Verhüt-
tungsrückständen auf
dem Watt bei Pilsum
(s. Abb. 1)



Kapillarität des Kernbaustoffes bis zur Krone wassergesättigt blieb und auch im Bereich eines Dräns kein Abfallen dieses Wasserhorizontes erkennbar war.

Der Arbeitsablauf konnte auf dieser Baustelle gegenüber dem üblichen Verfahren wesentlich beschleunigt werden. Obgleich mit den Arbeiten erst Mitte Juli begonnen wurde, war die Lahnung bis Ende Oktober fertiggestellt.

Ein wesentlicher Vorteil bei der Verwendung der Verhüttungsrückstände liegt darin, daß durch die einfache Schaffung von Fahrwegen im Watt der Antransport der Baustoffe zur Einbaustelle mit Lastwagen möglich ist. Ein anderer Vorteil wirkt sich beim Bau der Lahnung selbst aus. Es braucht nicht mehr das gesamte Lahnungsprofil auf einer kurzen Teilstrecke in einer Tide aufgebaut und fertiggestellt zu werden, sondern bei der Verwendung von Verhüttungsrückständen ist es möglich, den Unterbau, der gleichzeitig als Fahrspur dient, zunächst herzustellen und durch das Befahren gut zu verdichten. Darauf wird dann der obere Querschnittsteil in relativ großen Tagesstrecken eingebracht und gleichzeitig mit der Deckschicht versehen.

Ob Asphaltbeton auch künftig für die Abdeckung solcher Lahnungen gewählt werden sollte, läßt sich erst nach längerer Beobachtungszeit entscheiden. Auf der Versuchsstrecke zeigten sich bald nach Fertigstellung einige kleine Aufbrüche der Asphaltdecke, die vermutlich darauf zurückzuführen sind, daß durch Häufung von kalk- oder magnesiumreichem Schutt Treibererscheinungen hervorgerufen wurden.

Auf Grund der Erfahrungen in Ostermarsch ist für 1968 der Bau einer 4 km langen Lahnung mit einem Kern aus Verhüttungsrückständen vor dem Hauptdeich der Deichacht Krummhörn bei Pilsum – zwischen Campen und Greetsiel (Abb. 1) – geplant. Die Fertigstellung dieser Baustrecke, bei der lediglich an den Enden eine Zu- und Abfahrtsmöglichkeit besteht, erfordert eine rechtzeitige Vorbereitung dieser Arbeiten. Daher wurde mit dem Bau der Zuwegung und des Unterbaues in der Lahnungsstraße bereits im November 1967 begonnen. Etwa 40 cm erhebt sich die 4 m breite Fahrspur über die Wattoberfläche (Abb. 18). Trotz mehrerer Sturmfluten haben sich keine nennenswerten Schäden oder Materialverluste gezeigt. Der Einbau wird auch während des Winters 1967/68 fortgesetzt, so daß rechtzeitig im Frühjahr ein Transportweg entlang der Baustrecke fertiggestellt ist und auf diesem aufbauend die Lahnung zügig hergestellt werden kann. Auch diese soll eine feste Abdeckung erhalten, und zwar aus Betondeckwerksteinen auf Folie.

4. Kosten

Abhängig von der Entfernung zwischen Einbaustelle und Hafen Emden waren für die Verhüttungsrückstände bisher Kosten zwischen 4,70 DM und 6,- DM je t frei Lagerplatz aufzuwenden. Für den Lahnungsbau ergibt die Anlieferung bei einem Bedarf von etwa 12 t/lfd. m Kosten von 56,- DM bis 72,- DM/lfd. m. Für Lagerplatz und Zuwegungen sind zusätzlich 20 bis 30 % der Menge zu veranschlagen, so daß die Kosten 70,- bis 90,- DM/lfd. m betragen.