

Schreier

Die Küste

**ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE**



3950-A-2012-00000088

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE

HERAUSGEBER:
DER KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE

Heft 18 - 1969

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

Anschriften der Verfasser dieses Heftes:

DIETRICH, Günter, Professor Dr., Universität Kiel, Institut für Meereskunde, Kiel, Düsternbrooker Weg 22; ENGELBRECHT-GREVE, Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein, Kiel, Düsternbrooker Weg 64; ERCHINGER, H. F., Oberbaurat, Bauamt für Küstenschutz, Norden/Ostfriesland; HAUCKE, M., Dipl.-Phys., Hösch A.G., Dortmund; HENSEN, Walter, Professor Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., Direktor, Franzius-Institut für Grund- und Wasserbau der Technischen Hochschule Hannover, Hannover, Nienburger Str. 4; KRAMER, Johann, Regierungsdirektor, Wasserwirtschaftsamt Aurich; KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE, Fachgebiet „Küstenschutz“ (Obmann Regierungsdirektor a. D. Dr.-Ing. LÜDERS), Kiel-Wik, Feldstraße 251/253; LORENZEN, Johann, M., Präsident i. R. Dr.-Ing. E. h., Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Kiel-Wik, Feldstraße 251/253; RAGUTZKI, G., Dipl.-Ing., Forschungsstelle Norderney für Insel- und Küstenschutz, Norderney; SCHIJF, I. B., Hoofdingenieur-Directeur Ir., Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Den Haag; SINDERN, Joseph, Dipl.-Ing., Regierungsdirektor, Wasser- und Schifffahrtsdirektion, Kiel, Hindenburgufer 247; STOLTENBERG, Gerhard, Dr., Bundesforschungsminister, Bonn.

Die Verfasser sind für den Inhalt der Aufsätze allein verantwortlich.

Nachdruck aus dem Inhalt nur mit Genehmigung des Herausgebers: Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Präsident i. R. Dr.-Ing. E. h. LORENZEN, Kiel-Wik, Feldstraße 251/253, gestattet.

Schriftleiter: Dr. habil. E. WOHLBERG, Husum, Nissenhaus.

Regierungsbaudirektor i. R. Curt Hensen †

Am 30. August 1969 ist im Alter von 74 Jahren Regierungsbaudirektor CURT HENSEN von uns gegangen.

Nach seinem Studium der Ingenieurwissenschaften an der Technischen Hochschule Charlottenburg hat CURT HENSEN fast 40 Jahre im Dienst der Reichswasserstraßen-, späteren Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes gestanden. Ihm ist es vergönnt gewesen, während seines ganzen beruflichen Lebens im Seewasserbau tätig zu sein, an den ihn in der fruchtbarsten Zeit seines beruflichen



Schaffens die schwierigen Aufgaben im Tidegebiet der Elbe besonders fesselten. Hier hat der konstruktiv und wissenschaftlich gleichbegabte Ingenieur, wie an seinem Sarge so treffend gesagt wurde, in doppeltem Sinn „Lichter“ gesetzt: Ihm verdankt seine Verwaltung, ebenso wie die Schifffahrt, wichtige Impulse und Neuerungen auf dem Gebiet des Seezeichenwesens. Sein forschender Geist erschöpfte sich jedoch nicht in ingenieur-technischen Aufgaben, sondern ging auch den weithin unerforschten Geheimnissen der Naturgewalten vor der Meeresküste in mannigfachen gründlichen Untersuchungen nach. Die Früchte dieser langjährigen Arbeit „an der Front“ kam seiner Tätigkeit während des letzten Jahrzehnts seines aktiven Dienstes in Kiel zugute, wo er in der Wasser- und Schifffahrtsdirektion seine umfassenden Kenntnisse und Erfahrungen in einer Reihe grundlegend neuer Planungen für die Sicherung der Seewasserstraßen im größeren Rahmen erfolgreich einsetzen konnte.

In seiner besonderen Neigung zur gewässerkundlichen Forschung fand HENSEN ein erwünschtes Tätigkeitsfeld, als er sich im Jahre 1958 entschloß, die Berufung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee zum geschäftsführenden Vorsitzenden anzunehmen. In den sieben Jahren seiner Amtsführung im Küstenausschuß hat HENSEN sich neben der vielseitigen und nicht immer leichten Geschäftsführung ganz besonders dem Aufbau einer umfassenden Dokumentation der Küstenforschung und -technik gewidmet. Der heutige Stand der Dokumentation, verbunden mit einer umfassenden Fachbücherei und einer Bibliographie der einschlägigen in- und ausländischen Literatur, die den an der Küste tätigen Wissenschaftlern und Ingenieuren alle gewünschte Information vermittelt, sind HENSENS eigenes Werk. Im Zusammenhang mit einer durch gründliches Studium erworbenen Kenntnis des ausländischen Schrifttums

IV

hat HENSEN nicht allein die deutsche Küstenforschung bereichert, sondern auch vielfache und fruchtbare Verbindungen zwischen deutschen und ausländischen Fachkollegen hergestellt. Wenn im Laufe des letzten Jahrzehnts der Küstenausschuß auch im Ausland ein gutes Echo gefunden hat, so ist das ein ganz besonderes Verdienst des Heimgegangenen. HENSEN hat darüber hinaus die vielseitige und verdienstvolle Tätigkeit der Arbeitsgruppen im Rahmen des Küstenausschusses durch eigene intensive Mitarbeit und durch ständige Beratung überaus fruchtbar gestaltet und wesentlich dazu beigetragen, daß in Praxis und Forschung an der Küste eine echte Verbundenheit über die oft hinderlichen Verwaltungszuständigkeiten hinaus zustande gekommen ist. So hat CURT HENSEN maßgeblich an dem Fundament mitgebaut, auf dem sich, wie wir zuversichtlich hoffen, in Zusammenarbeit zwischen Bund und Ländern in naher Zukunft eine umfassende Erforschung der Naturvorgänge im Vorfeld der deutschen Küsten aufbauen lassen wird.

Wenn wir heute mit Besorgnis beobachten, daß die schnelle Entwicklung der Technik den Menschen in ihren Sog zu ziehen droht, so war CURT HENSEN ein Beispiel dafür, daß der Mensch auch dann über der Technik stehen kann und daß er sie zu steuern vermag. Dank seiner hohen menschlichen Eigenschaften lag sein Standort „über den Dingen“. Seine gradlinige und kritische Haltung sowie seine Gewissenhaftigkeit befähigten ihn, den für die Zeitschrift DIE KÜSTE bestimmten Aufsätzen gemeinsam mit der Schriftleitung den ihnen gemäßen Rang zuzuweisen. Diese Grundhaltung ließ keine ungunstigen Kompromisse zu und mit ihr verbanden sich in ihm ein offener und klarer Geist, eine natürliche Bescheidenheit und eine große menschliche Wärme.

Des schöpferischen Ingenieurs und des gütigen Menschen wird der Küstenausschuß immer dankbar gedenken.

Der Küstenausschuß Nord- und Ostsee

Inhaltsverzeichnis

Nachruf Regierungsbaudirektor i. R. CURT HENSEN	
LORENZEN, Johann, M., Präsident i. R. Dr.-Ing. E. h. Eröffnungsansprache des Vorsitzenden zur 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. V. 1969 in Kiel	1
ENGELBRECHT-GREVE, Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein Begrüßungsansprache zur 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. V. 1969 in Kiel	4
STOLTENBERG, Gerhard, Dr., Bundesforschungsminister Öffentliche Aufgaben der Meeresforschung und Küstenforschung. Rede anlässlich der Tagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. V. 1969 in Kiel	6
DIETRICH, Günter, Professor Dr. „Sandbewegung im deutschen Küstenraum“ als Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft*)	9
HENSEN, Walter, Professor Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h. Ingenieurwissenschaftliche Aufgaben in der Küstenforschung*)	15
SCHIJE, I. B., Hoofdingenieur-Directeur Ir. Über den Stand der Küstenforschung*)	24
LORENZEN, Johann, M., Präsident i. R. Dr.-Ing. E. h. Das Programm des Küstenausschusses zur Erforschung der Naturvorgänge im deutschen Küstenvorfeld*)	31
SINDERN, Joseph, Dipl.-Ing., Regierungsdirektor Offene und aktuelle Fragen im Seebau und Küstenschutz und zweckmäßige Wege zu ihrer Lösung. Bericht über das Fachgespräch anlässlich der 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. V. 1969 in Kiel	40
KRAMER, Johann, Regierungsdirektor Neue Siele und Schöpfwerke in Ostfriesland	47
KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE, Fachgebiet „Küstenschutz“ (Obmann Regierungsdirektor a. D. Dr.-Ing. LÜDERS) Deichsicherung durch Verhüttungsrückstände	75

*) Vortrag auf der 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. V. 1969 in Kiel.

Eröffnungsansprache des Vorsitzenden

Präsident i. R. Dr.-Ing. E. h. J. M. Lorenzen

Herr Bundesminister!
Herr Landesminister!
Meine Damen und Herren!

Ich eröffne die 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee, die unter dem Leitthema „Küstenforschung“ steht. Namens des Küstenausschusses darf ich Sie alle auf unserer Tagung herzlich willkommen heißen.

Eine besondere Ehre erweisen Sie, Herr Bundesminister, unserer Veranstaltung durch Ihre Teilnahme und durch Ihre Bereitschaft, selber zu uns zu sprechen. Wir sind Ihnen dafür besonders dankbar, weil wir wenigstens ahnen, welche Arbeitslast auf Ihren Schultern liegt.

Ebenso herzlich darf ich Sie, Herr Minister Engelbrecht-Greve, als Vertreter der schleswig-holsteinischen Landesregierung willkommen heißen.

Eine große Freude ist es für mich, auf unserer Tagung Abgeordnete des Deutschen Bundestages, der Landtage, Vertreter der Wissenschaft und der Verwaltung des Bundes, der Küstenländer und -gemeinden, Vertreter der Wirtschaft, der Presse und des Rundfunks und nicht zuletzt die Mitglieder und Mitarbeiter im Küstenausschuß in so großer Zahl begrüßen zu können.

Ein ganz besonderer Willkommensgruß gilt unseren Gästen aus den Nachbarländern, den Niederlanden und Dänemark, mit denen wir bereits heute morgen Gespräche über Themen unserer heutigen Tagung führen konnten.

Ein persönliches Bedürfnis ist es mir, als ältesten der hier anwesenden Gäste unseren um die Küstenforschung verdienten Heimatforscher ANDREAS BUSCH willkommen zu heißen.

Meine Damen und Herren!

In diesem Jahr blickt der Küstenausschuß auf eine 20jährige Tätigkeit zurück, auf einen Zeitabschnitt, in dem zwei folgenschwere Naturereignisse die Küsten der Nordsee betroffen haben. Ich meine die Sturmfluten von 1953 und 1962, die in den Niederlanden und in Hamburg große Opfer an Menschenleben gefordert und unermeßlichen Sachschaden angerichtet haben. Beide Ereignisse haben in der gesamten Küstenbevölkerung aufrüttelnd gewirkt und Technik und Wissenschaft zu großen Anstrengungen veranlaßt, um eine Wiederkehr solcher Katastrophen zu verhindern oder doch in Grenzen zu halten.

In der letzten Arbeitstagung Ende 1965 in Hamburg, in welcher der Vorsitzende, Herr Prof. Dr. AGATZ, einen ausführlichen Bericht über die Tätigkeit des Küstenausschusses seit seiner Gründung gab, konnten wir erste Ergebnisse der naturwissenschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Untersuchungen über die Sturmflut 1962 in Gestalt von Empfehlungen vorlegen. Diese haben vor allem für die verstärkte Fortführung der bereits nach der Hollandflut eingeleiteten Deichverstärkungen und -verkürzungen wichtige Hinweise geben können.

Da es aber auch heute noch nicht möglich ist, aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen und Meinungen über künftig mögliche Sturmfluten Folgerungen zu ziehen, nach denen die Praxis sich auf lange Sicht verbindlich richten kann, bleibt auf diesem Gebiet für die Forschung noch ein weites Feld der Tätigkeit.

Die Sturmfluten sind nicht die einzigen, wenn auch die sichtbarsten Folgen des Wirkens der Naturkräfte, die der Mensch zu erkennen und zu deuten bemüht ist. Größtenteils dem menschlichen Auge verborgen, teils wie im Wattenmeer sichtbar, formen die Naturkräfte den Meeresboden in geringem Umfang nützlich, meist aber gefährlich um. Der Küstenausschuß,

der ja keinerlei Rechtsform besitzt, sondern eine freie Arbeits- und Interessengemeinschaft von zehn in der Küstenarbeit verantwortlichen Fachministerien des Bundes und der vier Küstenländer darstellt, hat sich darum bemüht, die Kenntnisse über die Naturvorgänge zu erweitern und zu vertiefen. Dank der guten Zusammenarbeit ist es gelungen, die in vielen fachlichen Fragen einer großräumigen Arbeit entgegenstehenden Zuständigkeitsgrenzen an der Küste zu mildern und sie auf dem Gebiet der Küstenforschung soweit abzubauen, daß eine enge Zusammenarbeit der einzelnen hydrologischen Dienste untereinander und mit den wissenschaftlichen Instituten möglich wurde. Eine Reihe gemeinsamer gutachtlicher Stellungnahmen zu schwierigen Vorhaben, ein häufiger Gedanken- und Erfahrungsaustausch der einzelnen staatlichen Untersuchungsstellen und die wertvolle Tätigkeit besonderer Arbeitsgruppen legt wiederum beredtes Zeugnis von der geleisteten Arbeit ab. Diese findet u. a. auch in dem heute vorgelegten neuesten Heft der „Küste“ als dem gemeinsamen Organ ihren Niederschlag.

Nach 20jähriger Zusammenarbeit im Küstenausschuß darf an dieser Stelle ein aufrichtiger und herzlicher Dank an diejenigen Mitarbeiter aus Praxis und Wissenschaft nicht fehlen, die sich aus Liebe zur Sache und ehrenamtlich für die Gemeinschaftsaufgabe an der Küste eingesetzt, die den Gedanken der Zusammenarbeit und der Schicksalsverbundenheit entlang der Küste über die Ländergrenzen hinweg, zum Teil durch Jahrzehnte hindurch erhalten und gefördert haben. Da ich sie nicht alle aufzählen kann, möchte ich stellvertretend für den großen Mitarbeiterkreis nur ein paar Namen nennen, zuerst Herrn Professor Dr. AGATZ als langjährigen Vorsitzenden des Küstenausschusses und Herrn Professor Dr. KÖRNER. Beide Herren gehören bereits zu den Gründern und stärksten Förderern des Ausschusses „Westküste Schleswig-Holstein“ und haben sich fast 40 Jahre lang den Aufgaben an der See und, ehrenamtlich, 20 Jahre der Arbeit im Küstenausschuß gewidmet. Ihnen gilt heute unser besonderer Dank und Gruß. Unter den noch lebenden aktiven Trägern der Westküstenforschung haben wir besonders Herrn Dr. habil. E. WOHLBERG zu danken, der nicht nur eine starke Säule der Küstenforschung gewesen und geblieben ist, sondern über 30 Jahre unserer Schriftenreihe „Die Küste“ im In- und Ausland Ansehen und Gewicht gegeben hat.

Unsere heutige Tagung soll nun in Verbindung mit einer kritischen Rückschau vor allem die vor uns liegenden drängenden Aufgaben in einem größeren Rahmen programmatisch aufzeigen und begründen. — Was uns trotz anerkannter Erfolge in vielen Einzelforschungen bis heute fehlt, ist ein breites fundiertes Wissen von den Ursachen und Wirkungen der Kräfte des Meeres an unserer ganzen Küste. Die uns zur Erforschung der Naturvorgänge im Vorfeld der Küste bevorstehenden Aufgaben hat der Küstenausschuß in einer Denkschrift im Dezember 1968 erstmalig zu begründen versucht. Die Durchführung der darin genannten Aufgaben bedarf großer gemeinsamer Anstrengungen aller dazu berufenen und daran interessierten Stellen.

Die im Küstenausschuß zusammenarbeitenden, mit seebaulichen Aufgaben befaßten Verwaltungen sind Ihnen, Herr Bundesminister, dafür zu ganz besonderem Dank verpflichtet, daß Sie die überregionalen Forschungsaufgaben im Küstenvorfeld in Ihr großes Programm der Meeresforschung aufgenommen und sich bereit erklärt haben, Ihre Gedanken hierzu in diesem Kreis zu entwickeln. Sie sind als Sohn dieses Landes nicht nur mit den Küstenproblemen Schleswig-Holsteins, sondern durch Ihre langjährige parlamentarische Arbeit auch mit denjenigen der ganzen deutsche Küste auf das beste vertraut.

Ihnen, Herr Landesminister, der Sie nicht nur das gastgebende Land auf unserer Tagung repräsentieren, sondern in Ihrem Ministerium auch die Verantwortung für den Küstenschutz und die Wasserwirtschaft dieses Landes tragen, und Ihren Mitarbeitern danken wir heute besonders für die nachhaltige Förderung unserer Arbeit auch über die Grenzen dieses Landes hinaus.

Einen wichtigen ersten Schritt auf dem Wege zur überregionalen Erforschung der uns an der Küste besonders interessierenden Naturvorgänge hat, wie wir dankbar feststellen dürfen, die *Deutsche Forschungsgemeinschaft* getan, indem sie auf Anregung des Küstenausschusses einen Schwerpunkt zur Schaffung wissenschaftlicher Grundlagen für die Deutung eines wichtigen Teilproblems, der Sandbewegung im deutschen Küstenbereich, gebildet und die ganze Deutsche Bucht in den Bereich dieser Grundlagenforschung einbezogen hat.

Ihnen, Herr Professor DIETRICH, als Vertreter der Deutschen Forschungsgemeinschaft und als Vorsitzender der Senatskommission „Ozeanographie“, in deren Arbeitsbereich das Schwerpunktprogramm fällt, danken wir besonders für die Bereitschaft, heute zu uns über die Arbeiten in diesem Programm zu sprechen.

Ihnen und Herrn Professor Dr. SEIBOLD verdanken wir wohl in erster Linie, daß sich unsere Landesuniversität anschickt, die ozeanographische, meeresgeologische, meeresbiologische und vorgeschichtliche Forschung an der schleswig-holsteinischen Westküste wieder zu intensivieren.

Besonders wichtige Aufgaben der Küstenforschung liegen unter Zuhilfenahme von Labor- und Modellversuchen auf ingenieurwissenschaftlichem und dabei auf dem Gebiet der angewandten Hydrodynamik vor uns. Im Interesse des Seebaues wird die angewandte Hydrodynamik in Forschung und Lehre besonders intensiv an der Technischen Universität Hannover und dort vor allem im Franzius-Institut vertreten, dessen Leiter, Prof. Dr. HENSEN, sich große Verdienste um die Verbesserung wissenschaftlicher Grundlagen im Seebau erworben hat. Wir sind Ihnen, Herr Professor HENSEN, der Sie zu den Gründern des Küstenausschusses gehören, deshalb dankbar, daß Sie aus ingenieurwissenschaftlicher Schau Ihre Gedanken und Vorstellungen über die künftige überregionale Küstenforschung vortragen wollen.

Wenn die deutsche Meeresforschung im ganzen heute wieder einen beachtlichen Beitrag in der internationalen Zusammenarbeit liefert, so müssen wir leider feststellen, daß das auf dem Gebiet der eigentlichen *Küstenforschung* bisher nicht ausreichend der Fall ist. Bei dem Bemühen, uns die Erfahrungen und den Wissensstand in der Küstenforschung des Auslandes zunutze zu machen, liegt es nahe, mit denjenigen ausländischen Stellen und Fachleuten Verbindung zu pflegen, die an den Küsten ihrer Länder ähnliche Probleme zu lösen haben wie wir. Als einen Auftakt hierzu sehen wir das heute morgen mit unseren ausländischen Gästen aus den Niederlanden und Dänemark begonnene Fachgespräch. Wir haben den Wunsch, besonders mit den niederländischen und dänischen Kollegen in der Küstenforschung enger zusammenzuarbeiten und sind dankbar, daß der Leiter des Hydrologischen Dienstes im Rijkswaterstaat Den Haag, Herr Direktor SCHIJF, der in der internationalen Küstenforschung einen Namen hat und uns schon viele Anregungen gab, bereit ist, über den Stand der internationalen Küstenforschung zu sprechen und aus seiner Sicht vielleicht auch etwas zu unseren Vorstellungen zu sagen.

Begrüßungsansprache

des Landesministers Engelbrecht-Grewe anlässlich der 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. 5. 1969 in Kiel

Sehr geehrter Herr Präsident Dr. LORENZEN,
Herr Bundesminister,
meine Damen und Herren!

Das Thema Ihrer Tagung, die Küstenforschung, hat für unser Land außergewöhnliche Bedeutung. Seine langen Küsten an Nord- und Ostsee mit den davorliegenden Inseln und Halligen stellen zur Sicherung unserer Lebens- und Wirtschaftsräume ihre eigenen schwierigen, wasserwirtschaftlichen Probleme.

Als der für die Wasserwirtschaftspolitik zuständige Minister darf ich Sie hier an der Kieler Förde sehr herzlich begrüßen.

Seit Beginn der Besiedlung unserer Marschen führen unsere Vorfahren den Kampf gegen die Naturgewalten. Sie hatten erfreuliche Erfolge zu verzeichnen, aber auch schwere Rückschläge hinzunehmen, wenn weite Gebiete verheert wurden und große Landflächen verloren gingen.

Gewiß wurden mit der fortschreitenden Technik auch bessere Verfahren zur Erhaltung und Rückgewinnung des Landes entwickelt. Die Ansprüche an das Sicherheitsmaß der Küsten sind heute aber so enorm gestiegen, daß — wie überall im modernen Zusammenleben der Menschen — die Erfahrungen allein nicht mehr genügen.

Wir müssen heute mehr wissen über Ursache und Wirkung der Kräfte, welche die Küsten so stark beeinflussen!

Deshalb sind vor ein paar Jahrzehnten unter der Leitung von Herrn Präsident Dr. LORENZEN vorausschauend bei den Marschenbauämtern Heide und Husum Institutionen eingerichtet worden, die bessere Grundlagen für die Beurteilung der Erscheinungen und für die Entscheidung über bestimmte Maßnahmen erarbeiten sollten. Weitere Stellen folgten ab 1950 an der Eider und an der Ostsee. Durch Anwendung wissenschaftlicher Methoden sind tiefere Erkenntnisse über die Zusammenhänge an der Übergangszone vom Land zum Meer gewonnen worden.

An zwei Beispielen möchte ich diese Arbeiten erläutern:

1. Die ingenieurwissenschaftliche Auswertung der Hollandflut 1953 führte in Abstimmung mit einer Ad-hoc-Arbeitsgruppe des Küstenausschusses zu Empfehlungen, nach denen unsere schleswig-holsteinischen Deiche schnell erhöht und verstärkt wurden. Die gefährlichsten Stellen waren ausgebessert, als die Februar-Sturmflut 1962 kam. Die Richtigkeit der gefundenen Maße fanden wir im wesentlichen bestätigt, und Menschenleben waren an unserer Westküste nicht zu beklagen.
2. Neben der Gefahrenabwehr durch verbesserte Hochwasserschutzmaßnahmen darf ich auf die Flut der Erholungsuchenden an der See hinweisen. Der Druck des Fremdenverkehrs ist in jüngster Zeit so groß geworden, daß der natürliche Zustand vor allem der sandigen Küsten mit den beliebten Badestränden an einigen Stellen gefährdet ist. Bisher konnte noch nicht die Frage beantwortet werden, ob wir solche Küstenabschnitte auf großer Länge weiter wie bisher mit schweren Bauwerken „verfelsen“ dürfen, weil der Sandhaushalt im Küstenvorfeld, und hier besonders in der Brandungszone, noch weitgehend unbekannt ist.

Ich begrüße es sehr, daß auch diese Frage auf Ihrer Tagung behandelt wird und daß unsere Nachbarländer Dänemark und die Niederlande durch Expertengruppen, die mit ähnlichen Problemen zu tun haben, zu uns gekommen sind.

Mein Grußwort möchte ich nicht schließen, ohne allen zu danken, die an der Lösung der komplexen Küstenprobleme mitgearbeitet haben und auch bereit sind, weiterhin ihre Kraft in den Dienst dieser bedeutenden Aufgabe zu stellen:

Ich denke zunächst an den Küstenausschuß mit seinem Vorstand, dem wissenschaftlichen Beirat und den Arbeitsgruppen.

Danken möchte ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die ideelle und finanzielle Förderung des Schwerpunktprogrammes „Sandbewegung im deutschen Küstenraum“.

Schließlich darf ich Sie bitten, Herr Bundesminister, meinen Dank für Ihre Bereitschaft entgegenzunehmen, uns bei der Durchführung der notwendigerweise zu erweiternden Forschungsarbeit im Küstenraum zu helfen. Hierbei stelle ich mir eine noch engere Zusammenarbeit der wissenschaftlichen Institute, die auf dem Gebiet der Meereskunde tätig sind, mit den Küstendienststellen vor — von See aus landwärts und von Land aus seewärts —, damit wir bald mehr erfahren über das weithin noch unbekanntes Küstenvorfeld.

Lassen Sie mich mit diesem Gedanken und dem nochmaligen Dank an alle Beteiligten der Tagung ein gutes Verlaufs wünschen.

Öffentliche Aufgaben der Meeresforschung und Küstenforschung

Rede von Bundesminister Dr. Gerhard Stoltenberg anlässlich der Tagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. Mai 1969 in Kiel

Summary

The „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“ as a study group of all authorities of the Federal Republic of Germany and of the countries near the coast as well as of the research stations which are busy with coastal engineering and all corresponding branches, is confronted today with an accelerated speed of development.

Since 1968, ocean research belongs to the points of main effort to which the Federal Republic has devoted itself within the large field of research and development.

Coastal investigations, as a part of ocean research, have to be done more intensively than before. A detailed program of work with a clear-cut apportionment of responsibilities and with an evaluation of the financial requirements is to be set up.

Coastal investigations are put into a larger scope by the programs of the research centers supported by the Government of the Federal Republic and by the Oceanographic Commission.

Wenn der Küstenausschuß Nord- und Ostsee in seiner diesjährigen, fünften Arbeitstagung in Kiel an die Öffentlichkeit mit dem Leitthema „Erforschung der Naturvorgänge im Küstenvorfeld“ herantritt, so ist dies eine Fragestellung, deren wissenschaftliche und praktische Ak-



tualität in seinem nunmehr fast zwanzigjährigen Bestehen unvermindert groß ist. Der Küstenausschuß hat als Arbeitsgemeinschaft aller Behörden des Bundes und der Küstenländer sowie der Forschungsinstitutionen, die auf dem Gebiet des Wasserbaues und der damit zusammenhängenden Fachgebiete im Küsten- und Seebereich der Nord- und Ostsee tätig sind, seine Bedeutung gewonnen. Er sieht sich heute einem beschleunigten Tempo der Entwicklung gegenüber; neue Möglichkeiten zu besseren und wirkungsvolleren technischen Lösungen wichtiger Probleme bieten sich an. Dieser Fortschritt in fachlicher Methodik und Technik fällt zeitlich mit einer politischen Entwicklung zusammen, der verstärkten Förderung von Wissenschaft, Forschung und Technik durch den Bund, die Länder und die Wirtschaft.

Zu den Schwerpunkten, denen sich die Bundesrepublik in Forschung und Entwicklung besonders zugewandt hat, gehört seit 1968 vor allem auch die *Meeresforschung*. Die Initiative, gerade dieses Fachgebiet intensiver und gezielt auszubauen und zu fördern, ist von mir und meinen Mitarbeitern deshalb ergriffen worden, um die großen wissenschaftlichen, technischen und ökonomischen Chancen des Meeres für Staat und Wirtschaft wirkungsvoller und zielstrebig zu nutzen. Zweck der Meeresforschung ist es ja nicht nur, Eigenschaften und Vorgänge im Meer zu beschreiben und zu registrieren, sondern daraus Gesetzmäßigkeiten abzuleiten, die Vorhersagen, vielleicht sogar

Kontrolle und Beeinflussung solcher Vorgänge im Meer erlauben soll. Methodisch stehen dabei wichtige Bereiche der Meeresforschung heute im Umbruch zur Großforschung, die man durch einen beträchtlichen Aufwand technischer Hilfsmittel, den entsprechend großen Bedarf finanzieller Mittel und starke interdisziplinäre Zusammenarbeit als notwendige Voraussetzung zur Erarbeitung neuer, fortschrittlicher Erkenntnisse charakterisieren kann. Die *Küstenforschung* als fachlicher Teil der Meeresforschung muß an dieser Intensivierung der Meeresforschung in der Bundesrepublik teilhaben, denn der Küstenschutz und die Erhaltung und Entwicklung der Seewasserstraßen als den lebenswichtigen Zufahrten zu unseren Seehäfen beruht ja wissenschaftlich auf den Ergebnissen einer praxisnahen Küstenforschung.

Diese Forschungsaufgaben beschäftigen nicht nur Dienststellen des Bundes und der Küstenländer seit jeher. Hochschulinstitute und andere Forschungsstellen haben sich vielmehr schon lange nachdrücklich diesen Problemen zugewandt. Die neuen Aufgaben und Möglichkeiten, die finanzielle und ökonomische Dimension erfordern jedoch neue Formen der Zusammenarbeit. Für den Bund stellt sich die Aufgabe, bei der Förderung der Großforschung eine weitvorausschauende Planung und eine Abstimmung der fachlichen Ziele mit den finanziellen Möglichkeiten herbeizuführen. Die beim Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung gebildete Deutsche Kommission für Ozeanographie ist ein Gremium, das der gemeinsamen Beratung der Maßnahmen des Bundes, der Küstenländer, der von ihnen unterhaltenen Einrichtungen sowie der Maßnahmen der Deutschen Forschungsgemeinschaft auf allen Gebieten der Erforschung des Meeres dient. Sie erarbeitet ein Gesamtprogramm für die Meeresforschung einschließlich der für die Erforschung, Erschließung und Nutzung des Meeres erforderlichen Techniken, das Schwerpunkte angeben wird, deren Bearbeitung sowohl den Belangen der Wissenschaft als auch den Bedürfnissen des Staates und der Wirtschaft gerecht werden soll. Die Beratungen eines ersten Gesamtprogramms stehen vor dem Abschluß. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Meeresforschung werden sich unter anderem auf folgende Problemstellungen konzentrieren:

- Nutzung der mineralischen Rohstoffe des Meeres, des Meeresbodens und seines Untergrundes,
- Erschließen der Nahrungsquellen des Meeres,
- Bekämpfung der Verschmutzung des Meeres,
- Nutzung der Wechselwirkung zwischen Ozean und Atmosphäre,
- Beeinflussung der Naturvorgänge an der Küste und im Küstenvorfeld.

Diese bewährte Reihenfolge von möglichen Schwerpunkten stellt keine Rangordnung von Prioritäten dar; vielmehr sollen diese zentralen Aufgaben nach einem zeitlichen Stufenplan für den Aufbau des Potentials und der Finanzierung rechtzeitig aufgenommen oder ausgebaut werden. Als Rahmenprogramm wird das Gesamtprogramm noch keine bis in das kleinste Detail definierten Forschungsprojekte aufführen. Es bildet aber die Basis für Einzelleistungen.

Die Vielfalt öffentlicher Aufgaben der Meeresforschung und Küstenforschung spiegelt sich in den genannten zentralen Themen wider, die in den kommenden Jahren verstärkte Beachtung und vermehrte Förderung erfahren sollen. Es kann kein Zweifel daran bestehen, daß die Versorgung der deutschen Wirtschaft mit Roh- und Energiestoffen fördernder staatlicher Maßnahmen bedarf. Dabei wird der prozentuale Anteil von Vorkommen am Meeresboden und in seinem tieferen Untergrund zunehmen. Dies entspricht auch den Erfahrungen und Absichten anderer Länder. Die Meeresforschung soll für die Erschließung dieser Lagerstätten die notwendigen wissenschaftlichen Voraussetzungen erarbeiten. Besonders zu betonen ist auch die Notwendigkeit einer intensiven Fischereiforschung, in der Deutschland bereits bedeutende Leistungen vollbringt. Hier denken wir nicht primär an nationale Erfordernisse. Die Nahrungsschätze des Meeres sind weltweit eine wesentliche Quelle der menschlichen Eiweißversorgung;

sie sind vor allem in den Entwicklungsländern noch relativ wenig genutzt. Zur Erforschung dieser Nahrungsprobleme können Sachverständige wichtige Beiträge leisten.

Eine ebenfalls sehr wichtige öffentliche Aufgabe der Meeresforschung ist die Lösung der wissenschaftlichen Grundlagenfragen für die Bekämpfung der Meeresverschmutzung. Wirtschaft, Fischerei und Fremdenverkehr haben ein Interesse daran, daß der Staat hier mehr tut. Es müssen auf Grund wissenschaftlicher Untersuchungen Normen geschaffen werden, die schwere Schäden für die marine Umwelt verhindern. Auch müssen technische Mittel geschaffen werden, die in Katastrophenfällen zuverlässige Schutzmaßnahmen erlauben. Das ebenfalls als zentrales Thema zur Diskussion stehende Forschungsgebiet der Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre findet eine praktische Auswirkung in der Wettervorhersage, die weltweit durch Gesetz geregelt und als wichtige öffentliche Aufgabe erkannt ist.

Das in meiner Aufstellung zuletzt genannte Thema der Beherrschung der Naturvorgänge an der Küste und dem Küstenvorfeld deckt sich in erheblichem Umfange mit dem Problemkreis, mit dem Sie sich im Küstenausschuß beschäftigen. Die anderen genannten zentralen Aufgaben haben aber ebenfalls ihre fachlichen Ausstrahlungen auf das Gebiet der Küstenforschung. Wenn also jetzt das in der Deutschen Kommission für Ozeanographie erörterte Gesamtprogramm für die Meeresforschung in der Bundesrepublik größere fachliche wie organisatorische Zusammenhänge konzipiert, so kann dies auch zu einer Befruchtung und Bereicherung der Küstenforschung führen. Die Küstenforschung strebt nach der Denkschrift des Küstenausschusses über die Erforschung der Naturvorgänge im deutschen Küstenvorfeld eine wesentliche Intensivierung der Forschungsarbeiten im Küstenvorfeld an. Es wird deshalb darauf ankommen, ein detailliertes Untersuchungsprogramm aufzustellen, das nicht nur fachliche Aufgaben und technische Lösungsmöglichkeiten aufzeigt, sondern auch klare Verantwortlichkeiten der beteiligten Stellen und Abschätzungen der Finanzierungserfordernisse enthält. Gerade bei einer Vielzahl von Stellen, die sich zu einer komplexen Forschungsaufgabe zusammenfinden und ihre Durchführung gemeinsam betreiben wollen, liegt eine detaillierte Planung und gute Koordinierung im Interesse aller Beteiligten.

Durch das Schwerpunktprogramm der Bundesregierung und der ozeanographischen Kommission auf dem Gebiet der Meeresforschung wird die Küstenforschung in einen größeren Rahmen gestellt. Die vier Küstenländer erkennen mit ihr in gleicher Weise Bedeutung und Ausstrahlung der Meeresforschung im wissenschaftlichen, staatlichen und wirtschaftlichen Bereich. Ich bin überzeugt, daß die eingeschlagenen neuen Wege gute Voraussetzungen dafür bieten, daß die Meeresforschung in der Bundesrepublik zu wichtigen Beiträgen gelangen kann, die im gemeinsamen Interesse aller liegen.

„Sandbewegung im deutschen Küstenraum“ als Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft*

Von Günter Dietrich

Summary

The tasks of the central programme of the German Research Society on "Sand Movement in the German Coastal Area".

*The sand movement in the sea governs the maintenance of shores and beaches as well as the use of shipping tracks. There exist numerous detailed investigations from the German North Sea and Baltic coasts, especially obtained during local construction projects. Up to now sufficient knowledge about the sand movement does not exist, this means no answer can be given to the question how the sand moves, from where it comes and which ways it takes. The German Research Society has established a central programme on "Sand Movement in the German Coastal Area" in which different disciplines of marine research cooperate. A statement about the development in this programme and consequences with regard to potential results for the next years are discussed. Continuity of the investigations seems to be necessary, but this is not within the possibilities of the German Research Society. The FRG** lacks an institute dealing with the fundamental problems and the practical application of coastal research. The FRG with its coastal countries is recommended to support such a research institute.*

Bevor auf das eigentliche Thema eingegangen wird, seien ein paar Bemerkungen über die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) und ihre Arbeitsweise vorausgeschickt. Die DFG ist die Selbstverwaltungsorganisation der Wissenschaft in der BRD. Sie arbeitet im allgemeinen Interesse der Wissenschaft mit staatlicher Anerkennung auf genossenschaftlicher Grundlage. Jede Selbstverwaltung hat Vorzüge und Nachteile. Zu den Vorzügen gehört, daß Selbstverwaltung die Selbstverantwortung des einzelnen erhöht, damit die Initiative und Arbeitsfreude hebt, ferner, daß Organisationen der Selbstverwaltung flexibler und unbürokratischer als Staatsstellen arbeiten können und daß sie transparenter und einer Erfolgskontrolle leichter zugänglich sind. Die DFG als Selbstverwaltungsorganisation läßt sich primär von wissenschaftlichen Überlegungen leiten. Man könnte sich vorstellen, daß der Staat die Aufgaben der DFG wahrnimmt. Er tut es mit gutem Grund nicht; denn noch gilt in der demokratischen Gesellschaftsordnung ein bewährtes Delegationsprinzip, das besagt: Was die kleinere Gemeinschaft — sprich im vorliegenden Fall DFG — zu leisten vermag, soll ihr überlassen bleiben, solange die größere — sprich Staat — nicht allgemein Vorteile bringt. Oder populärer ausgedrückt: Soviel Staat wie nötig, so wenig Staat wie möglich.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft kennt zwei verschiedene Wege der Förderung: Das Normalverfahren und das Schwerpunktverfahren. Eines unter zahlreichen Schwerpunktprogrammen, die gegenwärtig laufen, trägt die Bezeichnung „Sandbewegung im deutschen Küstenraum“. Da dieses Programm die Interessen des Küstenausschusses Nord- und Ostsee in ganz besonderem Maße berührt, wurde ich vom Vorsitzenden, Dr.-Ing. E. h. J. LORENZEN, zu diesem Referat gebeten. Ich tue es mit Zögern. Vielen von Ihnen kann ich nichts Neues sagen, im Gegenteil, manchem von Ihnen sind die Fakten der Sandbewegung besser vertraut als mir;

* Vortrag auf der 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. Mai 1969 in Kiel.

** FRG = Federal Republic of Germany.

denn Sie arbeiten auf diesem Gebiet der Forschung, während ich mich im Senat der DFG nur um die Generalplanung der Schwerpunkte und ihre Verwirklichung kümmere.

Den beiden Förderungswegen der DFG, dem Normalverfahren und dem Schwerpunktverfahren, ist viererlei gemeinsam: es sind zeitlich befristete Verfahren, es können in der Regel keine Baumaßnahmen damit verknüpft werden, es können weder Planstellen geschaffen noch Zuschüsse zum Unterhalt der Institute gegeben werden. Im übrigen ist ein deutlicher Unterschied zwischen beiden Verfahren: beim Normalverfahren liegt die Initiative beim einzelnen Antragsteller, beim Schwerpunktverfahren dagegen bei der DFG, die zu Anträgen für ein bestimmtes Thema oder ein Gemeinschaftsprojekt auffordert. Dieser Weg ist 1950 unter dem Namen Schwerpunktverfahren fixiert worden, er bestand aber im Prinzip schon in der früheren Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, der Vorgängerin der DFG, durch die Initiative von Staatsminister SCHMIDT-OTT seit 1925 unter dem Begriff „Gemeinschaftsforschung“. 130 solcher Schwerpunktprogramme gab es von 1953 bis 1967, sie wurden in den 15 Jahren insgesamt mit rund $\frac{1}{2}$ Mrd. DM gefördert, also im Durchschnitt mit 4 Mill. DM/Schwerpunkt. Die Laufzeit lag im Mittel bei 4—5 Jahren, nur ganz vereinzelt wurden 10 Jahre erreicht.

Ich möchte ergänzen, daß bisher das größere Volumen der Forschungsmittel den Normalverfahren zugute kam. Im 15jährigen Zeitraum 1953—1967 standen 0,5 Mrd. DM in den Schwerpunkt- 0,7 Mrd. DM in den Normalverfahren gegenüber. Wenn man die Gesamtzahl der Anträge z. B. für das Jahr 1967 betrachtet, so waren es 1546 gegenüber 4760, also dreimal mehr im Normalverfahren.

Das Schwerpunktverfahren ist keine Auftragsforschung, wie es mancher Außenstehende vermutet. Es handelt sich um größere Aufgaben der Gemeinschaftsforschung, die von der DFG angeregt werden, und zwar aus zwei verschiedenen Gründen, erstens, wenn wichtige Forschungsbereiche nicht betrieben werden, weil keine Antragsteller im Normalverfahren vorhanden sind, und zweitens, wenn eine Gemeinschaftsforschung, in der viele Einzelansätze vorliegen, wesentliche Fortschritte verspricht. Dieser letzte Gesichtspunkt gilt für die vier Schwerpunkte der Meeresforschung, die zur Zeit laufen: „Hochsee“ seit 1960, „Sediment“ seit 1964, „Litoral“ seit 1966, „Sandbewegung“ seit 1967. Die drei letzten richten sich auf Probleme der Flachmeere. Alle vier Schwerpunkte haben bis 1968 eine Gesamtförderung von etwa 18 Mill. DM erfahren. Berücksichtigt man außerdem die anteiligen Kosten am Unterhalt und Betrieb von FS „Meteor“, die seit 1964 auf die DFG entfallen, sowie der Expeditionskosten, die jedes zweite Jahr entstehen, dann kommt man insgesamt auf über 30 Mill. DM in den letzten 10 Jahren. Ich erwähne dieses beachtliche finanzielle Engagement der DFG in der Meeresforschung, das besonders die letzten fünf Jahre betrifft und mit dem wirkliche Pionierarbeit geleistet wurde. Diese Förderung hat wesentlich dazu beigetragen, daß wir uns nicht nur in Europa in der Meeresforschung wieder sehen lassen können. Im Rahmen der Gesamtförderung der 130 Schwerpunkte der DFG mit 500 Mill. DM sind die 18 Mill. DM ein kleines Volumen, aber mit großem Gewicht und nachhaltiger Wirkung. Dies betrifft nicht nur die wissenschaftlichen Ergebnisse, sondern auch die methodischen Erfolge.

Der Schwerpunkt „Sandbewegung“ hatte zwei Wurzeln, die sich zu einem Stamm vereinen sollten: Auf der einen Seite gab es zahlreiche Einzeluntersuchungen in unmittelbarer Küstennähe. Sie richteten sich entweder auf die Sicherung der Küste oder auf die Erhaltung und den Ausbau der Seewasserstraßen. Auf der anderen Seite gab es die freie See außerhalb des Küstenvorfeldes, die von solchen Untersuchungen ausgeschlossen blieb. Gerade in diesem Raum stießen wir schon 1952 auf einen eigenartigen, bis dahin unbekanntem hydromechanischen Vorgang, der auf einen sehr wirksamen Prozeß der Sandbewegung in der Deutschen Bucht und in der südlichen Nordsee schließen ließ (1). Es war bei Dauermessungen des Stromprofils mit Hilfe des Vermessungs- und Forschungsschiffes „Gauß“. Überall dort, wo der

spezifisch leichte festländische Abfluß in Gezeitenströme einbezogen wird, kommt es zu einem Überschiebungsvorgang von Wasser verschiedener Dichte in einem Teil der Gezeitenperiode von 12,4 Stunden. Insgesamt gesehen hat dies zur Folge, daß in Bodennähe ein beachtlicher Reststrom in Richtung auf die Küste läuft.

Wir stießen auf diesen Prozeß, als wir eine Frage der Meeresbiologien beantworten wollten. Sie wußten, daß die Heringe in der Mitte der südlichen Nordsee laichen und daß die Eier sich am Boden befinden, sie wußten ferner, daß einige Wochen nach dem Laichen die Larven im friesischen Wattenmeer auftauchen. Wie gelangen die fast bewegungslos im Wasser treibenden Larven in die Aufwuchsgebiete im Wattenmeer? Dies konnte keine aktive Wanderung, sondern mußte ein passiver Transport sein. Wenn schon die Heringslarven landwärts transportiert werden, warum nicht auch der Sand?

Diese Fragestellung war eine unter mehreren anderen, die dazu herausforderte, die Sandbewegung nicht nur unter lokalen Aspekten zu sehen, sondern das Problem der Sandbewegung durch eine systematische und großräumige Untersuchung aufzugreifen, in die das offene Seegebiet miteinzubeziehen war. Die Grundlagen mußten aufgedeckt, die großen Zusammenhänge erkannt werden, wenn man die anwendungsnahe Küstenforschung effektiv voranbringen wollte. Es wurde 1967 ein Dreistufenplan zu einem umfassenden Untersuchungsprogramm entwickelt. In Stichworten sind dies:

1. Bestandsaufnahme.
2. Entwicklung rationeller Meßmethoden für die meeresphysikalischen und meeresgeologischen Untersuchungen.
3. Systematischer Einsatz der neu entwickelten und der bewährten älteren Methoden in ausgewählten Testfeldern des deutschen Küstenraumes.

An diesen drei, vor allem an den beiden ersten Stufen wird seit 1967 im DFG-Schwerpunkt „Sandbewegung im deutschen Küstenraum“ gearbeitet. Sie seien kurz erläutert: Die erste Stufe „Bestandsaufnahme“ bedeutet Erfassung der vorhandenen Kenntnisse und Abrundung durch gelegentliche Ergänzungen. Dazu gehören vor allem Erfassung der sediment-geologisch-morphologischen Verhältnisse, ferner der durchgeführten Dauerstrommessungen sowie Erfassung der möglichen Meßverfahren und schließlich Dokumentation der Quellenliteratur. So hat z. B. die Seegrundkartierung, die Dr. J. JARKE vom Deutschen Hydrographischen Institut (DHI) begonnen und die Dr. K. VOLLBRECHT fortgesetzt hat, die Deutsche Bucht und die Kieler Bucht erfaßt. Die Detailaufnahme vor der Riffzone von Sylt wurde von Prof. E. SEIBOLD mit dem Geologischen Institut der Kieler Universität intensiv betrieben. Hinweise auf den Mechanismus des Küstenrückganges konnten erkannt werden. Der Kartierung der Bodenrippeln in der Deutschen Bucht nahm sich Dr. J. ULRICH vom Kieler Institut für Meereskunde an. Bodenrippeln sind ein qualitativer Indikator für die Sandbewegung und somit ein einfach zu gewinnender, aber unschätzbar wichtiger Hinweis zur Sandwanderung. Der Erfassung der Sandmächtigkeiten aus Bohrungen im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht und der westlichen Ostsee haben sich Arbeitsgruppen der Geologischen Landesämter angenommen.

Wertvolles Strommeßmaterial (rund 2500 Dauerstrommessungen aus den Wattstromrinnen und Flußmündungen) hat Reg.-Baudirektor A. ROHDE von der Bundesanstalt für Wasserbau erschlossen.

Zum Thema Sandbewegung liegt eine Unmenge wissenschaftlicher Spezialliteratur vor. Das gilt besonders in den USA mit ihren langen Küstenlinien. Für die deutschen Belange sind die Arbeiten unserer Nachbarn, der dänischen Kollegen im Norden und der holländischen im Westen, von besonderem Wert. Dr. F. MODEL vom DHI, der die Dokumentation wissenschaftlicher Literatur meisterhaft zu handhaben versteht, hat sich der Erfassung der Spezialliteratur systematisch angenommen.

Die effektive Behandlung des Themas Sandbewegung steht und fällt mit geeigneten Meßgeräten, gleich ob sie physikalisch auf die Erfassung der Wellen und Strömungen oder geologisch auf den Boden und seinen Untergrund gerichtet sind. Auch hierbei wurde systematisch vorgegangen. Dr. G. KRAUSE vom Kieler Institut für Meereskunde hat eine Systemstudie zur Strömungsmessung durchgeführt. Darin wurden die physikalischen und technischen Grenzen aller denkbaren Meßverfahren geprüft.

Die zweite Stufe des Schwerpunktprogrammes folgt unmittelbar aus der ersten. Auf Grund der Bestandsaufnahme wurde an die Entwicklung rationeller Meßmethoden für die Meeresphysik und Meeresbiologie im Flachwasser gegangen. Erster Baudirektor Dr. H. LAUCHT vom Strom- und Hafenbau Hamburg entwickelte mit Dr.-Ing. H. GÖHREN ein Gerät zur Messung des in Suspension transportierten Materials, Prof. E. SEIBOLD mit seinem Institut in Zusammenarbeit mit Dr.-Ing. M. PETERSEN ein Vibrationslot, um Sedimentkerne bei sandigem Meeresboden zu entnehmen. Bei Dr. G. KRAUSE erlebte ich den Erfolg der Systemstudie zur Strömungsmessung unmittelbar mit. In Küstennähe blieben bei der Forderung nach großer zeitlicher Auflösung, vor allem in den Oberflächenwellen, aus der großen Zahl der Methoden nur einzelne diskutabel. Es ist kurios, daß wieder ein Kosmetikartikel der Damen der Meeresforschung weiterhalf. Früher war es das Rhodamin, der intensive rote Farbstoff in den Lippenstiften, der dank seiner Fluoreszenz hervorragend zur Impfung des Meeres als Leitstoff geeignet ist. Diesmal fand G. KRAUSE die Lockenwickler besonders nützlich, die nämlich sehr gute rauhe Widerstandskörper ohne Wirbelablösung abgeben. Sie sind damit als Geber im Strömungsmeßsystem geeignet.

Die dritte Stufe des Programmes ist der systematische Einsatz der neuen und bewährten älteren Methoden. Hinzu kommen Modelluntersuchungen zur Simulation der Vorgänge und der theoretischen Untersuchung zur Deutung unter einfachen Randbedingungen. Eine Reihe verheißungsvoller Ansätze liegt vor, etwa bei Prof. W. KRAUSS im Kieler Institut für Meereskunde, bei Prof. W. HANSEN im Hamburger Institut für Meereskunde, bei Prof. S. SCHUSTER in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin, bei Prof. W. HENSEN im Franzius-Institut für Grund- und Wasserbau in Hannover und bei Reg.-Direktor Dr. H. WEIDEMANN im DHI.

Meine kurzen und gewiß unvollständigen Bemerkungen über die Arbeiten der beiden letzten Jahre weisen auf bemerkenswerte Erfolge hin. Aber es gibt auch Schattenseiten des Schwerpunktes, die ich nicht verheimlichen möchte. Abschließend möchte ich die Licht- und Schattenseiten bei einem Blick in die nahe Zukunft des Schwerpunktes berücksichtigen. Manche Forschungsanträge kamen gar nicht oder nur zögernd zum Zuge, trotz aller Bemühungen des Koordinators der Gesamtarbeit, Dr.-Ing. E. h. J. LORENZEN. Die Ursachen dieser Schwierigkeiten sind weniger im Objekt der Forschung, nämlich der sehr komplizierten Sandbewegung am Meeresboden, als in der Organisation zu suchen. Es war von vornherein offensichtlich, daß die DFG sich nicht in der Lage sah, allein den Schwerpunkt in Angriff zu nehmen, sondern nur in Zusammenarbeit mit den Verwaltungen und Anstalten des Bundes und der Länder, die am Meere und im Meere ihre gesetzlich festgelegten Aufgaben haben. Unter den 130 Schwerpunkten der DFG ist der hier besprochene, „Sandbewegung im deutschen Küstenraum“, derjenige, der am meisten auf eine Kooperation mit den Verwaltungen und Anstalten angewiesen ist.

Diese Kooperation hat in einer Hinsicht bisher sehr befriedigend funktioniert, in einer anderen war sie weniger effektiv. Funktioniert hat die Amtshilfe durch Bereitstellung von Schiffszeit der Bundesschiffe, gleich ob es sich um Vermessungsfahrzeuge des DHI oder der Wasser- und Schifffahrts- bzw. Wasserwirtschaftsverwaltungen handelte. Als Eindruck bleibt bestehen, daß diese Möglichkeit sogar noch intensiver genutzt werden kann. Ich möchte den

Amtschefs der Verwaltungen und Anstalten von seiten der Deutschen Forschungsgemeinschaft herzlichen Dank für diese Hilfe und diese Kooperation sagen. Wenn die wissenschaftliche Zusammenarbeit mit den Anstalten nicht immer befriedigte, so weiß ich dafür eine Erklärung. Ich habe neun Jahre selbst einer Anstalt angehört, dem DHI, und glaube, die Schwierigkeiten etwas zu übersehen. Die Anstalten des Bundes und der Länder waren überfordert von der Sache und von der personellen Kapazität her. Ein knapper, voll mit Aufgaben ausgelasteter Personalstab übernahm zusätzlich neue Aufgaben. Die Hilfe von DFG-Stipendiaten, die möglich ist und die in Anspruch genommen wurde, ist für Anstalten wenig effektiv. Kommen diese Kräfte nämlich direkt von der Hochschule, so sind sie wenig geeignet, selbständig größere Projekte zu übernehmen, sind sie dagegen älter und erfahren, dann lassen sie sich heute nicht mit Jahresverträgen der DFG gewinnen.

Der Schwerpunkt „Sandbewegung“ ist nicht in allen Sparten gleichmäßig vorangekommen. Dabei handelte es sich bisher vornehmlich um die beiden ersten Stufen, im Grunde die vorbereitenden. Die dritte Stufe steht erst in den Anfängen. An dieser Stelle möchte ich meinen Blick in die Zukunft wenden. Unbedingt erforderlich sind systematische Arbeit, Kontinuität dieser Arbeit und technische Hilfsmittel von einigem finanziellen Aufwand, um effektiv zu arbeiten, was um so deutlicher wird, je mehr man in die Anwendungsnähe kommt.

Wir erlebten 1967, vor 1½ Jahren, eine bittere Enttäuschung, als ein Geschenk von großem Wert schon greifbar nahe war und dann vor unseren Augen verschwand. Es war der Wellprotektor der PREUSSAG in der Deutschen Bucht, ein Turm im Meere nordwestlich von Helgoland, der als Meßgeräteträger hervorragend geeignet war und der verschenkt werden sollte. Seine Lebensdauer wurde vom Germanischen Lloyd auf 20—30 Jahre geschätzt. Die Bedingung, die dem Empfänger des Geschenkes gestellt war, hieß Abbaugarantie und diese konnte aus Gründen, die ich nicht übersehe, nicht gewährt werden. So wurde der Turm abgeschnitten. Wir werden in den nächsten Jahren um Meßtürme nicht herumkommen, sie sind kostspielig, ihre Verwirklichung liegt außerhalb der Möglichkeiten der DFG. Außerhalb der Zuständigkeit der DFG ist auch die Gewährleistung der Kontinuität der Arbeit. Was ist die Konsequenz? — Die DFG wird wahrscheinlich in 2—3 Jahren die Schwerpunktmittel „Sandbewegung“ reduzieren müssen. Ein Torso richtungweisender Ansätze wird übrigbleiben, wenn nicht bald ein Übergang ins Auge gefaßt wird, ein Übergang etwa zur Institutionalisierung in einem Spezialinstitut für Küstenforschung.

In die Denkschrift Meeresforschung der DFG aus dem Jahre 1968 (2), die von der Senatskommission für Ozeanographie erarbeitet wurde, also von einem Gremium von Experten, habe ich einen Vorschlag aufgenommen, der das Ziel zum Teil trifft, das ich meine. Dort heißt es auf Seite 69: *„Schließlich fehlt in der BDR ein Mehrzwecklabor für experimentelle Hydrodynamik als Bindeglied zwischen der messenden Erfassung der Phänomene in See und ihrer theoretischen Deutung. Im Rahmen eines einzelnen meereskundlichen Instituts würden die dafür erforderlichen kostspieligen Einrichtungen nicht rationell ausgenutzt werden können. Es handelt sich dabei vor allem um Vorrichtungen zur Simulation von Bewegungsvorgängen im Meer, wie z. B. Wellentanks und Rotationsbecken, in denen auch Mehrschichtmodelle untersucht werden können. Entsprechende Institute existieren heute bereits in Frankreich, England und den USA; abgesehen von den durch bessere europäische Zusammenarbeit zu schaffenden Möglichkeiten, wird man aber auf die Errichtung eines deutschen Instituts für experimentelle Hydrodynamik nicht verzichten können.“*

Ein solches Institut im Rahmen der Küsten- und Meeresforschung bedarf sehr enger Bindung an die Hochschulen. Es würde eine wirkliche Lücke ausfüllen, es wäre eine logische Konsequenz aus der Situation, die ich aus der Sicht des Schwerpunktprogramms „Sandbewegung im deutschen Küstenraum“ versucht habe, aufzuzeigen. Welche Bedeutung einem solchen For-

schungsinstitut für die volkswirtschaftlich wichtigen Aufgaben bei der Erhaltung und Verbesserung der Seewasserstraßen sowie beim Schutz der Küsten und Strände zukommt, brauche ich an dieser Stelle nicht zu erwähnen.

Zusammenfassung

Die Sandbewegung im Meere entscheidet über die Erhaltung der Küsten und Strände sowie über die Nutzbarkeit der Seewasserstraßen. Zahlreiche Teiluntersuchungen an der deutschen Nord- und Ostseeküste liegen vor, vor allem für örtliche Baumaßnahmen. Woran es mangelt, sind ausreichende Kenntnisse über die Prozesse der Sandbewegung, also die Antwort auf die Fragen, wie sich der Sand bewegt, woher er kommt und welche Wege er nimmt. Um diesen Mangel einzuengen, hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) 1967 ein Schwerpunktprogramm „Sandbewegung im deutschen Küstenraum“ eingerichtet, in dem verschiedene Fachgebiete der Meeresforschung zusammenarbeiten. Rechenschaft über die Fortschritte in diesem Programm wird gegeben, und Konsequenzen für die nächsten Jahre werden angedeutet. Dauerhafte Kontinuität in den Untersuchungen erscheint erforderlich. Dies liegt aber außerhalb der Förderungsmöglichkeiten der DFG. Es fehlt in der BRD ein Institut, dem die Küstenforschung von den Grundlagen und der Anwendung her zu einer Daueraufgabe gestellt ist. Der Bund und die Küstenländer werden als Träger einer solchen Forschungsstätte der nahen Zukunft angesprochen.

Schriftenverzeichnis

1. DIETRICH, G.: Verteilung, Ausbreitung und Vermischung der Wasserkörper in der südwestlichen Nordsee auf Grund der Ergebnisse der „Gauß“-Fahrt im Februar/März 1952. Ber. Dtsch. Wiss. Komm. Meeresforsch. **13**, 1953, 104—129.
2. DIETRICH, G., MEYL, A. H., SCHOTT, F.: Denkschrift II, Deutsche Meeresforschung 1962—1973. Fortschritte, Vorhaben und Aufgaben. Wiesbaden 1968, 78 S.

Ingenieurwissenschaftliche Aufgaben in der Küstenforschung *

Von Walter Hensen

Inhalt

Einleitung	
1. Zur Ausbaufähigkeit der Wasserstraßen im Tidegebiet	16
2. Zur größtmöglichen Sturmfluthöhe	17
3. Zur technisch sichersten und wirtschaftlichsten Ausbildung von See- und Stromdeichen	18
4. Zur Frage nach dem besten Küsten- und Inselfchutz	19
5. Zur Frage der Baggertechnik	20
6. Weitere ingenieurwissenschaftliche Aufgaben, deren Lösung noch aussteht (kurz aufgef.):	21
a. Eine Analyse von Windstau und Wellenstau	
b. Die Deutung der fast überall anzutreffenden Sandrippeln, Sandrücken und Strom- bänke als Indikatoren für die resultierend wirksamen Naturkräfte und für eine quantitative Ermittlung der Sandverfrachtung	
c. Die Untersuchung des Eisdruckes auf Bauwerke	

Summary

Engineering Aspects in Coastal Research

A review is given on Coastal Engineering activity in Germany during the last years. Especially problems of improvement and maintenance of waterways are discussed; for deep water channels, a further deepening by dredging does not necessarily lead to an increase of maintenance work. The forecasting of storm surge levels and construction of sea dikes is another point where more research is to be done in future, by mathematical models as well as by field measurements; this also is valid for the problems of shore and island protection against waves. By suitable dredgers and dredging operations, in many cases work can be done more economical than by constructions. In the last chapter, recommendation is given for a special Institute for Coastal Engineering in Germany; some specifications are noted for this proposal.

Nachdem Herr Bundesminister Dr. STOLTENBERG Ihnen Grundsätzliches über die öffentlichen Aufgaben der Meeresforschung und Küstenforschung dargelegt und Herr Professor Dr. DIETRICH die Aufgaben des Schwerpunktprogrammes der Deutschen Forschungsgemeinschaft „Sandbewegung im deutschen Küstenraum“ geschildert hat, möchte ich Ihnen jetzt einiges über ingenieurwissenschaftliche Aufgaben in der Küstenforschung vortragen.

Gestatten Sie mir bitte eine Vorbemerkung:

Während die naturwissenschaftliche Forschung im allgemeinen unbeschwert von drängenden aktuellen Tagesaufgaben ausgeübt werden kann, müssen ingenieurwissenschaftliche Aufgaben — fast immer durch besondere Ereignisse veranlaßt, hauptsächlich für technische Bauvorhaben — zu einer klaren Entscheidung führen, die über das Streben nach Erkenntnis von Zusammenhängen des Naturgeschehens hinausgeht und dem planenden Ingenieur unter Umständen eine große Verantwortung auferlegt.

* Vortrag auf der 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. Mai 1969 in Kiel.

Leider ist der Umstand, daß es meist zweckbestimmte Aufgaben sind, die zu örtlich begrenzten Untersuchungen führen und die überdies oft unter Zeitdruck stehen, nicht dazu angetan, einen Gesamtüberblick über das Naturgeschehen in größerem Raume zu gewinnen. Dies müßte jedoch eigentlich das Ziel aller Untersuchungen sein, sei es, daß sie in der Natur angestellt, im hydraulischen Versuch oder auch nach hydromechanischen Ansätzen rechnerisch durchgeführt werden.

Trotz der zweifellos anerkanntswerten und auf manchen Gebieten erfolgreichen Bemühungen des Küstenausschusses Nord- und Ostsee und insbesondere seiner Vorsitzenden ist doch bis heute die durchaus denkbare und im Interesse der Sache sehr wünschenswerte vollständige Koordination aller Forschungen im Küstenraum noch nicht zustande gekommen. Dies hat mancherlei Gründe, u. a. auch politische, auf die ich hier nicht eingehen will. Es ist aber so auch zu manchen sich teilweise widersprechenden Aussagen und Meinungen über verschiedene Fragen des Geschehens im Küstenbereich gekommen, wie z. B. über

1. die Frage nach einer Grenze der Ausbaufähigkeit von Wasserstraßen in Tideflüssen und in Tideästuarien oder
2. die für den Küstenschutz sehr bedeutsame Frage nach der größtmöglichen Sturmfluthöhe im Küstenbereich und in den Tideflüssen oder
3. die Frage nach der technisch sichersten und wirtschaftlichsten Ausbildung von See- und Stromdeichen oder
4. die Frage nach dem besten Verfahren zur Stranderhaltung vor den Küsten und an den Inseln oder
5. die Frage nach der unter den jeweils gegebenen Naturvoraussetzungen wirtschaftlichsten Technik des Baggerns von Fahrrinnen.

Auf die keineswegs vollzählig genannten und noch einige weitere Fragen will ich etwas näher eingehen. Es wird sich daraus ergeben, welche ingenieurwissenschaftlichen Aufgaben zu behandeln und möglichst zu lösen sind.

1. Zur Ausbaufähigkeit der Wasserstraßen im Tidegebiet

Bis vor kurzem und vielleicht auch noch heute herrscht weitverbreitet die Auffassung, daß eine Erweiterung, d. h. die Vertiefung und Verbreiterung einer Wasserstraße im Tidegebiet zwangsläufig zu der Notwendigkeit verstärkter Unterhaltungsarbeiten, also zu vermehrten laufenden Baggerungen nach dem Ausbau, führen müsse. Daß dies durchaus nicht immer so ist, hat sich bei der ständig weiter vertieften Fahrrinne in der Jade erwiesen. Es läßt sich auch theoretisch beweisen, daß die Vertiefung eines Fahrwassers in einem Tideflusse — allerdings nur unter einigen Voraussetzungen — um so leichter, also mit geringerem Aufwande — natürlich nach erstmaliger Herrichtung — beständig erhalten werden kann, je größer die Tiefe der Fahrrinne im Verhältnis zu den Wassertiefen des gesamten Flußgebietes ist.

Der Ausbau eines Tideflusses kann natürlich u. U. auch eine Veränderung des Tideverlaufes, insbesondere auch eine Erhöhung der Sturmflut-Scheitelwasserstände im Flußgebiet, vor allem in seinem oberen Bereiche, zur Folge haben. Das Maß einer solchen Sturmfluterhöhung wird von dem Verhältnis der Querschnitte und der Fahrwassertiefen vor und nach dem Ausbau abhängig sein.

Die ingenieurwissenschaftlichen Aufgaben liegen somit in der Erforschung der keineswegs erschöpfend aufgeführten Zusammenhänge. Wenn ich meine persönliche Meinung, die ich aus einer langen Beschäftigung mit diesen Fragen gewonnen habe, für den Bereich der deutschen Tideflüsse sagen darf, so ist es die Überzeugung, daß wir in der Jade, Weser und Elbe noch

keineswegs an der Grenze der Ausbaufähigkeit angekommen sind, daß die Verhältnisse in der Ems allerdings schon kritisch zu werden scheinen. Bei einem Vergleich der Ausbaufähigkeit der Seewasserstraßen zu unseren deutschen Häfen mit derjenigen zu den großen niederländischen und belgischen Häfen ergibt sich, daß sie (die deutschen Seewasserstraßen) im Wettbewerb durchaus bestehen können, ja teilweise sogar günstigere Voraussetzungen für die Möglichkeit zu weiteren Vertiefungen aufweisen.

Sie werden wohl alle das „Großprojekt Helgoland“ kennen oder davon gehört haben, das nach den Ideen seiner Initiatoren als „Inselhafen“ dienen und einen weiteren Ausbau der deutschen Seewasserstraßen überflüssig machen soll. Gewiß sollte man möglichst weit in die Zukunft zu planen versuchen; dennoch meine ich, daß die Zeit für „Inselhäfen“ in der Deutschen Bucht noch längst nicht gekommen ist. Im übrigen kann man Häfen auch nicht nur von der Wasserseite her planen; wirtschaftliche, land-verkehrliche und viele andere wesentliche Gesichtspunkte spielen ebenfalls eine bedeutende Rolle. Eine unbefangene und sachverständige Prüfung aller damit zusammenhängenden Fragen ist zweifellos eine ingenieurwissenschaftliche Aufgabe, die allerdings nur in Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftszweigen gelöst werden kann.

2. Zur größtmöglichen Sturmfluthöhe

Nach jedem ungewöhnlichen Ereignis fragt man natürlich: „War dies nicht vor auszusehen? Und hätte man nicht vorbeugend etwas zur Verhinderung von Verlusten und Schäden an Menschenleben, Hab und Gut tun können?“ So war es in den letzten Jahrzehnten nach der sog. „Holland-Sturmflut 1953“ und auch nach der „Februar-Sturmflut 1962“, die besonders die inneren Gebiete unserer deutschen Tideflüsse betroffen hatte.

Die Bemühungen, langfristige Sturmflutvorhersagen zu machen, vor allem die größtmögliche Höhe von Sturmflutscheitelwasserständen anzugeben, sind — wenn wir es genau nehmen wollen — immer wieder gescheitert. Die Seltenheit solcher extremen Ereignisse läßt eine statistische Behandlung nicht zu, ganz abgesehen davon, daß damit auch keine kausalen Zusammenhänge aufgedeckt werden könnten. Die an dem hier in Betracht kommenden Naturgeschehen mitwirkenden Faktoren sind so zahlreich, daß die denkbaren Kombinationen in der erst verhältnismäßig kurzen Beobachtungszeit von der Natur noch längst nicht durchgespielt worden sind.

Wir müssen uns notgedrungen damit begnügen, bei einer einzeln auftretenden Sturmflut möglichst rechtzeitig Warnungen zu geben und Vorhersagen von den Scheitelwerten zu machen. Zu dieser Frage sind schon erfreuliche Fortschritte zu verzeichnen.

Dennoch kann es m. E. nicht befriedigen, wenn aus noch so zuverlässigen Beobachtungsreihen eines notgedrungen begrenzten Zeitraumes Voraussagen über die Wahrscheinlichkeit des Eintritts einer bestimmten Sturmflut-Scheitelhöhe gemacht werden, z. B. in der Aussage, 1mal in 100 Jahren oder 1mal in 1000 Jahren ist ein solches Ereignis zu erwarten.

Zur Verbesserung der kurzfristigen Vorhersage von einzelnen, sich anbahnenden Sturmfluten kann gewiß noch manches Nützliche getan werden, so z. B. die Errichtung von festen Meßstationen in der offenen Nordsee, auch in entfernter liegenden Räumen, z. B. in der nördlichen Nordsee. Man käme damit allmählich in die Lage, nach exakten numerischen Verfahren, wie sie z. B. Prof. HANSEN entwickelt hat, frühzeitiger und genauer die Höhe und die Eintrittszeit von Sturmflutscheiteln nicht nur für die Küste, sondern auch für den ganzen Einflußbereich der Tide in den Flüssen vorherzusagen.

Mit der Erreichung dieses im Grunde immer noch bescheidenen Zieles wird allerdings die

Grundfrage nach der höchstmöglichen Sturmflut nicht beantwortet werden können. Daraus ergibt sich die Folgerung, daß durchaus mit noch beträchtlich höheren Scheitelwerten gerechnet werden muß, als sie bisher eintraten. Die Frage nach der ausreichenden Deichhöhe verliert dabei an Bedeutung gegenüber der Forderung nach dem Bau „bruchsicherer Deiche“, d. h. selbst wenn der mittlere Wasserstand (ohne Wellen) die Höhe der Deichkrone übertrifft, müßte der Deich noch bruchsicher sein.

An unseren Küsten wird allgemein ein Zuschlag zur Deichhöhe für den Wellenauflauf gemacht, der insofern eine gewisse Reserve an Deichhöhe gegen eine Überflutung darstellt.

In Tideflüssen fehlt bei den Deichen im allgemeinen die Reserve für den Wellenauflauf. Deshalb sind die Stromdeiche gegen Überlaufen nicht so gesichert wie die Seedeiche. Ingenieurwissenschaftliche Aufgaben liegen hier deshalb in der Untersuchung der Fragen,

1. wie hoch eine an der Mündung eines Tideflusses vorgegebene Sturmflut stromauf aufläuft, und zwar in Abhängigkeit vom Tidehub, von den Tidewasserständen, von den mittleren Tide-Flutwassermengen, vom Oberwasser des Tideflusses und von den Querschnittsgrößen,
2. wieviel früher und höher die Sturmflut-Scheitelwasserstände im Flußgebiet eintreten, wenn das Fahrwasser ausgebaut, d. h. vertieft, verbreitert oder begradigt wird und
3. welchen Einfluß Sturmfluten auf die Morphologie der Watten und des Flußbettes haben.

3. Zur technisch sichersten und wirtschaftlichsten Ausbildung von See- und Stromdeichen

In Gesprächen mit niederländischen Fachkollegen kurz nach der Sturmflut 1953 wurde u. a. die Querschnittsform der Seedeiche besprochen. Es stellte sich heraus, daß in den Niederlanden die konvexe, d. h. nach oben gewölbte Außendeichböschung vorgezogen wird, während wir an unserer deutschen Küste die historisch entwickelte konkave Böschung bevorzugen.

Von den Ländern Schleswig-Holstein und Niedersachsen veranlaßte Modellversuche zeigten, daß die konvexe Außenböschung der konkaven weit überlegen ist; die Verminderung der Wellenauflaufhöhe beträgt bei einer konvexen Böschung bis zu 50 % der Auflaufhöhe bei einer konkaven Böschung. Neuere Untersuchungen von FÜHRBÖTER über den Druckschlag durch Brecher auf Deichböschungen zeigten ebenfalls die Zweckmäßigkeit der konvexen Außenböschungen.

Merkwürdigerweise wird von diesen — auch ohne Modellversuche in ihrer Wirkungsweise leicht einzusehenden — Vorteilen der konvexen Außenböschungen in Deutschland kein Gebrauch gemacht. Warum? fragt man sich. Es gibt kein haltbares Argument gegen die konvexe Außenböschung, dennoch wird selbst bei neuen Deichen die konkave Form wieder angewendet. M. W. wird jetzt erstmalig bei Bremerhaven der im Zusammenhang mit der Errichtung der Container-Kaje am rechten Weserufer notwendige Deich mit konvexer Außenböschung angelegt.

Mit der Binnenböschung der Deiche hat man es sich bisher verhältnismäßig leicht gemacht. Da die Erfahrungen gezeigt haben, daß eine Binnenböschung von weniger als 1:3 durch abströmendes Wasser von überschwappenden Wellen leicht erodiert wird, wird eine Binnenböschung von 1:3 als ausreichend angesehen. Ob sich dieses Maß als hinreichend erweist, wenn Wellen in größerer Zahl als bisher über den Deich schwappen, bleibt offen. Aus den Niederlanden kommt die Ansicht, daß rund 2 % der Wellen über einen Deich schwappen dürfen, ohne daß Schaden angerichtet wird. Diese Zahl ist natürlich ganz willkürlich gewählt und physikalisch unbegründet.

Zur Aufgabe der klassischen Bauweise eines Deiches nur aus Kleiboden haben nicht nur der

Mangel an Klei geführt und der zeitliche Druck bei seiner Ausführung, sondern auch die Erkenntnis, daß ein Deich mit Sandkern und selbstverständlich guter Decke mindestens so standsicher ist wie die alten Kleideiche. Mit modernen Baugeräten rasch errichtete oder erhöhte Deiche haben sich teilweise durchaus nicht bewährt, sondern sind durch Porenwasserüberdruck auf der Binnenböschung bei Sturmfluten schwer beschädigt worden.

Die Verwendung von anderen Baustoffen als dem klassischen Kleiboden, wie z. B. Asphaltbeton oder Kunststoff, ist in Hinsicht auf die Dauerbeständigkeit naturgemäß noch nicht hinreichend erprobt. Damit hängt auch die Frage nach der Wirtschaftlichkeit zusammen.

Als wesentliche ingenieurwissenschaftliche Aufgabe kommt hier in Betracht die Untersuchung der Fragen

1. nach der erreichbaren Bruchsicherheit von Deichen bei stärkerem Überfluten durch Wellen bis zur vollständigen Überströmung,
2. nach der nicht nur technisch besten, d. h. sichersten und zugleich wirtschaftlichsten Bauweise von See- und Stromdeichen, sondern auch in Hinsicht auf die Lebensdauer zuverlässigsten Bauart und
3. nach der möglichen Anwendung von neueren Baustoffen.

4. Zur Frage nach dem besten Küsten- und Inselschutz

Das älteste Mittel zum Schutz von abbruchgefährdeten Küsten und Stränden sind Buhnen. Über ihre Vor- und Nachteile hat PETERSEN ausführlich kritisch berichtet. Darauf soll deshalb hier nicht näher eingegangen werden.

Inzwischen hat sich die Überzeugung durchgesetzt, daß Buhnen keineswegs ein Allheilmittel sind, sondern nur unter bestimmten Voraussetzungen Erfolg versprechen. Leider liegen die Voraussetzungen nur selten vor. Besonders die Gefahr der Lee-Erosion am Ende einer Buhnenstrecke darf nicht übersehen werden.

Buhnenbauten sind teuer, vor allem, wenn man die Buhnen so lang macht, wie sie sein müssen, um wirklich Sand aus der Längsvertriftung parallel zum Strand zu fangen und zu halten, nämlich bis zum ersten (küstennächsten) Riff.

Daß der Abbruch von Steilufern oder Dünenfüßen ganz entscheidend bei hohen Wasserständen mit gleichzeitig schwerem Seegang stattfindet, ist durchaus bekannt, auch, daß die Neigung des Unterwasserstrandes von der Größe des mittleren Korndurchmessers des Strandmaterials abhängt; je feiner das Korn ist, desto flacher muß die Neigung des Unterwasserstrandes sein, wenn der Strand stabil sein soll.

Manche Vorschläge, andere Mittel als einen Buhnenbau anzuwenden, wurden unterbreitet und erprobt so z. B.

1. der Bau von Längswerken, d. h. strandparallelen Dämmen, die sich durchaus bewährt haben, — wenn sie allerdings auch eine Lee-Erosion verursachen können.

Solche Längswerke brauchen nicht ununterbrochene Bauwerke zu sein, sie können durchaus als „gestrichelte Linie“ angelegt werden, bei der infolge der Wellendiffraktion eine wesentliche Verminderung der Wellenhöhen und damit der Angriffskräfte auf die Küste und die Stranddünen eintritt. Sie können auch als Steinschüttdämme (Wellenbrecher) oder als Tetrapodendämme gebaut werden, die übrigens — das sei nur am Rande vermerkt — kein nennenswert größeres Porenvolumen haben als Dämme aus gebrochenem Fels von verhältnismäßig gleichmäßiger Blockgröße. Die größere Standsicherheit von Wellenbrechern aus Tetrapoden (wegen der gewissen Verzahnung der einzelnen Tetrapoden) bleibt abzuwägen gegen ihre meist beträchtlich höheren Baukosten gegenüber Bruchsteinen.

Auch aus dreiecksförmigen Körpern aus Beton, die schwimmend bis zum ersten Strandriff gebracht und dort durch Sandfüllung abgesetzt und stabilisiert werden, lassen sich nach den Ergebnissen von Modellversuchen solche strandparallelen Längswerke herstellen.

2. Bereits mit Erfolg erprobt wurde an der Insel Norderney das Verfahren, das durch Naturkräfte, im wesentlichen durch den Seegang, abgetragene Strandmaterial durch unmittelbare Vorspülung wieder zu ersetzen und damit die Dünen vor weiterem Abbruch zu schützen. Natürlich werden damit nicht die Ursachen für die Strandabbrüche beseitigt; insofern handelt es sich um eine Sisyphus-Arbeit. Bei näherer Betrachtung handelt es sich aber im Grunde um etwas durchaus Ähnliches wie bei den laufenden Unterhaltungsbaggerungen in den Fahrrinnen. Zu prüfen bleibt in jedem Falle selbstverständlich, ob sich der Aufwand für eine solche Sandvorspülung wirtschaftlich rechtfertigen läßt, insbesondere im Vergleich mit anderen bautechnischen Mitteln und deren oft durchaus nicht absolut sicheren Erfolgen.

Die Entwicklung der Naßbaggertechnik und der für viele Zwecke bereits erfolgreich angewendeten Hilfsgeräte der Hubinseln, die heute auch schon schreiten können, läßt es als durchaus lohnend erscheinen, die laufende Vorspülung von Strandmaterial (in der Regel Sand) als technisch und wirtschaftlich ernsthaft in Betracht kommendes Mittel zum Schutze abbruchgefährdeter Küsten und Strände anzuwenden.

Erwähnenswert sind auch noch die dänischen Versuche von LUNDGREN, die Energie der auf die Küste zulaufenden Wellen mit einer Art künstlichem Schilfstreifen aus an der Meeressohle verankerten Kunststoffschläuchen weitgehend zu vernichten.

Auf diesem Gebiet des Küsten- und Strandschutzes liegen noch eine ganze Reihe von bisher nicht hinreichend gelösten Fragen vor, die man ingenieurwissenschaftlich zu lösen beginnen sollte. Die Aufgaben ergeben sich aus den angedeuteten Fragen.

5. Zur Frage der Baggertechnik

Vor noch nicht langer Zeit galt die fast zu einem Axiom gewordene Ansicht: „Baggerungen sind kein Regelungsmittel.“ Die Vorstellung, daß man mit Baggerungen nur an den Symptomen herumkurriere, war zu der Zeit, als die Leistungen der Bagger noch verhältnismäßig klein waren, im allgemeinen durchaus angebracht. Inzwischen sind aber die Leistungen der Geräte so erheblich vergrößert worden, daß sie die quantitativen Leistungen der Naturkräfte beträchtlich übertreffen können. Außerdem hat sich gezeigt — die Jade sei wieder als Beispiel genannt —, daß intensiv durchgeführte Baggerungen sehr wohl auch ohne bauliche Regelwerke die gesteckten Ziele zu erreichen vermögen. Während man früher — angesichts der im Verhältnis zu den natürlichen Veränderungen in den Tideflüssen geringen Leistungen der Baggergeräte — für Ausbauabsichten von vornherein an die Errichtung von Seebauwerken dachte, sollte man diese heute nur noch dann erwägen, wenn sich dazu eine zwingende Notwendigkeit erweist.

Das Kapitel der Baggerei birgt noch manche ungelösten ingenieurwissenschaftlichen Aufgaben, so z. B. die Frage, wie man trotz der immer größer werdenden Baggertiefe die Leistung von Saugbaggern möglichst noch erhöhen kann; ob man wirklich mit dem von der Sohle der Fahrrinnen entnommenen Baggergut weite, zeitraubende und damit kostspielige Wege zurücklegen muß oder ob man auch mit anderen Mitteln, z. B. mit Kratzgeräten, ähnlich den an verschiedenen Plätzen schon verwendeten sogenannten Schlickeggen (Schlickpflügen), billiger zum gewünschten Erfolg kommen kann.

6. Weitere ingenieurwissenschaftliche Aufgaben, deren Lösung noch aussteht, seien nur kurz aufgeführt:

- a. eine Analyse von Windstau und Wellenstau,
- b. die Deutung der fast überall anzutreffenden Sandrippeln, Sandrücken und Strombänke als Indikatoren für die resultierend wirksamen Naturkräfte und für eine quantitative Ermittlung der Sandvertriftung,
- c. die Untersuchung des Eisdruckes auf Bauwerke.

Obwohl die Küstenforschung sowohl in der Vergangenheit als auch in der Gegenwart schon Beachtliches geleistet hat, bleibt doch gerade für Deutschland der mißliche Umstand, daß es kein Institut gibt, das sich speziell nur mit Fragen der Küstenforschung befaßt. Die Forschungsarbeiten entstehen daher isoliert voneinander in verschiedenen Behörden und Instituten, eine Kontinuität der Arbeit besteht nicht.

Es muß weiterhin davon ausgegangen werden, daß die Ozeanographie — durch die Lehrstühle für Meereskunde an den Universitäten und durch das Deutsche Hydrographische Institut in Deutschland durchaus angemessen vertreten und mit der „Meteor“ ausgezeichnet ausgerüstet — als rein maritime Wissenschaft sich den Küstenvorgängen mehr oder weniger nur am Rande widmen kann. Küstenforschung verlangt andere Methoden und die Mitwirkung anderer Fachdisziplinen als die reine Meeresforschung.

Im wesentlichen werden heute Forschungen im Küstenraum von den örtlichen Behörden sowie von der Außenstelle Küste der Bundesanstalt für Wasserbau und von der Forschungsstelle Norderney des Landes Niedersachsen durchgeführt. Sehr Beachtliches wurde in den letzten Jahren auch von der Forschungsgruppe Neuwerk des Strom- und Hafenbaues Hamburg geleistet.

Es fehlt aber ein zentrales Institut mit einem geeigneten Laboratorium, das Küstenforschung bewußt als ingenieurwissenschaftliche Grundlagenforschung betreibt, also nicht nur allein regionale Probleme untersucht, sondern in Zusammenarbeit mit den großen entsprechenden Instituten anderer Länder die grundlegenden Gesetze der Litoralprozesse untersucht.

Folgende Wissenschaften treffen sich in der Küstenforschung:

1. *Ozeanographie*
(Tideerscheinungen, Windstau und winderzeugte Strömungen, Schwingungen von Randmeeren und Buchten, Wellenelemente usw.; manche dieser Prozesse stehen im engen Zusammenhang mit der Meteorologie).
2. *Ingenieurwissenschaften*
(Wellen und wellenerzeugte Kräfte und Strömungen, Küstenschutz gegen Sturmfluten und gegen Verunreinigungen des Meerwassers, Veränderungen der Küste im Hinblick auf Schifffahrt, Wasserwirtschaft und Landgewinnung usw.; Pegelwesen und die gewässerkundlichen Fachgebiete).
3. *Geologie*
(insbesondere im Hinblick auf das Randgebiet zwischen Meer und Festland, in dem Wellen und Strömungen die Morphologie des Küstenraumes prägen).
4. *Physik*
(vor allem auf dem Gebiet der Meßtechnik, z. B. der quantitativen Erfassung von Sandbewegungen).
5. *Geodäsie*
(Die Untersuchung der Veränderung der Küstenmorphologie erfordert sehr genaue und dabei großräumig anwendbare Meßverfahren, die erst durch die elektronische Geodäsie in Zusammenhang mit der Luftbilddauswertung möglich wurden).

Diese Aufzählung erhebt nicht den Anspruch auf Vollzähligkeit; es können bei speziellen Problemen auch andere Fachdisziplinen beteiligt sein (z. B. Biologie, Geographie).

Die Aufgabenstellungen eines solchen Instituts ergeben sich sowohl aus den Naturvorgängen selbst als auch aus den Fragen, die sich mit der stetig zunehmenden Nutzung des Küstenraumes ergeben:

1. Nutzung der vorhandenen Ströme als Schiffsfahrtswege.
2. Anlage neuer Häfen für Superschiffe.
3. Untersuchung der Ausbaufähigkeit vorhandener Schiffsfahrtswege für größere Schiffe.
4. Schutz gegen Wellen und Welleneinwirkungen an Deichen und Deckwerken.
5. Veränderungen der Wattenmorphologie durch menschliche Eingriffe (Abdämmung der Eider, Landfestmachung der Inseln durch Dämme usw.).
6. Verhinderung von Uferabbruch und Strandrückgang (Sylt).
7. Untersuchungen für die Ansiedlung von neuen Industrien und Großkraftwerken an Küsten und Tideflüssen.
8. Untersuchungen über Verunreinigungen durch Abwässer.

Die zu verwendenden Untersuchungsverfahren sollten zweckmäßigerweise in einer gemeinsamen Anwendung von Außenmessungen, Untersuchungen im Laboratorium und von mathematischen Modellen bestehen. Besonderer Wert ist dabei auf die naturgetreue Simulation von Naturvorgängen im Laboratorium zu legen, weil die Nachbildung von Litoralprozessen im verkleinerten hydraulischen Modell oft auf unüberwindliche Schwierigkeiten stößt. Als eine der notwendigen Grundausrüstungen eines solchen Instituts wäre deshalb eine große Wellenrinne zu nennen, die es gestattet, Wellen bis zu etwa 1,5 m Höhe zu erzeugen und deren Wirkung sowohl auf den Unterwasserstrand als auch auf Uferschutzwerke im Naturmaßstab meßtechnisch zu erfassen. Diese Wellenrinne sollte in erster Linie der Grundlagenforschung, kann aber auch als Prüfstand für Uferbauwerke dienen.

Weiterhin wäre ein Kanal wichtig, in dem die Wirkung der Orbitalbewegung von Wellen, auch mit Strömungen überlagert, auf Sandmaterial verschiedener Kornzusammensetzung untersucht werden kann, im selben Maßstab wie in der Natur. Durch einen solchen Versuchsstand könnten quantitative Werte für die Sandwanderung durch Wellen gefunden werden und durch unmittelbare Beobachtung die physikalischen Vorgänge in der Grenzschicht festgestellt werden.

Fernerhin wäre eine Kreislauf Rinne zur Erzeugung von Tideströmungen günstig, wie sie bereits im kleinen Maßstabe mit gutem Erfolg im Franzius-Institut eingesetzt worden ist.

Wellenbecken und -rinnen für verschiedene Versuchszwecke würden die Ausrüstung vervollständigen.

Der Aufbau eines solchen Instituts kann in mehreren Stufen vorgenommen werden. Im Anfang könnte der große Wellenkanal (Länge etwa 250 m, Breite rd. 5 m, Tiefe 3 bis 5 m) und eine Versuchshalle von etwa 50 × 100 m mit den zugehörigen Labor- und Büroräumen und Werkstätten errichtet werden; die Kosten dafür würden etwa 10 Millionen DM betragen.

Der Personalbestand wäre maximal mit 8 bis 10 Wissenschaftlern und 15 bis 20 Personen technisches Personal zu veranschlagen. Dem Charakter der interdisziplinären Forschung entsprechend, sollten unter den Wissenschaftlern außer Ingenieurwissenschaftlern auch Geophysiker, Physiker und Geologen sein.

Eingehend wäre der Status eines solchen Instituts zu überlegen. Auf jeden Fall sollte aber der Leiter ein Ordinarius an einer wissenschaftlichen Hochschule sein, damit gewährleistet wird, daß dem wissenschaftlichen Nachwuchs die Forschungsmöglichkeiten dieses Institutes voll nutzbar werden. Aus diesem Grunde sollte das Institut in oder in unmittelbarer Nähe einer Stadt errichtet werden, in der eine Universität mit den entsprechenden Fachdisziplinen besteht. Eine Außenstelle (Lagerplatz und Werkstatt für Meßgeräte) unmittelbar an der Küste würde den Kontakt mit der See herstellen; vielleicht ist es später möglich, ein eigenes kleines Meßschiff anzuschaffen.

Um die Forschungskapazität dieses Instituts von den interessierten Dienststellen und

Hochschulen optimal ausnutzen zu können, wäre an ein Kuratorium zu denken, in dem der Bund (z. B. durch die Präsidenten der Bundesanstalten für Wasserbau und Gewässerkunde), die Küstenländer (Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen, Niedersachsen) und die wissenschaftlichen Hochschulen vertreten sind. In das Kuratorium sollte m. E. der Verwaltungsausschuß des Küstenausschusses Nord- und Ostsee, der auch weiterhin bestehen bleiben sollte, geschlossen aufgenommen werden.

Für die zahlreichen Aufgaben der Datenverarbeitung ist außerdem die unmittelbare Nähe eines leistungsfähigen Rechenzentrums wünschenswert, für die Dokumentation die Nähe einer entsprechenden wissenschaftlichen Spezialbibliothek.

Unter den heute gegebenen Umständen wäre ein Standort in oder bei Hannover günstig, weil dort an der Technischen Universität bereits sowohl ein Sonderforschungsbereich für Wasser als auch ein Sonderforschungsbereich für Vermessungen (Küstenvermessung) von der DFG gefördert wird; außerdem befindet sich in Hannover die Bundesanstalt für Bodenforschung, die sich ebenfalls an der Erforschung des Küstenraumes beteiligt. Im übrigen steht in Hannover die zentrale Technische Informationsbibliothek (TIB) für die Dokumentation zur Verfügung. Das Institut sollte aber nicht innerhalb der Technischen Universität, sondern als selbständige Forschungsanstalt, etwa nach dem Vorbild der Berliner Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau auf der Schleuseninsel gegründet werden.

Über den Stand der Küstenforschung*

Von J. B. Schijf

Summary

Coastal research has to be international, because nature does not respect political boundaries. Moreover, the exchange of research aims, methods and results between coastal engineers and researchers of many countries has become very effective (e. g. Coastal Engineering Conferences).

Coastal research is not an aim in itself, it serves coastal engineering, which in turn serves many activities of mankind.

While coastal research is young, coastal engineering is fairly old. In historical sequence its first client, several thousands of years ago, was navigation. Thereafter, several hundreds of years ago, came coastal protection, then industry and finally the exploration and exploitation of mineral resources on the continental shelf.

The task of coastal research is to provide a coherent structure of knowledge of coastal and foreshore processes, enabling a complete analysis of the phenomena observed, and above all, methods of forecasting the results of those processes and of human interference.

At present coastal research is in a state of rapid development.

Even though in the past already a considerable fund of knowledge had been assembled, the technique of observation falls far short of the needs.

The complexity and variability of the phenomena require both long continuous records and accuracy in detail.

The processing of the data thus becoming available can only be accomplished with the aid of computers. At present, however, large gaps in our knowledge still exist. They have to be filled by intelligent guesswork, based on experience and intuition.

At present we have a fairly complete knowledge of the tides along the coast and in the estuaries, but much less of the tides in the open sea.

On storm surges, which are such a destructive force in the Northsea, more research is needed, both on the frequency distribution and on the processes of development and propagation.

On the exchange of watermasses within the Northsea and within the Ocean still much has to be learned by well-directed programs of observation.

The research on waves is progressing fast, although much has still to be done. In particular the application of research results to design and operation still offers problems. The most difficult and least advanced field in coastal research is sediment transport and all it implies. Both theory and observation technique still fall far short of requirements.

As has become clear, the availability of reliable and accurate measuring techniques is of paramount importance. Here the development is most spectacular. Starting from the primitive, often very ingenious, efforts of the pioneers in the field, the development has gone through recording instruments and transmitting devices to instruments that present the data in digital form, suitable for processing in computers.

Possibly the close contact and nearly sensory understanding characterising the pioneers in the field may thereby suffer.

Still, in research one can look back, but never go back. Therefore one must go ever onward, hoping to advance rapidly further towards the solution of the problems confronting the coastal engineer.

But, please, not all the solutions at once.

* Vortrag auf der 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. Mai 1969 in Kiel.

Anmerkung der Schriftleitung: Der vom Verfasser gebrauchte Begriff „Küstenforschung“ bezieht sich in erster Linie auf die hydrodynamischen Probleme der Nordseeküste einschließlich der Flußmündungen und Häfen.

Inhalt

1. Einleitung	25
2. Aufgaben der Küstenforschung	27
3. Stand der Küstenforschung	28
4. Entwicklung der Meßmethodik	30

1. Einleitung

Um die internationale Küstenforschung in der richtigen Perspektive zu sehen, muß man zuerst die Hintergründe ins Auge fassen. Daß die Küstenforschung international ist, ist beinahe notwendig, denn die Naturkräfte respektieren keine Landesgrenzen. Auch wenn schon die Küsten augenscheinlich ein unendliches Panorama von Verschiedenheiten bieten, besteht in vielen Küstenstrecken und den ihnen vorgelagerten Meeresgebieten so viel Übereinstimmung in den physikalischen Vorgängen, daß die Problematik weitgehend gleichgeartet ist. Daneben ist in den letzten Jahrzehnten die Kommunikation zwischen Küsteningenieuren und Wissenschaftlern aller Länder so wirksam geworden, daß allmählich die Begriffsformulierung und die Methodik nahezu vollständig gleichgeschaltet sind. Die Reihe der „Conferences on Coastal Engineering“ (die letzte in London im September 1968) hat dabei eine große Rolle gespielt.

Die Küstenforschung ist kein Selbstzweck. Sie wird getrieben um der Küstentechnik willen, die auch wieder kein Selbstzweck ist. Die Küstentechnik dient einer Anzahl von Tätigkeiten des Menschen, und von da aus kann man zu einer Vorstellung der Forschungsaufgaben kommen. Ich werde das nur in ganz großen Zügen darzulegen versuchen.

Die Küstenforschung ist jung, die Küstentechnik ist ziemlich alt. Sie war lange Zeit aber ganz einseitig ausgerichtet, nämlich auf die Schifffahrt. Unter den ältesten Funden der Vergangenheit findet man rings um das Mittelmeer Reste von alten Häfen. Schon Homer erwähnt Hafenanlagen. Seit jener Zeit ist das Bedürfnis der Schifffahrt nach Häfen und Anlegestellen immer geblieben und gewachsen. Aber bis vor kurzem waren Forschungsarbeiten, wie wir sie uns heute vorstellen, noch nicht dabei. Mit diesen hat man im Sektor des Schiffbaues früher als in dem des Hafenbaues angefangen.

In bezug auf die Häfen ist es merkwürdig, daß weitaus die meisten der heutigen Welthäfen in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts gewachsen sind. Sie liegen bis zu 100 km und mehr landeinwärts von Flußmündungen. Einige Beispiele hierfür sind Hamburg, Bremen, London, Rotterdam, Antwerpen, Bordeaux, Baltimore, Kalkutta, Schanghai. Das war damals offenbar eine gute Sache. Heute aber erweist es sich, als eine Art von Schicksal, und überall sieht man ein fieberhaftes Drängen nach See zu, eine Form von Klaustrophobie. Das ungestüme, man kann fast sagen unziemliche Anwachsen der Schiffsabmessungen, so völlig ohne Rücksicht auf Hafeningenieure und Hafenbehörden, hat auch einen Aufschwung der Küstenforschungstätigkeit bewirkt. Die Frage ist schon gestellt worden, warum sich immer die Häfen an die Schifffahrt — und zwar bis an nahezu unmögliche Grenzen — und nicht umgekehrt anpassen müssen. Die Antwort ist ganz einfach: Selbst wenn ein Hafen mit großem Kostenaufwand erbaut ist, ist der Wert der Schiffe, die sich gegebenen Augenblicks darin aufhalten, noch immer der zehnfachen bis zwanzigfachen.

Von der Ökonomie aus gesehen ist es also klar, wo der Schwerpunkt liegen sollte. Man sieht, daß alle Häfen sich so weit ausweiten, daß sie auch die größten Schiffe aufnehmen können. Jedoch kann man sich denken, daß, wenn eines Tages die erste Delegation vom Mars Nordwesteuropa besuchen wird, die Marsleute angesichts des scharfen Wettbewerbs der benachbarten Häfen, gruppenweise sogar in demselben Land, mit Erstaunen konstatieren werden, daß

man hier offenbar das Optimalisierungsrechnen noch nicht erfunden hat. — Das gehört aber nicht zur Küstenforschung.

Die Schifffahrt war also, und zwar schon seit mehreren tausend Jahren, der erste Arbeitgeber der Küstentechnik. Erst viele Jahrhunderte später kam der Küstenschutz hinzu. Das hat seinen Grund darin, daß das Bedürfnis nach Küstenschutz nur da besteht, wo eine hochentwickelte technische Zivilisation blüht. Im natürlichen Zustand ist die Küste, das Niemandsland zwischen Land und Meer, besonders an sandigen Küsten fortwährend in Bewegung. Dort, wo man von einem Zustand des Gleichgewichts sprechen kann, ist dieser Zustand nicht statisch, sondern *dynamisch* zu verstehen. Die Sandmassen werden dauernd umgelagert, hin und wieder versetzt, und die Küstenlinie, wie man sie auch immer definiert, wandert hin und her. Für die Schaffung dieses Gleichgewichts brauchen die Naturkräfte außer einer gewissen Sandmenge auch einen gewissen Spielraum. Solange die menschliche Gesellschaft diesen Spielraum respektiert, ist alles in Ordnung. Sobald wir aber in diesen Spielraum mit Hafengebäuden, industriellen Anlagen, Erholungsplätzen, Straßen und Eisenbahnen hineinbrechen, kurz, sobald Kapital investiert ist, das durch das Spiel der Natur an der Küste bedroht wird, tritt die Küstenerosion ein. *Die Küstenerosion ist eine Begleiterscheinung der Zivilisation.*

Es kommt noch etwas hinzu. In manchen Fällen hat der Mensch das freie Kräftespiel an der Küste durch die Anlage von Hafendämmen, Ausbaggerung von Schifffahrtsrinnen u. a. m. gestört. Aber auch die Bauten des Küstenschutzes selber bringen immer neue Erosionen mit sich, entweder an der Stelle des Eingriffes selbst oder in dessen Umgebung. Ein schönes oder vielleicht auch schlechtes Beispiel sind die Watteninseln. Der Natur überlassen würden die Inseln beweglich sein, von West nach Ost wandern, ihre Gestalt und gelegentlich ihre Größe ändern. Vielleicht würde von Zeit zu Zeit sogar eine Insel verschwinden und eine neue entstehen. Aber eines Tages wollten wir diesen Unfug nicht länger ertragen und so hat der Küstenschutz angefangen. Jetzt gibt es kaum eine Insel mehr, wo nicht — zuweilen sehr kostspielige — Schutzbauten verschiedenster Art bestehen. Und das geht weiter, wegen der Investitionen, wegen der Zivilisation.

Haben wir also den Hafengebäudebau seit einigen tausend und den Küstenschutz seit einigen hundert Jahren, so ist viel später ein dritter Auftraggeber dazugekommen, die Industrie. Die Industrie braucht Kühlwasser und gelegentlich Rohstoffe aus dem Meer. Ihre Abwässer und Abfälle führt sie dem Meere zu. Dazu werden nicht nur Küstenbauten, Auslaßkonstruktionen und dergleichen, sondern auch Studien über die Ausbreitung, Verdünnung und Weiterverbreitung der Verunreinigung erforderlich. Zuerst bemerken wir diese Vorgänge in Küstennähe. Allmählich aber müssen wir anfangen, uns darum zu kümmern, was die Nordsee als Ganzes ertragen kann. Genau wie die Schifffahrt kümmert sich die Industrie wenig um die Schwierigkeiten, die sie den Küsteningenieuren bereitet. Die Römer hatten das Sprichwort „*Navigare necesse est, vivere non necesse est*“, d. h. Seefahrt ist notwendig, Leben ist nicht notwendig. Das ist lange überholt. Jetzt heißt es: Industrialisierung ist notwendig, das Leben muß sich damit schon abfinden.

Schließlich ist als Viertes im Bunde die Entdeckung und Ausnutzung der Bodenschätze des Kontinentalsockels dazugekommen. Auch die damit verbundenen technischen Probleme verlangen Forschung. Man könnte sagen, daß das nicht mehr zu der Küstenforschung im eigentlichen engeren Sinne gehört. Wir werden aber noch sehen, daß es auch für die anderen Zwecke schon notwendig ist, den Forschungsbereich bis weit nach See zu auszuweiten und daß außerdem dieselben Elemente in verschiedenen Richtungen untersucht werden müssen.

Faßt man also zusammen, so hat die Küstenforschung vier große Auftraggeber:

die Schifffahrt	—	Zeitmaßstab Jahrtausende
den Küstenschutz	—	Zeitmaßstab Jahrhunderte

die Industrie	—	Zeitmaßstab Jahrzehnte
die Mineralgewinnung	—	neu

2. Aufgaben der Küstenforschung

Was nun? fragen uns die Auftraggeber. Was ist die Aufgabe der Küstenforschung? Die Antwort darauf ist, daß es gilt, eine wissenschaftliche Grundlage zu schaffen und für alle diese Aktivitäten auszubauen, d. h. ein zusammenhängendes Gebäude von Kenntnissen über die Naturvorgänge sowohl nach der quantitativen als auch der qualitativen Richtung zu errichten, mathematisch ausgedrückt: ein Gebäude in Systemen von Gleichungen o. ä. derart, daß eine vollständige Analyse der beobachteten Erscheinungen möglich wird und als Wichtigstes, daß auf Grund der Erkenntnisse Vorhersagen gemacht werden können. Für die Entwicklung eines solchen Gebäudes bedarf es der physikalischen Begriffe der Teilvorgänge und ihres Zusammenhanges, dazu mathematischer Methoden und für alles zusammen einer ausreichenden Beobachtungstechnik, ergänzt durch Einrichtungen für Einzelforschung unter selektierten und kontrollierten Bedingungen, also Experimenten und Laboruntersuchungen.

Wie bei allen wissenschaftlichen Forschungen muß auf Grund primitiver ungerichteter Beobachtung zuerst eine gewisse globale Einsicht gewonnen werden. Daraus erwachsen dann besser fundierte und gerichtete Beobachtungen, denen die Verbesserung und Erweiterung der Theorie folgt. Daraus wiederum folgt eine Verfeinerung der Beobachtungsmethodik und so fort; mathematisch ausgedrückt: eine Art von Iterationsprozeß, der zeitweilig langsam, dann wieder schnell konvergiert, auch schon zu Teilzielen führt, aber nie zu einem Ende kommt. Heutzutage befinden wir uns in einer Phase von überraschend schneller Entwicklung, doch ist schon lange ein hohes Maß von fundamentalen Begriffen, z. B. über Gezeiten, Strömungen, Wellen, vorhanden. Auch hat man schon länger ein beträchtliches Arsenal von mathematischen Analysenmethoden. Aber die Beobachtungstechnik war bis vor kurzem wegen der Komplexität und der Veränderlichkeit der Vorgänge nur sehr primitiv und im ganzen unzulänglich. Gerade die Veränderlichkeit erfordert aber langfristige und genaue Beobachtungen, deren Verarbeitung erst jetzt mit Hilfe der modernen automatischen Recheneinrichtungen, der Computer, gut möglich ist. In der letzten Zeit hat es eine sprunghafte Entwicklung in der Beobachtungsmethodik gegeben. Da gibt es z. B. Wellenmeßgeräte und Leitstoffe (Tracer) für Sandwanderungsmessungen u. a., doch mangelt es noch an vielem, z. B. an Möglichkeiten der Messung des Transports von Sand und Schwebstoffen in der Brandung. So bestehen noch immer große Lücken, mit deren Auffüllung Kollegen in der ganzen Welt fieberhaft beschäftigt sind. Auf der einen Seite wachsen die Aufgaben mit den Forderungen der Schifffahrt nach tieferen Fahrinnen und damit deren Einfluß auf die Stabilität der Küste, Forderungen der Massenerholung und der Industrie, der Entdeckung und der Ausnutzung des Meeresbodens. Auf der anderen Seite wächst das Arsenal von wissenschaftlichen und technischen Kenntnissen, das aber noch nicht ausreicht, um mit genügender Sicherheit alle Fragen zu beantworten. Deshalb muß die Kenntnis durch intelligente Schätzungen, gestützt auf Erfahrung und Intuition und durch das wertvolle Fingerspitzengefühl, ergänzt werden.

Auf dieser Grundlage arbeitet die Küstenforschung. Es geht darum, sinnvolle und gut gerichtete Programme aufzustellen, wobei man zwischen zwei Hauptgruppen unterscheiden kann, deren Ansatz und Methodik unterschiedlich ist. Diese beiden Hauptgruppen sind einmal die Grundlagenforschung auf längere Sicht und zum anderen die unmittelbar gerichteten Untersuchungen für begrenzte Aufgaben der Praxis. Die unmittelbar gerichteten Untersuchungen will ich in der Folge außer Betracht lassen, was nicht besagt, daß sie nicht ganz wichtig

sind und daß nicht vieles darüber zu sagen wäre. Allerdings in dem Maße, wie die Lücken in der Grundlagenforschung gefüllt werden, wird das Bedürfnis nach diesen Ad-hoc-Untersuchungen geringer.

Wenden wir uns also der „Hintergrundarbeit“ zu und fassen wir insbesondere die Nordsee ins Auge, so sollten hier die Programme darauf abzielen, zunächst die ganze Wasserbewegung in ihrer Abhängigkeit von der astronomischen Tide und den atmosphärischen Einflüssen kennenzulernen. Das gilt sowohl für die vertikalen Bewegungen des Meeresspiegels als auch für die komplexe Struktur der Strömungen. Es geht dabei nicht nur um Mittelwerte, oft sind ja eben die Abweichungen vom normalen Bild am interessantesten. Dazu gilt es, die Struktur und die Intensität des turbulenten Austausches einschließlich des Austausches mit den Ozeanen, die Totalzirkulation und weiter die Wellenbewegung im ganzen Meeresgebiet unter dem Einfluß wechselnder Wetterlagen zu erfassen. Das ist nicht nur für feste und schwimmende Bauten im freien Meer, sondern auch deshalb notwendig, weil für ein richtiges Verständnis des Wellenangriffs an der Küste die Kenntnis der Entstehung der Wellen im offenen Meer und ihrer Umwandlung auf dem Wege zur Küste unentbehrlich ist.

Außer nach den Ergebnissen der Untersuchungen über die Wasserbewegung soll die Forschung sich auf die Zusammensetzung des Bodens und der Küstensedimente und deren Verhalten unter dem Einfluß von Strömungen und Wellen richten.

3. Stand der Küstenforschung

Von den Gezeiten entlang der Küste wissen wir ziemlich viel. Heute sind in den meisten Teilen der Welt längere oder kürzere Beobachtungsreihen vorhanden, nirgends besser als rings um die Nordsee. Die Gesetzmäßigkeiten darin sind erkannt, so daß die Analyse bearbeitet werden kann, und die Vorhersage hat einen hohen Grad von Zuverlässigkeit erreicht. Zwar werden noch immer neue und verbesserte Methoden ausprobiert, aber diese führen nicht zu grundsätzlichen Änderungen. Sie dienen sozusagen dem „Aufputzen“.

Die Eigenschaften der Gezeiten in der freien See dagegen sind im quantitativen Sinne noch weitgehend unbekannt, sogar in dem kleinen Waschkübel der Nordsee. Das Verhalten der Gezeiten in Flußmündungen und Meeresarmen kennen wir wieder ganz gut, sogar so gut, daß eine zuverlässige Vorhersage über die Wirkung von wasserbaulichen Eingriffen einwandfrei möglich ist. Mit der Kenntnis der Sturmfluten, die insbesondere im kleinen flachen Becken der südlichen Nordsee so verheerend wirken können, ist es wieder weniger gut bestellt. Wir möchten hier vor allem zwei Aspekte genauer kennenlernen, nämlich die Gesetzmäßigkeiten der Frequenzverteilung als Grundlage für Deichentwürfe und eine rechtzeitige genaue Vorhersage über das Entstehen und die Fortpflanzung der Fluten unter dem Einfluß des wandernden Windfeldes. Zum ersten Aspekt der Frequenzverteilung — wobei man richtigerweise zu Frequenzen von 10^{-5} und 10^{-6} pro Jahr gehen sollte — fehlen uns einfach genügend lange Beobachtungsreihen (die längste beträgt kaum 100 Jahre). Dazu können wir nichts anderes tun, als Geduld haben. Für die Vorhersage sind mit Hilfe der neuen Rechenanlagen die Methoden schon vorhanden. Hier aber mangelt es an genügend Angaben über die meteorologische Lage. So ist insbesondere das Beobachtungsnetz auf See unzulänglich. Für beide Aspekte ist also nicht die Theorie, sondern die Beobachtungssituation der Engpaß. Der Ablauf der Zeit einerseits und die Meteorologen andererseits müssen hier Auskunft bringen.

Von der Zirkulation besitzen wir nur erst globale Angaben. Insbesondere fehlt eine richtige Kenntnis der Schwankungen fast vollkommen. Sehr viele zielgerichtete Beobachtungen müssen hier noch gemacht werden.

Hier und an anderen Stellen geraten wir in den Arbeitskreis der Ozeanologen. Ihre Mitarbeit ist unbedingt notwendig. Das gilt auch für die Probleme des turbulenten Austausches, sobald wir die eigentliche Küstennähe verlassen. Hier ist die Zusammenarbeit auch international schon fest gegründet. Auch in diesem Sektor sind die mathematischen Modelle schon vorhanden, aber das Beobachtungsmaterial ist noch ganz lückenhaft. Meßmethoden und -geräte haben wir. Für die sehr umfangreiche Auswertung brauchen wir aber wiederum Rechenanlagen.

Jetzt kommen wir zu den Wellen. Sie werden üblicherweise eingeteilt in die dünnungs- und in die direkt winderzeugten Wellen. Dieser Unterschied ist gewiß physikalisch sinnvoll, doch hat sich schon längst die Einsicht durchgesetzt, daß man damit noch nicht viel weiter kommt, weil beide Wellenarten z. B. nach Periode und Höhe keine einfach zu definierenden Erscheinungen sind, sondern im Gegensatz eine verwickelte Mischung von verschiedenen elementaren Schwingungen sind, die man mittels eines Energiespektrums einerseits und einer Frequenzverteilung andererseits charakterisieren muß. Vom Standpunkt des Mathematikers aus ist das eine befriedigende Sache. Die Mathematiker sind auf diesem Gebiet sehr tätig. Ob man aber auch die physikalische Struktur der Wellenbewegung damit ergründen kann, ist wieder eine andere Frage. Auch, was der Ingenieur damit anzufangen hat, ist noch nicht in jeder Hinsicht klar. Jedoch ist es schon ein ganz wichtiger Fortschritt, daß man die Wellenbewegung beschreiben und daraus Folgerungen ziehen kann. Ein wichtiger Schritt für die praktische Anwendung ist schon gemacht, seitdem es mit Hilfe der programmierten Wellenerzeugung im Labor möglich ist, Untersuchungen mit einer naturähnlichen Wellenbewegung durchzuführen. Es sind auch Methoden entwickelt, mittels derer bei einem gegebenen Windfeld die zu erwartende Wellenbewegung berechnet werden kann. Auch der weitere Verlauf bei Annäherung an die Küste mit ihren Platen und Rinnen kann rechnerisch ermittelt werden (Refraktion und Diffraktion).

Zwar sind das noch halbempirische Methoden, aber sie haben ein gesundes physikalisches Fundament und der Ingenieur kann damit arbeiten, wenn auch mit großem Rechenaufwand. Auch hier bringt die Rechenanlage die Rettung. Im großen und ganzen ist in diesem Sektor Analyse und Vorhersage schon in gewissem Maße möglich. Allerdings sind noch viel mehr Messungen notwendig in mehrfachem Sinne, nämlich im geographischen Sinne, im Sinne langfristiger Dauermessungen und weiterer Einzelmessungen. Die Geräte dazu stehen zur Verfügung, insbesondere seit es gelungen ist, ein ziemlich zuverlässiges, schwimmendes Gerät, die Wellenmeßboje, zu konstruieren (Beschleunigungsprinzip). Weitere Arbeit zur Vervollkommnung dieses Geräts ist allerdings noch geboten, z. B. wäre ein Abschreckmittel gegen allzu unternehmungslustige Fischer sehr wertvoll. Was allerdings noch fehlt, ist eine bequeme Methode zur Messung der Fortpflanzungsrichtung der Wellen. Das ist ein arges Handikap. Ein schwacher Punkt in der ganzen Wellenuntersuchung ist ferner die lückenhafte Kenntnis der Windfelder über dem Meer. Wenn diese Lücken schon in der Nordsee vorhanden sind, kann man sich vorstellen, wie es damit in vielen anderen Teilen der Welt aussieht.

Als letzte Gruppe ist dann noch die Sandwanderung oder, allgemeiner ausgedrückt, der Feststofftransport zu betrachten. Hiermit ist es noch armselig bestellt. Die Fähigkeit zum richtigen Analysieren und Vorhersagen dieses Vorganges wäre vom Gesichtspunkt des Küstenschutzes und des Entwurfes und der Erhaltung von Schiffahrtsrinnen vielleicht die wichtigste von allen. Aber gerade in diesem Sektor gibt es mehr unbeantwortete als beantwortete Fragen. In seitlich begrenzten und in der Laufrichtung ziemlich uniformen Stromrinnen, wie Kanälen und nicht zu unregelmäßigen Flüssen mit homogenem Wasser, wo ein eindimensionales stationäres Problem vorliegt, gibt es halbempirische Methoden, mit denen der Ingenieur sich helfen kann. Auch im Hinblick auf die fundamentalen physikalischen Vorgänge wurden viele theoretische und experimentelle Studien durchgeführt. Dabei sind gewisse Fortschritte erzielt worden,

obwohl die Probleme noch nicht vollständig geklärt sind. In den Ästuarien und im Küstenvorfeld aber liegt die Sache viel schwieriger.

Das ist zurückzuführen auf die Komplexität der Vorgänge, die in einem System von Rinnen und Platen zwei- oder sogar dreidimensional sind, wenn eine Schichtung des Wassers auftritt. Dazu finden die Vorgänge im Rahmen einer Wasserbewegung statt, die ständigen Schwankungen mit verschiedenen Perioden unterworfen ist. Daher ist eine theoretische Durchdringung bis jetzt nur sehr teilweise gelungen. Hinzu kommt, und das ist vielleicht das Schlimmste, daß die Beobachtung außerordentlich schwierig ist, gerade da und dann, wenn wir so gern messen möchten. So ist das Messen in der Brandung und während der Sturmfluten bisher noch geradezu unmöglich. Die Sand- und Schwebstoff-Fanggeräte, die in den Flüssen gute Dienste leisten können, versagen hier zum größten Teil. Neben diesen Geräten verfügen wir zwar über die Meßmethoden mit Leitstoffen, sowohl mit radioaktiven Stoffen als auch mit Luminophoren. Ohne Zweifel kann man damit im qualitativen Sinne sehr wertvolle Hinweise bekommen. An vielen Stellen in der Welt ist man eifrig daran tätig, mit diesen Methoden auch eine quantitative Deutung der Ergebnisse zu erreichen. Wenn das auf zuverlässige Weise möglich wird, ist sicher ein großer Schritt gemacht. Bis dahin sind wir hauptsächlich noch von volumetrischen Messungen, d. h. vom Vergleichen von Lotungen in kürzeren oder längeren Zeiträumen abhängig. Im großen und ganzen jedoch befinden wir uns in der Kenntnis des Feststofftransportes theoretisch und auch beobachtungstechnisch noch im Stande der Armut.

4. Entwicklung der Meßmethodik

Man kann nicht den Stand der Küstenforschung behandeln, ohne sich mit der Meßmethodik zu beschäftigen. Die Aufgaben sind deutlich: die Meßgeräte sollen die Beobachtungsergebnisse liefern für die verschiedenen schon erwähnten Studien. Mit dem Stand der Meßtechnik aber liegt es schwieriger, weil eine so schnelle Entwicklung im Gange ist, daß eine Beschreibung des augenblicklichen Zustandes nur einen ganz beschränkten Wert hat. Sicher ist, daß die Geräte der Pioniere wie LÜDERS und VAN VEEN — ich nenne nur diese zwei — mit großem Scharfsinn ausgedacht und oft selber gebaut, schon längst überholt sind. Jetzt geht das alles elektrisch und elektronisch, und die Meßtechnik ist die Domäne von Spezialisten geworden. Schon seit einiger Zeit kann ein nicht selbstschreibendes Gerät überhaupt nicht mehr ernst genommen werden und ein selbstschreibendes kaum noch, wenn es daneben keine Fernübertragung hat. Aber auch das genügt jetzt nicht mehr. Wegen der Notwendigkeit, die Ergebnisse rechenautomatisch zu verarbeiten, sollen die Geräte ihre Ergebnisse unmittelbar in digitalisierter Form anbieten. Die ganze Meßmethodik ist damit in einen Zustand der Umwandlung bis auf den Grund geraten. Ganz ohne Zweifel haben wir es hierbei mit einer wunderbaren Entwicklung zu tun, die für die Forschung großartige Perspektiven bietet. Diese Entwicklung stellt offenbar die einzige Möglichkeit dar, die ungeheure Masse von Daten, die wir zur Klärung der vielen ungelösten oder nur teilweise gelösten Probleme brauchen, irgendwie vernünftig zu verarbeiten. Vielleicht ist es nur ein Zeichen des nahenden Alters, wenn ich dennoch eine gewisse Furcht habe, daß dadurch der die Pioniere auszeichnende direkte Kontakt mit der Materie und ihre gefühlsmäßige Vorstellung über das Verhalten von Wasser und Sand abgeschwächt werden könnte. Und wenn das schon so wäre, man kann in der Forschung wohl zurückschauen, aber niemals zurückschreiten. Gehen wir also vorwärts. Hoffen wir auf noch rascheren Fortschritt, so daß bald die Zeit da sein wird, in der die Fragen beantwortet werden können, mit denen der Küsteningenieur konfrontiert wird. Nur bitte nicht alle Fragen auf einmal!

Das Programm des Küstenausschusses zur Erforschung der Naturvorgänge im deutschen Küstenvorfeld*

Von J. M. Lorenzen

Zusammenfassung

Die Küstenforschung als besonderes Teilgebiet der Meeresforschung hat zum Ziel, die Naturvorgänge mit Hilfe einer quantitativen Vermehrung der Naturmessungen empirisch zu erfassen. An Naturmessungen sind besonders wichtig die Messungen der Wasserstände, des Seegangs und der Meeresströmungen in enger Verbindung mit den durch die Naturkräfte verursachten Veränderungen des Meeresbodens in Küstennähe. Die Naturmessungen sollen Hand in Hand mit einer qualitativen Verbesserung der theoretischen Grundlagen gehen.

Summary

The coastal research as a special branch of marine research has the aim empirically to catch hold of the natural processes with the aid of a quantitative increase of measurements. Of all measurements of nature there are some in particular important: the measurings of the water levels, of the swell and of the ocean current in a tight conjunction with the modifications of the bottom of the sea near the coast, wich are caused by these natural forces. The measurement of nature shall go hand in hand with a qualitative improvement of the theoretical basis.

Inhalt

1. Vorbemerkungen	31
2. Die Wasserstands- und Seegangsmessungen	33
3. Das Strömungsmessprogramm	34
4. Veränderungen der Oberfläche und des Untergrundes	36
5. Die Aufbereitung der Meßwerte	37
6. Die Kosten der Naturmessungen	37
7. Die Naturmessungen und ihre wissenschaftliche Auswertung	38

1. Vorbemerkungen

Das Leitthema unserer Tagung hat der Herr Bundesminister für wissenschaftliche Forschung in den Rahmen seines umfassenden Programms auf dem Gebiet der Meeresforschung gestellt, in der die Küstenforschung als eine Teilaufgabe besonderer Art hervorgehoben wird. Wir wissen und erfahren täglich, wie sehr wir in unseren Küstenräumen auf die Erkenntnisse der Forschung in der freien See angewiesen sind. Aber wir müssen in dem Raum, in dem sich der Ingenieur einer wachsenden Aufgabendichte gegenübergestellt sieht und wo es, wie der Herr Bundesforschungsminister dargelegt hat, Milliardenwerte zu schützen, zu erhalten und neu zu investieren gilt, weit mehr Arbeit aufwenden, um eine nicht nur gleiche, sondern noch bessere Einsicht in die Naturvorgänge zu gewinnen, als es in der freien See erforderlich ist. Denn im engeren Küstenraum schlägt jede Fehlbeurteilung der Natur unmittelbar auf jedes einzelne Werk

* Vortrag auf der 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. Mai 1969 in Kiel.

des Menschen zurück. Bereits der ungestörte Ablauf der Naturvorgänge erschließt sich in dem Bereich, wo der freie Meeresboden zum Wattenmeer und zur Küste ansteigt, nur schwer der menschlichen Erkenntnis und Deutung; dies um so mehr, als sich hier die Formen des Meeresbodens durch die Naturkräfte ständig ändern und die Formänderungen wiederum auf Art, Stärke und Richtung der Naturkräfte zurückwirken. Die Tatsache, daß die in der Natur vorhandenen vielfältigen Überlagerungen komplizierter hydrodynamischer Vorgänge und die unmittelbaren Wechselbeziehungen zur Morphologie eine theoretische Durchdringung bisher nicht gestatten, ist die eigentliche Ursache dafür, daß unser Küstenvorfeld bis heute unbekanntes Land blieb. Greift nun, wie das heute geschieht und künftig noch mehr der Fall sein wird, der Mensch unmittelbar in das Naturgeschehen ein, so wird, wie die voraufgegangenen Referate dargelegt haben, das äußerst komplexe Wechselspiel noch komplizierter. Die Erforschung der Vorgänge im Küstenvorfeld stellt also der Meeresforschung, insbesondere der ingenieurwissenschaftlichen Forschung, zusätzlich schwierige Aufgaben. Diese Erkenntnis ist nicht neu. Es gibt viele Ansätze und auch Teilerfolge in der Küstenforschung, von denen eine kleine, in der Vorhalle ausgestellte Auswahl der Arbeitsgebiete Zeugnis ablegt. Daß man erst in unseren Tagen den Zwang zu einem stärkeren Eindringen in die Geschehnisse der Natur des *ganzen* Küstenmeeres spürt und zu handeln beginnt, hat im wesentlichen drei Gründe:

1. Von der Aufgabe her:

die schon genannten, stärker als früher ins Küstenvorfeld ausgreifenden technischen Planungen.

2. Von der Lösung her:

die gerätemäßig verbesserten Meßmethoden, die Möglichkeit, die gewonnenen Meßdaten schneller, einfacher und umfassender auszuwerten sowie neu entwickelte wissenschaftliche Methoden.

3. Von der Systematik her:

die Erkenntnis aller an der Klärung der Naturvorgänge interessierten und für die Küstenarbeit verantwortlichen Stellen, daß die nach föderalistischen Gesichtspunkten aufgesplitterten, örtlich und zeitlich allzu begrenzten Teiluntersuchungen unzureichend sind und nur eine das ganze Küstenvorfeld umfassende Untersuchung zum Ziel führt.

Die einer großräumigen Untersuchung gestellten Aufgaben hat der Küstenausschuß in einer Denkschrift im Dezember 1968 dargelegt. In dieser Denkschrift ist die Abhängigkeit aller Seebauten von den Naturvorgängen deutlich gemacht. Die Naturkräfte werden im einzelnen geschildert und ihre wesentlichen Wirkungen aufgezeigt. Danach werden Vorschläge für die Erfassung und Deutung der Vorgänge und für die Durchführung von Untersuchungen entwickelt. Die Vorstellungen des Küstenausschusses in seiner Denkschrift zielen auf ein ganz konkretes Programm hin. Ein Kreis erfahrener und mit den Untersuchungen an der Küste bestens vertrauter Mitarbeiter des Küstenausschusses hat sich unter Federführung der Herren Dr. GÖHREN, Dipl.-Ing. LUCK und Reg.-Baudirektor ROHDE daran gemacht, die für praktische Anwendung und wissenschaftliche Auswertung gleich wichtigen Naturmessungen zu planen und nach Art, Umfang, Zeitdauer und Kosten darzulegen. Aus den Ergebnissen, die wir in Kürze als zweiten Teil der Denkschrift des Küstenausschusses vorlegen werden, kann ich nur einiges Wichtige vortragen.

Der durch Naturmessungen aufzuschließende Bereich umfaßt eine Fläche von rund 12 000 km², von denen etwa 40 % — das eigentliche Wattenmeer — bei Niedrigwasser trockenfallen. Dieser Bereich wird dadurch gekennzeichnet, daß sich in ihm die Naturvorgänge und die technische Planung unmittelbar begegnen, sich ergänzen, stören oder ausschließen, und daß hier von der Natur her der Meeresboden durch Strömung, Seegang und Brandung ständig und wesentlich stärker als in der freien See umgeformt wird. Als die seeseitige Grenze dieses

Meßgebietes ist etwa die 15- bis 20-m-Tiefenlinie anzusehen. Diese Grenze liegt natürlich nicht unbedingt fest; sie wird dadurch bestimmt, daß seeseitig keine nennenswerte gegenseitige Beeinflussung existiert. Denn seeseitig davon sind die Naturvorgänge nämlich schon länger Gegenstand der ozeanographischen Grundlagenforschung, wie Herr Professor DIETRICH an dem Beispiel des Schwerpunktes „Sandbewegung“ dargelegt hat. Diese ozeanographischen Untersuchungen lassen natürlich das eigentliche Küstenvorfeld nicht außer Betracht. Ein Teil der ozeanographischen Untersuchungen wird für Sturmflutvorhersage, für die Schifffahrt und die Reinhaltung des Meeres durchgeführt und dient unmittelbar auch der Praxis. Die Ergebnisse der ozeanographischen Forschung sind daher für viele Aufgaben der zweckorientierten Küstenforschung von erheblicher Bedeutung. Eine ständige enge Verbindung, ja sogar eine enge Zusammenarbeit zwischen der Ozeanographie und der Küstenforschung ist daher unbedingt erforderlich.

Wie die Denkschrift ausführt, bewirken die Naturkräfte

1. das periodische und aperiodische Steigen und Fallen der Wasserstände,
2. durch Gezeiten, Seegang und Brandung Strömungen,
3. Erosion, Transport von Schwebestoffen sowie Sedimentation und damit die Veränderung der Form und Struktur des Meeresbodens.

Diese Vorgänge gilt es für alle praktischen und wissenschaftlichen Zwecke ausreichend genau zu erfassen. Sie lösen die nachfolgend näher beschriebenen Aufgaben aus:

2. Die Wasserstands- und Seegangsmessungen

Beeinflußt durch Gezeiten und Wind, schwanken die Wasserstände an der Küste der Nordsee täglich bis zu 3 m, im Maximum bis zu 8 m, in der gezeitenfreien Ostsee zwischen wenigen dm und nahezu 6 m. Die örtlich und zeitlich sehr verschiedenen Wasserstandsschwankungen sind der Ausdruck für die Verlagerung von Wassermassen im Strömungsvorgang. Diese ist besonders ausgeprägt und zum Teil ausgerichtet in Flußmündungen und Wattströmen. Die Kenntnis der Wasserstände ist die Grundlage für Sturmflutvorhersagen und alle Planungen im Küstenvorfeld, für Modellversuche und Tiderechnungen, für Erkenntnisse über die Verformung der Tidewelle beim Auflaufen auf die Küste und für die Beurteilung des Gesamtstromregimes. Schließlich ist die genaue Kenntnis der Wasserstände Voraussetzung für die Beschickung der Lotungen in der Küstenvermessung. Die Beobachtung der Wasserstände geschieht heute leider nur in unmittelbarer Küstennähe, während sie am Übergang von der freien See zum Küstenvorfeld fast ganz fehlt.

Das Deutsche Hydrographische Institut plant ein Pegelnetz im Seegebiet der Deutschen Bucht und hat z. T. schon mit dem Ausbau begonnen. Der seeseitige Hang des Küstenvorfeldes bleibt dabei unberücksichtigt. Notwendig sind mit Rücksicht auf die morphologische Gliederung des Küstenvorfeldes 11 Stationen für die Messung von Wasserständen. (Abb. 1.)

Diese 11 Stationen setzen das verhältnismäßig dichte Pegelnetz vor der Küste, im Wattenmeer und vor den Inseln seewärts fort und stellen die Verbindung mit den vorhandenen und geplanten ozeanographischen Meßstationen her. Die 11 Pegelstationen werden als Rohrpegel gebaut und mit je 2 unabhängigen Registriergeräten ausgerüstet. An einigen der Pegel werden Salzgehalts- und Temperaturmeßgeräte sowie Windschreiber eingebaut. Die Messung der Wasserstände an den 11 Stationen ist eine Daueraufgabe, weil es das Ziel sein muß, lange Beobachtungsreihen zu gewinnen. Es ist aber denkbar, daß man nach etwa zehn Jahren die Zahl der Stationen reduziert, wenn die bis dahin gewonnenen Beobachtungen es gestatten, durch rechnerische Methoden genügend genaue Zwischenwerte einzuschalten und die wichtig-

sten Vermessungen und Wiederholungsmessungen des Küstenvorfeldes abgeschlossen sein werden.

Daß auf dem Gebiete der *Seegangsforschung* bisher von den Untersuchungsstellen des Bundes und der Küstenländer wenig getan worden ist, liegt vor allem daran, daß bis vor einigen Jahren meßtechnisch noch die Voraussetzungen fehlten, um mit einiger Aussicht auf Erfolg Naturmessungen durchzuführen. Die hier zur Zeit noch vorhandenen erheblichen Wissenslücken, die insbesondere bei Entwurfsarbeiten für Seebauten, wie Deiche, Ausbau der Wasserstraßen, Sperrwerke, Leuchttürme usw., immer wieder empfunden werden, gilt es zu schließen. Ein vor etwa fünf Jahren eingeleitetes Untersuchungsprogramm des Deutschen Hydrographischen Instituts, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wird, verspricht nunmehr Fortschritte auf diesem Gebiet.

Die in diesem Programm bisher gewonnenen Ergebnisse haben indessen erkennen lassen, daß:

- a. vorhandene Bedingungen zur Vorhersage der kennzeichnenden Wellengrößen wegen der unregelmäßig stark gegliederten morphologischen Bodenform unserer flachen Nordseeküste nicht in allgemeiner Form anwendbar sind und daß daher
- b. ein sehr dichtes Meßpunktnetz gefordert werden muß, wenn durch Naturmessungen vermehrte Kenntnisse über die örtlich zu erwartenden maßgebenden Seegangsverhältnisse gewonnen werden sollen, denn jeder Meßpunkt kann nur für ein eng begrenztes Gebiet repräsentative Ergebnisse liefern.

Unter Berücksichtigung der besonderen morphologischen Verhältnisse der deutschen Nordseeküste, der auch heute noch bestehenden meßtechnischen Schwierigkeiten und der Forderung nach einfachen, übersichtlichen, aber die räumlichen Veränderungen ausreichend erfassenden Informationen über Seegangswellen ist zunächst ins Auge gefaßt, an den 11 Stationen, an denen Wasserstände gemessen werden, zugleich auch Seegangsmessungen mit Hilfe integrierender Meßgeräte und an einigen Stellen auch die Messung von Einzelwellen mit Hilfe von Wellenpegeln vorzunehmen. Dazu müssen die Stationen gerätemäßig ausgerüstet werden. Darüber hinaus ist eine größere Zahl von etwa 20 bis 30 Meßgeräten einzusetzen und diese sind nacheinander in einzelnen Testgebieten aufzustellen, um die Seegangsverhältnisse dort zu erforschen. Jedes Testgebiet soll für die Zeit von drei Jahren mit einer größeren Zahl von Seegangsmessgeräten bestückt werden. In dieser Zeit können bei unterschiedlichen Wetterlagen genügend Beobachtungswerte gewonnen werden, um statistische Untersuchungen über die jeweiligen regionalen Seegangsgrößen ausführen zu können. Die Seegangsbeobachtungen sollen im Flachwasserbereich durch zeitlich eingeschaltete Luftbildaufnahmen ergänzt werden.

3. Das Strömungsmessprogramm

Seit Jahrzehnten werden im Bereich der deutschen Nordseeküste Strombeobachtungen durchgeführt, die als Grundlage hydrodynamischer oder morphologischer Untersuchungen dienen. Diese Beobachtungen waren im Küstenvorfeld stets an regionale Bauaufgaben oder Projekte gebunden, so daß das bisher gesammelte Material, trotz seines großen Umfangs, lückenhaft und zersplittert ist und für eine systematische, zusammenhängende Betrachtung des Geschehens an der ganzen Küste nicht ausreicht. Insbesondere fehlen Messungen in den Flachwassergebieten vor den Inselketten und dem Wattsockel sowie auf den Wasserscheiden der einzelnen Stromsysteme. Diese Lücken sind durch ein Meßprogramm zu schließen, dessen Ziel es insbesondere sein soll, die für den großräumigen Materialtransport vor der deutschen Nordseeküste wirksamen Strömungskräfte zu erfassen. Da auch die Strömungsvorgänge in

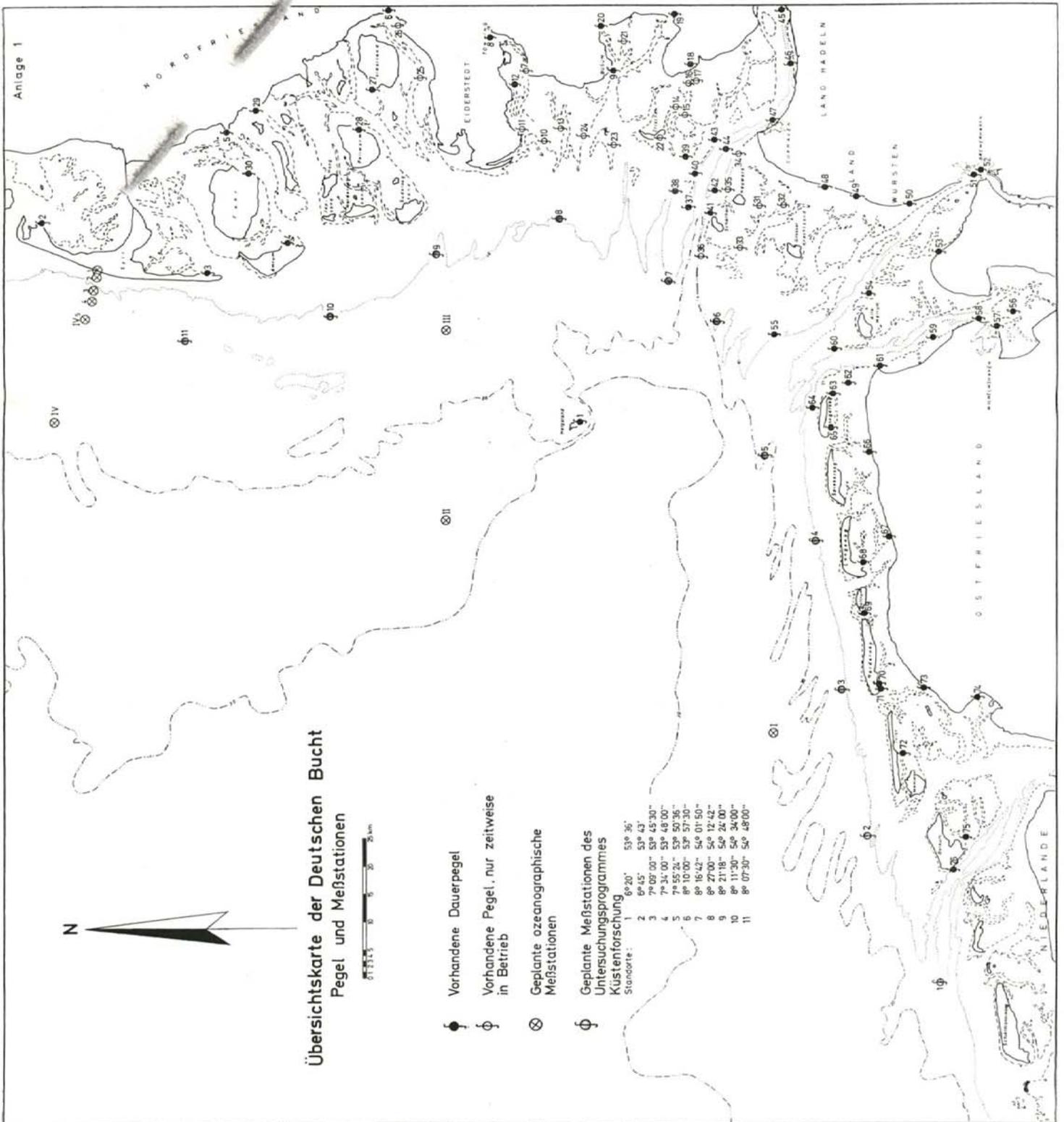


Abb. 1

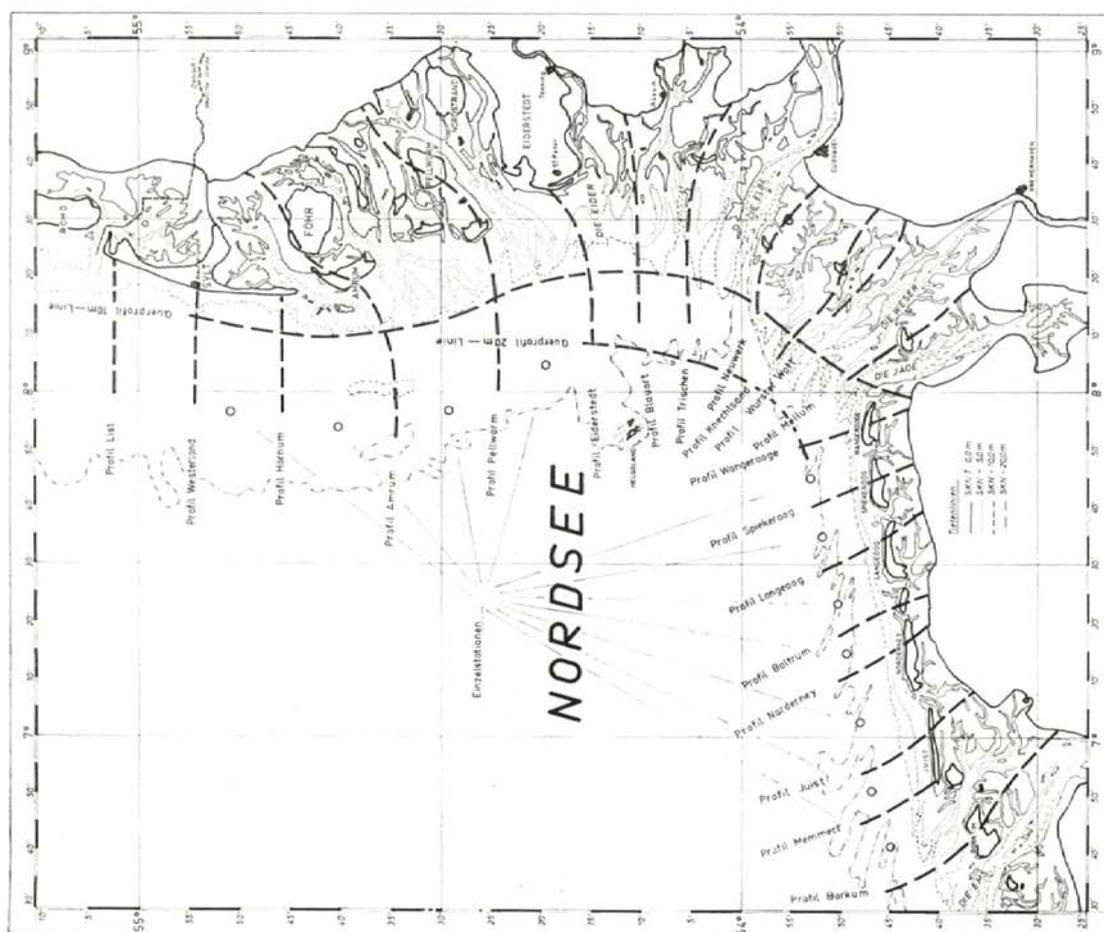


Abb. 2. Küstenforschungsprogramm, Vorschlag für Strömungsmeßprofile

Küstennähe komplizierter und vielgestaltiger sind als in der freien See, ist ein relativ dichtes Meßnetz erforderlich, in dem Dauerstrommessungen von mindestens je 15, in der Regel 21 Tagen Dauer durchzuführen sind. Es soll im wesentlichen aus Profilen bestehen, die etwa senkrecht zur Küste über die Wattscheiden bis zur 15- oder 20-m-Tiefenlinie verlaufen. (Abb. 2.) Aus der Morphologie ergeben sich von Borkum bis List/Sylt rd. 20 Meßprofile. Die Länge dieser Profile zusammen beträgt rd. 600 km.

Im Bereich der Tideflüsse Weser, Elbe und Eider sollen diese Profile durch ein küstenparalleles Profil in der 20-m-Linie mit geringerem Meßpunkteabstand ergänzt werden. Ein zweites küstenparalleles Profil verbindet die Meßprofile von der Jade bis Westerland/Sylt etwa auf der 10-m-Tiefenlinie, um den Einfluß der Wattströme und Tideflüsse zu erfassen.

Die beiden letztgenannten Profile haben eine Gesamtlänge von rd. 200 km. Bei einem Meßpunkteabstand in den Profilen von durchweg 1 km sind bei einer Gesamtlänge aller Profile von 800 km etwa 800 Meßpunkte erforderlich.

Die zwischen den Profilen liegenden Flußmündungs- oder Stromgebiete sollen in diesem Programm nicht erfaßt werden, da es nicht darum geht, die hier stattfindenden internen morphologischen Vorgänge und Materialumlagerungen zu untersuchen. In diesen Stromgebieten liegen im übrigen die Schwerpunkte der bisherigen regionalen Untersuchungen, deren Ergebnisse bei der späteren wissenschaftlichen Auswertung mit herangezogen werden. Die Stromgebiete sind durch die vom Festland bis in die See reichenden Profile und seewärts durch die küstenparallelen Profile in ihren Grenzen umschlossen.

Durch die genannte Meßanordnung wird man die Kräfte, die einen großräumigen küstenparallelen Materialtransport oder einen Küstenquertransport an der Grenze zwischen Meer und Watt bewirken, erfassen können.

Unter Zugrundelegung eines Netzes von 800 Meßstationen, einer auf die Dauer von acht Jahren verteilten Meßzeit und unter Beachtung der aus Erfahrung bekannten Ausfallzeiten werden einschließlich Reserven etwa 40 Dauerstrommeßgeräte benötigt.

Die Dauerstrommessungen sollen durch unmittelbare Messungen der Schwebstoffführung, der vertikalen Stromschichtung und der thermohalinen Schichtung auf ausgewählten Stationen des Dauerstromnetzes ergänzt werden. An einigen Punkten zwischen den Profilen der Dauerstrommeßreihen, an seewärtigen Zwischenpunkten sowie an etwa 20 Punkten im küstenparallelen Profil zwischen Wangerooge und Sylt ist jeweils eine durchgehende Messung von einem Tnw bis zum nächsten Tnw vorgesehen. Das ergibt eine Gesamtzahl von 80 Stationen.

Zur Bestimmung des Schwebstoffgehaltes kommen nur Methoden in Frage, die eine zuverlässige Konzentrationsmessung ermöglichen. Durchsichtigkeits- oder Dichtemessungen ergeben bei den überwiegend geringen Konzentrationen und unterschiedlichen Korngrößen des suspendierten Materials nicht die erforderliche Genauigkeit.

Wichtig sind die Einflüsse von Seegang, Brandung und Triftströmung auf den Materialtransport. Um hierüber Aufschluß zu erhalten, sind — möglichst synoptisch — Schwebstoffdauermessungen an einigen Stationen vorgesehen, wobei Meßgeräte verwendet werden sollen, die zur Zeit im Rahmen von Forschungsaufträgen der Deutschen Forschungsgemeinschaft entwickelt werden. Bei Bewahrung dieser Geräte werden durch eine Reihe von Stationen im Wattengürtel langfristige, synoptische Messungen der Strömungen, des Seegangs und des Schwebstoffgehalts im automatischen Meß- und Registrierverfahren durchzuführen sein. Jede Station besteht dann aus einem Dauerstrommeßgerät, einem integrierenden Seegangmeßgerät und einem Schwebstoffmeßgerät. Die Energie zum Betrieb der Geräte kann durch einen Windkraftgenerator gewonnen werden.

Schichtungsmessungen sollen überwiegend in den seewärtigen Profilpunkten bei Wassertiefen von 10 m und mehr ausgeführt werden. Im Flachwasser- und Wattbereich sind die

Schichtungserscheinungen so un stetig und komplex, daß die Messung und Registrierung ein Sonderprogramm erfordern würden.

4. Veränderungen der Oberfläche und des Untergrundes

Die als Erosion oder Sedimentation in Erscheinung tretenden Veränderungen der Bodenform im Küstenvorfeld haben teils positiven, teils negativen Einfluß auf die praktischen Maßnahmen im Seewasserbau. Positiv ist für die Erhaltung, also den Küstenschutz, im allgemeinen die Sedimentation oder Auflandung; negativ die Erosion oder der Abtrag. Umgekehrt ist für die Schifffahrt die Erosion überwiegend fördernd, die Sedimentation meist nachteilig.

Da vorläufig weder Ursache und Wirkung noch das Tempo dieser Umlagerungsvorgänge sich unmittelbar von den sie verursachenden Kräften ableiten lassen, muß man parallel mit der Messung der Kräfte versuchen, ihre Wirkung auf indirektem Wege, nämlich vom Ergebnis her, zu erfassen und zu deuten. Das soll auf zweierlei Weise geschehen:

a. durch wiederholte exakte Zustandaufnahme der Meeres- und Wattbodenoberfläche, und zwar durch Vermessung sowie durch morphologische und biologische Kartierung.

Mit Hilfe der in kürzeren oder längeren Zeiträumen wiederholten Vermessung des Küstenvorfeldes, und zwar des seeseitigen Abhangs des Wattsockels, der Wattströme und der trockenfallenden Watten, läßt sich eine Feststoffbilanz aufstellen, in der sich Gewinn und Verlust an Substanz am Wattsockel nachweisen lassen. Die Ergebnisse der Vermessung können mit Hilfe der morphologischen und biologischen Kartierung in bestimmten Gebieten kritisch geprüft und ergänzt werden. Sie gestatten ferner Rückschlüsse auf die Ursache der Entwicklung, nämlich die wirksamen Kräfte selbst.

b. durch Erforschung und Deutung der geschichtlichen Entwicklung, d. h. durch geologische, biologische vor- und frühgeschichtliche Untersuchungen.

Uns ist nicht nur an einem Augenblicksbild gelegen — auch wenn dieses das Geschehen während einiger Jahrzehnte aufhellen kann. Wir möchten wissen, wie die Entwicklung weitergeht. Ein wichtiges Hilfsmittel hierzu ist — da wir nicht in die Zukunft sehen können — ein Blick auf die erdgeschichtliche Vergangenheit.

Zu a. Die Vermessung

Die Vermessung eines Gebietes von etwa 8500 qkm erfordert, je nachdem ob es sich um unter oder über Tnw liegende Gebiete handelt, unterschiedliche Arbeitsverfahren. Die seeseitigen Unterwasserhänge und die nicht trockenfallenden Wattgebiete sind nur mit Hilfe von Lotungen zu vermessen. Nautisch interessante Gebiete des Küstennahbereichs und des seeseitigen Unterwasserhanges werden seit langem, räumlich und zeitlich allerdings unterschiedlich, durch Lotung vermessen. Diese Vermessungen sind für vergleichende morphologische Untersuchungen von unterschiedlichem Wert. Die Lotung im Unterwasserhang soll, ähnlich wie die Strommessungen, in Profilen erfolgen, jedoch in etwa 1 km Profilabstand. Das ergibt für das Küstenvorfeld eine Gesamtprofilänge von etwa 7000 km. Die auszulotenden Wattströme haben eine Gesamtfläche von 1600 km².

Sowohl im Seegebiet wie in den Wattströmen sind für die genaue Ortsbestimmung, für die

Lotung und für die genannte Beschickung auf den wahren Wasserstand modernste Geräte und Verfahren anzuwenden. Die gleichzeitige Erfassung möglichst großer Flächen, deren Einzelformen sich ständig verändern, erfordert einen gleichzeitig großen Personal-, Fahrzeug- und Geräteinsatz und bedarf einer besonders sorgfältigen Organisation.

Im gleichen Zuge mit der Vermessung der unter Tnw liegenden Gebiete hat diejenige des trockenfallenden Watts zu erfolgen. In den letzten Jahrzehnten sind große Teile des Watts, zeitlich allerdings sehr unterschiedlich und mit unterschiedlichen Genauigkeitsansprüchen, terrestrisch und durch Luftbilder erfaßt worden. Eine großräumige Feststoffbilanz kann auf der Grundlage dieses Kartenmaterials nicht vorgenommen werden, da einmal die Genauigkeit der bisherigen Aufnahmen unterschiedlich ist und zum anderen die wichtigste Voraussetzung, Synchronaufnahme, nicht durchweg gegeben ist. Das Verfahren der Luftbildvermessung wird neuerdings mit dem Ziel entwickelt, daß man analog zu der bisherigen Lagegenauigkeit eine hohe Höhengenaugkeit in den Luftbildplänen erhält. Mit einem solchen Verfahren wird sich die Vermessung vereinfachen lassen.

Um die gesamten morphologischen Gestaltungsvorgänge zu erfassen und damit einen Beitrag zum Feststoffhaushalt zu gewinnen, ist also gleichzeitig für den seeseitigen Hang des Küstenvorfeldes, die Wattstromgebiete und die trockenfallenden Watten ein zeitlich wie räumlich koordiniertes Vermessungsprogramm vorgesehen.

Zu b.: Erdgeschichtliche Untersuchungen

Über die erdgeschichtliche Entwicklung sind umfangreiche Teiluntersuchungen besonders in Küstennähe durchgeführt; vielfach sind sie aber noch nicht hinreichend ausgewertet worden. Hier lassen die von der DFG geförderten und geplanten Untersuchungen Fortschritte in der Erkenntnis erwarten. Neben der Auswertung schon vorhandener Aufschlüsse ist die Kenntnis des Aufbaues im äußeren Saum des Küstenvorfeldes durch neue Bohrungen noch erheblich zu erweitern.

5. Aufbereitung der Meßwerte

Bei den geschilderten Untersuchungen fällt eine solche Fülle von Meßdaten an, daß ihre Aufbereitung und Nutzbarmachung für Wissenschaft und Praxis nur mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung möglich ist. Alle anfallenden Meßdaten der Wasserstands-, Seegang- und Wellen- sowie der Strömungs- und Schwebstoff-Messungen sind auf Lochstreifen oder Band zu nehmen, so daß ihre Ergebnisse auf zentrale Datenträger übernommen werden können. Allein etwa 10 Millionen Daten werden aus den Strömungs- und Sinkstoffmessungen anfallen. Die Datenverarbeitung läßt sich geräte-, personal- und kostenmäßig ohne allzu großen Aufwand durchzuführen, während die eigentliche Meßwertaufbereitung, die vielfältige vektorielle und statistische Rechenoperationen erfordert, in einem leistungsfähigen Rechenzentrum erfolgen muß.

6. Kosten der Naturmessungen

Die geschilderten Naturmessungen sind z. T. wie die Wasserstandsbeobachtung Daueraufgaben, größtenteils dienen sie der Bestandsaufnahme, die zum erstenmal nach etwa fünf Jahren, später in größeren Zeitabständen und nur für Teilgebiete wiederholt werden muß. Insgesamt

umfassen die Bestandsaufnahme und ihre erste vollständige Wiederholung einen Zeitraum von zwölf Jahren. Für diesen Zeitraum läßt sich das Programm so gestalten, daß eine annähernd gleiche Auslastung der einzusetzenden Mittel und Kräfte möglich ist.

Um zu klaren Vorstellungen über den Umfang der Aufgabe und über den Kostenaufwand zu gelangen, ist zunächst die sicher mögliche sachliche und personelle Hilfe der vorhandenen Dienststellen außer Betracht zu lassen. Dann beträgt der Gesamtaufwand in zwölf Jahren etwa 36 Millionen DM, so daß im Durchschnitt 3 Millionen DM je Jahr aufzuwenden sind. Dieser Betrag mag auf den ersten Blick erstaunlich hoch erscheinen; er ist es aber nicht, wenn man sich die im Küstenvorfeld investierten und noch zu investierenden Mittel — für Küstenschutz und Schifffahrt etwa 14 Milliarden DM — und die jährlich zur Erhaltung und Verbesserung von Anlagen und Einrichtungen notwendigen Mittel vor Augen führt und dabei an das immer noch große Risiko denkt, unter dem alle Einzelprogramme, alles Planen und Bauen im Küstenvorfeld heute noch vor sich gehen. Bund und Küstenländer haben allein für ihre dem Küstenschutz und der Schifffahrt dienenden Routinemessungen und für ihre örtlichen Untersuchungen zur Vorbereitung großer Baumaßnahmen in den letzten fünf Jahren mehr als 20 Millionen DM ausgegeben, ohne daß dabei wesentliche Fortschritte in der Kenntnis von den Naturvorgängen im *größeren* Raum erzielt werden konnten.

7. Die Naturmessungen und ihre wissenschaftliche Auswertung

Die Ergebnisse der Naturmessungen dienen der Praxis teilweise unmittelbar. Gleichzeitig sind sie die Voraussetzung für die wissenschaftliche Bearbeitung und müssen daher auf die möglichen Auswertungsverfahren abgestellt sein. Somit sind nicht nur die Naturmessungen an sich, sondern diese zusammen mit ihrer wissenschaftlichen Auswertung als eine natürliche Einheit zu sehen und zu behandeln. Welcher Art die sich aus den Naturmessungen ergebenden und mit ihnen zusammenhängenden wissenschaftlichen Aufgaben sind und welche Forderungen die Wissenschaft an die Naturmessungen stellt, hat Herr Prof. Dr. HENSEN dargelegt. Er hat ferner unterstrichen, daß mit der Küstenforschung auf die Wissenschaft, insbesondere auf die angewandte Forschung, neue Aufgaben zukommen, die verfahrensmäßig und organisatorisch neue Überlegungen notwendig machen. Bei solchen Überlegungen darf kein Zweifel darüber bestehen, daß die Küstenforschung nicht eine auf zwölf Jahre begrenzte Aufgabe sein kann, sondern eine Daueraufgabe ist, die uns das ständig wechselnde säkulare Naturgeschehen aufzwingt. Auch die menschliche Planung im Küstenraum schreitet weiter und wird der Küstenforschung neue Aufgaben stellen. Wiederholung und Vertiefung der Naturmessungen werden auch deshalb notwendig sein, um die langfristige Entwicklungstendenz im Küstenvorfeld zu erkennen und in künftige Planungen einbeziehen zu können.

Die Küstenforschung als Daueraufgabe bedarf nach dem Gesagten einer äußeren Form, mit der auch die Frage nach der Trägerschaft zu stellen ist. Die Küstenforschung ist eine Aufgabe der öffentlichen Hand. An ihren Ergebnissen sind aus Gründen der Schifffahrt, des Küstenschutzes und der Wasserwirtschaft der Bund und die vier Küstenländer in erster Linie interessiert. Dabei soll zunächst dahingestellt bleiben, wie eine Interessenverteilung aussehen mag. Auf jeden Fall geht die Küstenforschung über den Rahmen der gegenwärtigen Tätigkeit der Behörden für Küstenschutz und Seeverkehr weit hinaus. Sie ist eine Gemeinschaftsarbeit von Technik und Wissenschaft im weitesten Sinne. Ihre Durchführung setzt folgerichtig eine gemeinschaftliche, zentrale Einrichtung voraus. Diese Einrichtung muß die Naturmessungen und deren wissenschaftliche Auswertung planen, koordinieren und durchführen.

Es fragt sich nun, ob und welche vorhandenen Einrichtungen in Bund und Küstenländern für die dargelegten Aufgaben geeignete Voraussetzungen bieten.

Organisatorisch ist die Koordinierung — oder besser die zentrale Steuerung der Naturmessungen — die schwierigste Aufgabe. In den einleitenden Ausführungen zur heutigen Tagung wurde gesagt, daß z. Z. an der Küste selbst eine Reihe von Untersuchungsstellen des Bundes und der Küstenländer mit Naturmessungen und Zweckforschungen befaßt sind. Dem überwiegenden Teil dieser Stellen obliegen die routinemäßig notwendigen Beobachtungen und Messungen für die Seewasserstraßen und den Küstenschutz oder die im Interesse neuer technischer Planungen erforderlichen örtlichen Voruntersuchungen. Dafür stehen ihnen ein guter Stamm an ortskundigen, erfahrenen Fachkräften, ferner geeignete Fahrzeuge und Meßgeräte zur Verfügung, die sich auch für das neue Programm einsetzen lassen.

Die Frage, ob und in welchem Umfang in diesen Dienststellen der Küstenverwaltungen freie Kapazitäten für die Aufgaben einer überregionalen Küstenforschung vorhanden sind, bedarf sorgfältiger Prüfung. Die bestehenden Untersuchungsstellen werden weitgehend aus einzelnen, sogenannten Bauvorarbeitskosten finanziert. Die Ausweitung ihrer Aufgaben auf überregionale Untersuchungen bedarf also organisatorisch und haushaltsmäßig eingehender Überlegungen.

Trotzdem erscheint es bei großer Bereitwilligkeit aller Beteiligten sinnvoll und möglich, die Verantwortung für die Naturmessungen den Untersuchungsstellen weitgehend zu übertragen.

Die Durchführung und Finanzierung des Gesamtprogramms der Naturmessungen als Gemeinschaftsaufgabe setzt eine Vereinbarung zwischen Bund und Ländern voraus. Die grundsätzliche Bereitschaft hierzu ist vorhanden. In eine solche Vereinbarung sind die zentrale Datenerfassung und möglichst auch die wissenschaftliche Auswertung einzubeziehen. Über Möglichkeiten und Voraussetzungen für eine zentrale wissenschaftliche Bearbeitung der Ergebnisse der Naturmessungen unter besonderer Berücksichtigung ingenieurwissenschaftlicher Forschung hat Herr Prof. Dr. HENSEN Ihnen seine Auffassung vorgetragen. Ohne einer Entscheidung der maßgebenden Stellen vorzugreifen, muß ich betonen, daß nur eine Lösung zum erstrebten Ziel führt, die die Einheit der gesamten Küstenforschung, wie sie das Programm des Küstenausschusses anstrebt, zur Voraussetzung hat. Von der bereitwilligen und tatkräftigen Förderung durch die verantwortlichen Ministerien wird es abhängen, ob es in absehbarer Zeit gelingt, das Wissen um die Naturvorgänge im Küstenvorfeld einen entscheidenden Schritt vorwärts zu bringen und der Praxis des Seebaues die tragenden Erkenntnisse für die großen Aufgaben der Zukunft zu vermitteln.

Eine erfolgreiche Arbeit in der deutschen Küstenforschung bedarf einer laufenden Beobachtung und Nutzbarmachung der in der internationalen Küstenforschung erarbeiteten Kenntnisse und Erfahrungen. Besonders wichtig erscheint uns ein ständiger Gedanken- und Erfahrungsaustausch mit dem Ausland und darüber hinaus eine Zusammenarbeit mit unseren Nachbarländern Dänemark und den Niederlanden, die, wie Herr Kollege SCHIJF ausführte, vor ganz ähnlichen Problemen stehen, wie sie an unserer Küste vorliegen.

Offene und aktuelle Fragen im Seebau und Küstenschutz und zweckmäßige Wege zu ihrer Lösung

Fachgespräch anlässlich der 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee
am 16. Mai 1969 in Kiel

Berichterstatter: Regierungsdirektor Dipl.-Ing. J. Sindern

Nach der Begrüßung der in- und ausländischen Gäste durch den Vorsitzenden des Küstenausschusses, Dr.-Ing. E. h. LORENZEN, übernimmt Professor Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. HENSEN die Leitung des Fachgesprächs. Folgende Themen wurden behandelt:

1. Sturmfluten und ihre Vorhersage
2. Sturmflutmeldestationen in der Nordsee
3. Seegangskenngrößen (Spektren) in morphologisch verwickelten Gebieten und die zugehörigen Meßgeräte
4. Messung des Feststofftransportes
5. Wellenangriffe auf Seebauwerke
6. Eisdrücke auf Seebauwerke
7. Tideästuarien und ihre Ausbaumöglichkeit
8. Bühnen oder Strandaufspülungen
9. Liste der Teilnehmer am Fachgespräch

1. Sturmfluten und ihre Vorhersage

Da langfristige Sturmflutvorhersagen nach Höhe und Eintrittszeit bisher praktisch gescheitert sind, erhebt sich die Frage, wieweit die geradlinige Extrapolation und damit eine statistische Behandlung gerechtfertigt ist oder welche anderen Wege der langfristigen Vorhersage gangbar erscheinen.

Die Extrapolation von bekannten Werten auf Extremwerte folgt der Funktion $\varphi(x) = e^{-x}$. Wählt man auf der x-Achse eine logarithmische Teilung, so wird $\varphi(x)$ eine Gerade. Alle Extrapolationen folgen dieser Geraden. Eine solche Extrapolation könnte unbegrenzt bis zu jeder beliebigen Sturmfluthöhe fortgesetzt werden. Auf die Frage von Herrn HENSEN, ob die geradlinige Extrapolation gerechtfertigt ist, erwidert Herr SCHIJF, daß nach seiner Kenntnis noch keine bessere Methode existiert, da sich die maximal mögliche Höhe physikalisch und meteorologisch nicht festlegen läßt¹⁾.

Die holländische Kommission, die nach der Sturmflut 1953 die Basis- und Bestickhöhen der Deiche festlegte, hat nach SCHIJF auf Grund einer Beurteilung derjenigen Faktoren, die den hohen Wasserstand bestimmen, eine Betrachtung der Überschreitungswahrscheinlichkeiten in Verbindung mit der Bedeutung des zu schützenden Gebietes angestellt, um zur Festlegung der Höhen zu kommen. Als Ausgangspunkt wurde Hoek van Holland gewählt, wo die Sturmflut 1953 die Höhe von NAP + 3,85 m erreicht hat. Die Kommission setzte in Rechnung, daß damals der größte Sturmeffekt nicht mit dem astronomischen Hochwasser zusammenfiel und verschiedene Umstände den Sturmeffekt hätten größer werden lassen können. Deshalb wurde als erster Ausgangspunkt für weitere Überlegungen ein Wasserstand von NAP + 5,00 m in Hoek van Holland angenommen (1,15 m höher als er 1953 eingetreten war). Trotz der hiermit verbundenen Unsicherheiten glaubte die Kommission nach verschiedenen Untersuchungen die Überschreitungswahrscheinlichkeit des Wasserstandes auf 1 % im Jahrhundert, d. h. $1/10\,000$ (10^{-4}) im Jahr

¹⁾ Bemerkung des Berichterstatters: Da für die Wahrscheinlichkeit aller bisher beobachteten Naturerscheinungen die Gaußsche Häufigkeitsverteilung, d. h. eine abklingende Verteilung nach $\varphi(x) = e^{-x}$ gilt, die Wahrscheinlichkeit sich also dem Nullwert asymptotisch nähert, ohne ihn zu erreichen, besitzt die mathematische Statistik für sehr extreme Werte keine Gültigkeit mehr und der Extrapolation muß ein wohldefinierter Endpunkt gesetzt werden.

bemessen zu können. Das bringt eine Sicherheit mit sich, die etwa 30mal so groß ist wie die bisher vorhandene.

2. Sturmflutmeldestationen in der Nordsee

Hat man für die Bemessung der Küstenschutzbauwerke schon einen so hohen Sicherheitsfaktor (10^{-4}) eingeführt, könnte die Frage auftauchen, ob es wirtschaftlich vertretbar ist, Sturmflutmeldestationen in der Nordsee anzulegen. Eine frühzeitige Vorwarnung hat allgemein den Vorteil, daß die Deichverteidigung rechtzeitig alarmiert werden kann. Die Alarmstationen stehen bei entsprechender Wetterlage stets vor der Ermessensentscheidung, ob Sturmflutalarm gegeben werden soll oder nicht. Durch Erfassung der meteorologischen Anteile in den Sturmfluten an den Meldestationen in der Nordsee selbst kann eine bessere Vorhersage gewährleistet werden, was für die Schaffung solcher Meldestationen sprechen würde. Aus diesem Grunde empfiehlt Herr HENSEN feste Wetterstationen im Seegebiet vor der Küste. Herr WALDEN berichtet von dem Wetterschiff nördlich der Doggerbank, das jedoch keine Wasserstände meldet. Es besteht nach seiner Auffassung Interesse, weitere hydrographisch-meteorologische Stationen in der Nordsee einzurichten. Herr HABICH berichtet über gute Erfolge des Wetterschiffes; durch ein größeres Netz von Wetterstationen könnten nach seiner Meinung die Sturmfluten besser verfolgt und ihre Typen besser unterschieden werden.

Herr SØRENSEN berichtet, daß das Sturmflutvorhersagesystem auch in Dänemark noch nicht hinreichend entwickelt ist.

Nach Mitteilung von Herrn WALDEN hat das Deutsche Hydrographische Institut eine Seegangmeßstation in der Nordsee eingerichtet und führt außerdem mit verschiedenen Instituten und Firmen westlich von Sylt das sog. Hasselmann-Programm durch, wobei das Seegangsspektrum in einem geradlinigen Profil bei abnehmender Tiefe gemessen wird. Das Projekt sieht vor, die Entwicklung des Seegangs bei ablandigem Wind (also zunehmender Windstrecke ohne Fremdwellen) und außerdem die Umwandlungserscheinungen bei auflandigem Wind (in Abhängigkeit von der Wassertiefe) zu untersuchen.

3. Seegangskenngrößen (Spektren) in morphologisch verwickelten Gebieten und die zugehörigen Meßgeräte

Bezüglich des Seegangs im Wattenmeer führt Herr WALDEN aus, daß:

vom Wind unmittelbar angeregte Wellen entstehen, der Seegang der offenen See an der Wattkante die über dem Watt befindliche Wassermasse zu einem ihrer Tiefe entsprechenden Seegang anregt und unter Überlagerung der beiden Wellenarten (vor allem in den Prielen und Strommündungen) langperiodische Wellen aus der offenen See einschwingen.

Diese – aus der Beobachtung herrührenden – qualitativen Aussagen sollen Gegenstand einer quantitativen Wellenanalyse sein. Nur durch Aufzeichnung aller Wellen kann man das Wellenmaximum bekommen und daraus das Verhältnis $\frac{H_{\max}}{H^{1/3}}$ analysieren. Herr SEIBOLD weist darauf hin, daß u. U. auch in der Seegrundstruktur ein Indiz für die Wellengrößen (Wellencharakteristiken) zu sehen sei, und regt diesbezügliche Untersuchungen an. Im Zusammenhang mit dieser Bemerkung weist Herr FÜHRBÖTER darauf hin, daß evtl. auch an Hand von Rippeln am Meeresgrund (Watten) auf Seeganggrößen geschlossen werden kann.

Der Hinweis von Herrn VOLLBRECHT, daß sich noch in 40 m Tiefe Sandfahnen bei extremen Seegangsverhältnissen bewegen, wird von Herrn DIETRICH u. a. dadurch erklärt, daß nicht allein die Wellen, sondern auch die Gezeitenströme ihren Anteil daran haben. Diese Erscheinung nimmt naturgemäß mit zunehmender Tiefe ab.

Herr DRONKERS berichtet von einer Beobachtung vor Europoort, die 10 m hohe Wellen bei 15 m Wassertiefe angibt.

Die Analyse von Seegangsspektren nach ihren Charakteristiken setzt Messungen voraus – wozu Herr HENSEN die Frage stellt: Wie messen wir und welche Meßgeräte brauchbarer Art kennen wir? Da hierüber, wie Herr SCHIJF ausführte, die Aufgabe entscheidet, sind nach seiner

Ansicht die Beobachtungen in „statistische Messungen und Strukturmessungen“ einzuteilen. Für die statistischen Messungen stehen verschiedene Geräte unterschiedlicher Systeme zur Verfügung. Diese Geräte zeichnen normalerweise nur die Höhen und die Periode, nicht aber die Richtung auf. Die meisten Geräte benötigen einen Pfahl und können daher nicht an jeder Stelle bei jeder Wassertiefe eingesetzt werden. Wenn auch noch die Richtung angegeben werden soll, müssen mindestens 3 Pfähle im Verband aufgestellt werden. Auch die wave-recorder auf den Wetter-schiffen messen das Seegangsspektrum ohne Richtung.

Wie Herr LAUCHT ausführt, interessiert den Küsteningenieur in erster Linie der unmittelbare Küstenbereich. Alle Geräte, auch die schwimmenden, die nach dem Beschleunigungsprinzip arbeiten, versagen in der Brandungszone. Aus diesem Grunde hat Strom- und Hafengebäude Hamburg Versuche angestellt, um mit Radar zu messen. Außerdem laufen Versuche mit dem Luftbild. Ferner wird darauf hingewiesen, daß auch Messungen vom Flugzeug mit Laserstrahl neuerdings möglich sind. Herr LAUCHT empfiehlt eine Kombination: Luftbild (Richtung) mit Meßgerät am Pfahl (Wellenspektrum).

4. Messung des Feststofftransportes

Wenn auch die Sohlenform als Indikator für die resultierend wirksamen Naturkräfte angesehen werden könnte, bleibt doch als wichtigste Aufgabe, den Feststofftransport an der Sohle quantitativ zu ermitteln. Herr SØRENSEN berichtet über Versuche mit radioaktiven Leitstoffen in Dänemark, die aber ohne nennenswerten Erfolg geblieben sind. Auch die in Deutschland durchgeführten Untersuchungen mit Isotopen und Luminophoren sind über lokale Erfolge nicht hinausgekommen. Herr GÖHREN empfiehlt, zunächst großräumig die Sandbewegung zu untersuchen. Schwierig ist das natürlich bei Sturmweatherlagen, und gerade diese bringen den entscheidenden Feststofftransport und die damit verbundenen Umformungen des Meeresgrundes. Für Sandwanderungsmessungen muß grundsätzlich gefordert werden, daß neben engmaschigen morphologischen Aufnahmen auch die Strömungen über der Sohle, die Wellen und der Feststoffgehalt im Wasser – möglichst synoptisch – gemessen werden.

Herr LAUCHT berichtet dann über die Entwicklung eines automatischen Schwebstoffmeßgerätes. Es handelt sich um ein automatisch und intermittierend arbeitendes Gerät zur volumetrischen Bestimmung der im Wasser suspendierten Feststoffe. In einstellbaren Zeitabständen werden jeweils 20 l Wasser in ein trichterförmiges Absetzgefäß gepumpt. Die nach ausreichender Absetzzeit in einem senkrechten Meßrohr gesammelten Sedimente werden fotografisch registriert. Das Absetzgefäß wird anschließend automatisch geöffnet, wobei die Sedimente in einen Sammelbehälter gelangen, so daß sie später noch labormäßig qualitativ untersucht werden können. Das Gerät soll über einen Zeitraum von 2 bis 3 Wochen ohne Wartung und Kontrolle arbeiten. Wichtigstes Anwendungsgebiet für das automatische Schwebstoffmeßgerät wird das Studium des Feststofftransportes im Flachwasserbereich bei Starkwind- und Sturmweatherlagen sein.

Um dem Grenzschicht- oder Reibungsschichtproblem und der damit verbundenen, von Ort zu Ort sich ändernden Sandwanderung näher zu kommen, hält Herr SØRENSEN eine Vielzahl von Profilen für erforderlich; mit punktförmigen Messungen und lokalen, engbegrenzten Bereichen wird man nicht auskommen.

5. Wellenangriffe auf Seebauwerke

Für die Untersuchung der Wellenkräfte auf Seebauwerke sind in Deutschland Naturmessungen nur vereinzelt durchgeführt worden. Während Herr HENSEN in den wenigen bisher durchgeführten Messungen keine Übereinstimmung der Wellenelemente mit dem Wellendruck sieht und damit das Problem bis heute als ungelöst betrachtet, glaubt Herr SØRENSEN zumindest eine Übereinstimmung zwischen Modellversuchen und Naturmessungen gefunden zu haben, wobei er einschränkt, daß es sich um eine statistische Übereinstimmung handelt. Herr VOGEL berichtet über die – zunächst tastenden – Versuche über den Wellendruck auf die Segmente des Sielbauwerkes der neuen Eiderabdämmung. Aus den Modellversuchen für Haringvliet (Delta Werk) hatten sich Drücke ergeben, die das 10fache der ursprünglichen Annahme ergaben.

Da diese Extremwerte wegen ihrer relativ geringen Wahrscheinlichkeit keine wirtschaftlich vertretbare Bemessungsgrundlage sein konnten, wurden unter Abwägung der vorliegenden Er-

fahrungen für die Eider 10 t/m^2 zugrunde gelegt. Dieser Wellendruck wurde wegen der dynamischen Wirkung mit einem Schwingbeiwert von 1,35 vervielfacht.

Anschließend erläuterte Herr CORDES das Wellenmeßprogramm am Eiderdamm. Die im Windwellenkanal in der Versuchsanstalt De Voorst in den Niederlanden ermittelten Wellendrucke auf Einzelteile (Segmente und Wehrträger) des Sielbauwerkes sollen durch Messungen am Bauwerk in Anlehnung an die für die Deichsicherheit gewählte Bauwerkssicherheit von 10^{-2} (Kritischer Lastfall aus Wellendruck 1mal in 100 Jahren) überprüft werden. Hierfür sind in vertikaler und horizontaler Richtung eine Reihe von Meßstellen vorgesehen. Um so frühzeitig wie möglich Unterlagen über den Wellendruck und seine Auswirkungen zu erhalten und die Druckmeßgeber auf ihre Eignung bei Dauereinsatz im Seegebiet zu testen, werden schon heute an einem Pfahljoch der Transportbrücke Wellendruckmessungen durchgeführt²⁾.

Herr FÜHRBÖTER berichtet über einen Wellenkanal in Leningrad, der Wellenhöhen von 2 m möglich macht. Man erzeugt dort Wellen von 1 cm bis 2 m und läßt sie auf ein Betondeckwerk aufschlagen. Bei einer Wellenhöhe über $1/2 \text{ m}$ im Modell soll kein Modellmaßstabeffekt festzustellen sein. Man hat weiter herausgefunden, daß das Froudsche Gesetz nicht mehr bei weniger als $1/2 \text{ m}$ Wellenhöhe gilt. Der höchste dort gemessene Wellendruck beträgt 100 t/m^2 (10 kg/cm^2).

Es gibt noch keine Versuche mit über 10 m hohen Wellen. Herr SINDERN weist darauf hin, daß Punkt- und Flächenbelastungen streng zu unterscheiden sind.

6. Eisdrücke auf Seebauwerke

Für eine wirtschaftlich und technisch befriedigende Planung und Bemessung von Seebauten ist es notwendig, neben den Wellenkräften auch über die Eisdrücke unterrichtet zu sein. Die Belastungsannahmen für Eisdruck schwanken zwischen 50 bis 150 t/m^2 . Herr HENSEN berichtet, daß zum Internationalen Schiffahrtskongreß kein Beitrag über Eisdruckmessungen eingegangen ist.

Herr CORDES schildert die Eisdruckmessungen und -beobachtungen (Eisbildung, Eisfestigkeit usw.) an der Transportbrücke zur Bauinsel der Eiderabdämmung. In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, und dem Franzius-Institut der Technischen Universität Hannover sind die ersten Messungen angelaufen. Um den Flächeneisdruck zu erfassen, ist eine Eisdruckmeßanlage ($\varnothing 1,20 \text{ m}$) an einem Dalben montiert, der gegen ein Brückenjoch abgestützt ist. Eine weitere Druckmeßvorrichtung besteht aus einem Druckschild mit 56 Druckgebern und einem elektronisch gesteuerten Empfangsgerät. Bisher wurden im stärksten Eisgang örtliche Spitzendrücke von $p = 20 \text{ kg/cm}^2$ an den Pfahljochen der Transportbrücke gemessen.

7. Tideästuarien und ihre Ausbaumöglichkeit

Zum Thema „Ausbau der Tideästuarien“ wurden vor allem die Baggerungen angesprochen. Nach Ansicht von Herrn HENSEN läßt sich eine tiefe Baggerrinne leichter erhalten als eine flache. Leitwerke – früher die Regel – erübrigen sich in den meisten Fällen (Jade, Europoort). Herr SCHIJF bestätigt, daß die Baggertechnik so weit entwickelt und die Leistung der Geräte so groß ist, daß das Baggenrechverfahren heute wirtschaftlich ist und bei Europoort mit großem Erfolg angewendet wird. Herr DRONKERS kann von Probegaggerungen bis 15 km in See berichten; durch Lotungen konnte festgestellt werden, daß die Versandung der Baggerrinne sehr langsam vor sich geht.

Herr LORENZEN warnt davor, die Erfahrung der Niederländer unbesehen auf deutsche Verhältnisse zu übertragen, da in den Niederlanden die großen Tiefen auf kürzeren Zufahrtswegen zu erreichen sind, als bei den breit vorgelagerten flachen Sänden vor der deutschen Küste.

²⁾ Bemerkung des Berichterstatters: Wenngleich diese Untersuchungen für die Bemessung der Bauteile nicht mehr berücksichtigt werden können, so geben sie doch ein Kriterium für die tatsächliche Bauwerkssicherheit. Wählte man in Schleswig-Holstein für die Deichsicherheit die Überflutungswahrscheinlichkeit 10^{-2} (einmal in 100 Jahren), so sollte das Bauwerk in bezug auf die Wellendruckbelastung auch die Sicherheit 10^{-2} besitzen, d. h. es sollte durch den einmal in 100 Jahren zu erwartenden kritischen Lastfall keine wesentlichen Spannungsüberschreitungen bzw. Formänderungen erleiden. Eine Auswertung der Wellendruckmessungen in der Natur in Verbindung mit einer Häufigkeitsanalyse wird über die tatsächliche Bauwerkssicherheit Auskunft geben.

Herr WEGNER stellt die unterschiedlichen Verhältnisse Ems, Weser, Elbe heraus; sie sind nicht miteinander zu vergleichen. Jeder Strom hat seine Eigenheiten. Die Masse der Baggerungen ist bei allen verschieden und auf keine bestimmte Formel zu bringen. Z. Z. herrscht die größte Tiefe in der Jade. Auch in bezug auf die Unterhaltungsbaggerungen ist die Jade im Augenblick am wirtschaftlichsten.

In diesem Zusammenhang wurde auch der Schlickanfall in den Häfen angesprochen, wozu Herr VOGEL über Versuche mit Luftschleieranlagen berichtet. Die Wasser- und Schiffahrtsdirektion Kiel läßt z. Z. in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau Berlin Modellversuche über die Verminderung der besonders sinkstoffreichen Dichteströmung in Brackwassergebieten durch Luftblasenschleier ausführen. In systematischen Versuchsreihen wird die physikalische Wirkungsweise von Luftblasenschleieranlagen untersucht. Die vorläufigen Ergebnisse haben gezeigt, daß nur die Luftmenge das entscheidende Kriterium ist. Die „kritische Luftmenge“ ist eine lineare Funktion des ursprünglichen Salzgehaltes, des spezifischen Gewichtes und der Tiefe des Wassers. Nach Mitteilung von Herrn VAN DER BURGH sollen Untersuchungen in den Schleusen Ijmuiden, Kornwerderzand und Terneuzen eine über 50%ige Verminderung des Salzgehaltes durch konzentriert wirkende Luftblasenschleier ergeben haben.

8. Bühnen oder Strandaufspülungen

In der Diskussion über die Möglichkeiten des Schutzes der Küsten und Strände, an denen Deckwerke und Bühnen verschiedenster Art nicht den gewünschten Erfolg gebracht haben, wurde als Mittel, die Erosionen zu vermindern, der Sand als Baustoff erörtert. Auf der Insel Norderney wurden, wie Herr RAGUTZKI berichtet, Versuche zur Strandaufspülung vor dem Deckwerk und den Bühnenfeldern bereits zweimal durchgeführt. Hier waren die Pfahlreihen mit Steinen undurchlässig gemacht worden. Diese Maßnahme hat bei erträglichem Aufwand erheblich kostspieligere Unterhaltungs- und Erneuerungsarbeiten an Deckwerk und Bühnen erspart.

In Dänemark versucht man an der Westküste Jütlands mit Hilfe von kleinen Deichen oder künstlichen Strandwällen aus grobem Material (nicht Bühnen) den Sand auf dem Strand festzuhalten. In den Niederlanden wurden Großversuche mit doppelten durchlässigen Pfahlreihen zum Festhalten des aufgespülten Sandes durchgeführt. Der Erfolg muß noch abgewartet werden. Die Frage nach der Nützlichkeit von Bühnen im Seebau bleibt weiterhin offen, da sie nur bei weitgehend küstenparalleler Strömung wirksam werden. Man wird also, ehe man sich zum Bau von Bühnen entscheidet, zu prüfen haben, welche überwiegende Richtung Wind- und Gezeitenströmungen an einem Uferabschnitt haben.

Am Schluß des zwanglosen, freimütig geführten Fachgesprächs dankt Dr. LORENZEN den Teilnehmern, besonders dem Gesprächsleiter, für die wertvollen und anregenden Beiträge zu den offenen Fragen und aktuellen Aufgaben, die Professor Dr. HENSEN zur Diskussion gestellt und an denen er selbst gezeigt hat, wie viele für den Seebau wichtige Grundlagen noch der Erforschung bedürfen. Hier bietet sich ein fruchtbares Tätigkeitsfeld für eine Zusammenarbeit der Ingenieure in Wissenschaft und Praxis über die Grenzen hinaus an.

9. Liste der Teilnehmer am Fachgespräch

anläßlich der 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. 5. 1969 in Kiel

1. Niederlande

DRONKERS, Dr.	Rijkswaterstaat Deltadienst	Den Haag
HULSBERGEN, Ir.	Waterloopkundig Laboratorium	de Voorst, Noordoostpolder
VAN MALDE, Ir.	Rijkswaterstaat Studiedienst	Vlissingen
REINALDA, Ir.	Waterloopkundig Laboratorium	de Voorst, Noordoostpolder
SCHIJJ, Hoofdingenieur- Directeur Ir.	Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging	Den Haag

2. Dänemark		
OTTERSTRÖM, Direktor	Vandbygnings-Direktorat	Kopenhagen
PETERSEN, Vizedirektor	Vandbygnings-Direktorat	Kopenhagen
SÖRENSEN, H. B., Bezirks- ingenieur	Vandbygningsvaesenet	Tondern
SÖRENSEN, T., Oberingenieur	Vandbygningsinstitutet	Kopenhagen
3. Bundesrepublik		
a) Universitäten und Institute		
BRESSAU, Dr., Dipl.-Geologe	Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein	Kiel
DIETRICH, Professor Dr., Direktor	Universität Kiel Institut f. Meereskunde	Kiel
FÜHRBÖTER, Dr.-Ing. habil.	Franzius-Institut f. Grund- und Wasserbau der Technischen Hochschule	Hannover
HABICH, Regierungsdirektor	Deutsches Hydrographisches Institut	Hamburg
HENSEN, Professor Dr.-Ing., Dr.-Ing E. h., Direktor	Franzius-Institut f. Grund- und Wasserbau der Technischen Hochschule	Hannover
RAGUTZKI, Dipl.-Ing.	Forschungsstelle Norderney für Insel- und Küstenschutz	Norderney
SEIBOLD, Professor Dr., Direktor	Universität Geologisch-Paläontologisches Institut und Museum	Kiel
VOLLBRECHT, Dr.	Deutsches Hydrographisches Institut	Hamburg
WALDEN, Professor Dr., Ltd. Regierungsdirektor	Deutsches Hydrographisches Institut	Hamburg
b) Verwaltungen		
BÜCKEN, Dipl.-Ing., Ober- baurat	Wasserwirtschaftsamt	Bremen
FAHSE, Dipl.-Ing.	Bundesanstalt für Wasserbau	Hamburg
GÖHREN, Dr.-Ing.	Behörde f. Wirtschaft u. Verkehr, Strom- und Hafenausbau, Hamburg, Forschungsstelle Neuwerk	Cuxhaven
KRAEMER, Ministerialrat	Bundesverkehrsministerium	Bonn
KRAMER, Baudirektor	Wasserwirtschaftsamt	Aurich
KÜBLER, Baudirektor	Baubehörde, Amt für Ingenieur- wesen I Hpt. Abt. Wasserwirtschaft	Hamburg
LAUCHT, Dr.-Ing., Erster Baudirektor	Behörde f. Wirtschaft u. Verkehr, Strom und Hafenausbau	Hamburg
LORENZEN, Dr.-Ing. E. h., Präsident a. D.	Küstenausschuß Nord- und Ostsee	Kiel
PETERSEN, Dr.-Ing., Regie- rungsbaudirektor	Ministerium für Ernährung, Land- wirtschaft u. Forsten, Amt f. Wasserwirtschaft	Kiel
PINZ, Regierungsdirektor	Ministerium für Ernährung, Land- wirtschaft u. Forsten	Hannover

RAMACHER, Dipl.-Ing., Ltd. Regierungsbaudirektor	Wasser- und Schifffahrtsdirektion	Kiel
ROHDE, Dipl.-Ing., Regie- rungsbaudirektor	Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste	Hamburg
SCHMITT, Ministerialrat	Bundesministerium f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten	Bonn
SINDERN, Dipl.-Ing., Regie- rungsdirektor	Wasser- und Schifffahrtsdirektion	Kiel
SNUIS, Regierungsbaudirektor	Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten, Amt f. Wasserwirtschaft	Kiel
SUHR, Dipl.-Ing., Ltd. Ministerialrat	Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten, Amt f. Wasserwirtschaft	Kiel
STADIE, Dr.-Ing., Präsident	Bundesanstalt für Wasserbau	Karlsruhe
TRAEGER, Baudirektor	Wasserwirtschaftsamt	Bremen
VOGEL, Dipl.-Ing., Präsident	Wasser- und Schifffahrtsdirektion	Kiel
VOLLMERS, Dr.-Ing.	Bundesanstalt für Wasserbau	Hamburg-Rissen
WALLNER, Dr.-Ing., Präsident	Bundesanstalt für Gewässerkunde	Koblenz
WEGNER, Ministerialdirigent	Bundesverkehrsministerium	Bonn
WILKENS, Dr., Regierungs- direktor	Bundesministerium für wissen- schaftliche Forschung	Bonn

Neue Siele und Schöpfwerke in Ostfriesland

Von Johann Kramer

Summary

New sluices and pumping stations have been built during the past twenty years in Ostfriesland. They are requested to improve the agricultural conditions which depend on sufficient drainage of the alluvial land along the coast of the North Sea. The basic hydraulic data about design of sluices and pumping stations are discussed and their construction described. In consequence of the reinforcement of the coastal protection with new dike lines the situation of the new plants with storage inside and channels through the shallows outside is fixed. Special problems of foundation and use of reinforced concrete are discussed. The function of the mechanical equipment, sluice gates with hydraulic drive, pumps with gear and electromotor, indexing mechanism, controlling apparatus, etc. is explained.

Inhalt

I. Einleitung	47
II. Erfordernis neuer Siele und Schöpfwerke	
1. Veranlassung	48
2. Abflußleistung der Siele	50
3. Förderleistung der Schöpfwerke	51
III. Die Mündungsbauwerke mit den dazugehörigen Anlagen	
1. Die Lage der Mündungsbauwerke	53
2. Anordnung von Siel- und Pumpenläufen	57
3. Speicherbecken oder Mahlbussen	59
4. Außentief	61
IV. Ingenieurbau	
1. Gründung	62
2. Stahlbetonbau	64
V. Maschinelle Einrichtungen der Mündungsbauwerke	
1. Sielverschlüsse	66
2. Pumpenaggregate und zugehörige Einrichtungen	69
VI. Schlußbetrachtung	73
VII. Schriftenverzeichnis	73

I. Einleitung

Entlang unserer Küste herrscht zur Zeit ein reges Baugeschehen: Deiche werden erhöht, um den Küstenschutz zu verstärken, Siele und Schöpfwerke gebaut, um die Entwässerung in den deichgeschützten Marschen und Mooren zu verbessern. Wohl nie zuvor sind im Küstengebiet derartig umfangreiche Arbeiten in so kurzer Zeit ausgeführt worden, stehen vor dem Abschluß, sind in Vorbereitung oder in der Planung. Mit sehr hohen finanziellen Beihilfen des Bundes und des Landes im Rahmen des Küstenprogrammes wird es den Deich- und Entwässerungsverbänden ermöglicht, die Küste gegen Sturmfluten zu sichern und die Binnenentwässerung so zu verbessern, daß sie den landwirtschaftlichen Erfordernissen entspricht.

Der vorliegende Beitrag beinhaltet den Neubau von Sielen und Schöpfwerken, die gewissermaßen als Bindeglied zwischen Binnenentwässerung und Küstenschutz angesehen werden

können. Die Mündungsbauwerke, wie sie auch genannt werden, sind in ihren Durchflußöffnungen nach der Abflußmenge und in ihrem Baukörper mit Verschlusseinrichtungen nach den Sturmflutwasserständen zu bemessen, um beiden Erfordernissen zu genügen.

Bei der Bauweise der Siele und Schöpfwerke ist ein technischer Fortschritt zu verzeichnen, der sich aus den Erkenntnissen vorhergehender Anlagen ergibt. Diese Darlegungen beschränken sich auf die größeren Mündungsbauwerke im ostfriesischen Raum, an deren Beispiel die planerischen, bautechnischen und betrieblichen Probleme dargelegt werden sollen. Es wird jedoch nur auf die für den Bau von Mündungsbauwerken bedeutsamen Fragen eingegangen. Die Beschreibung aller Einzelheiten verbietet der Umfang und ist auch nicht notwendig, da es sich dabei um allgemeine Probleme des Ingenieurbaues handelt.

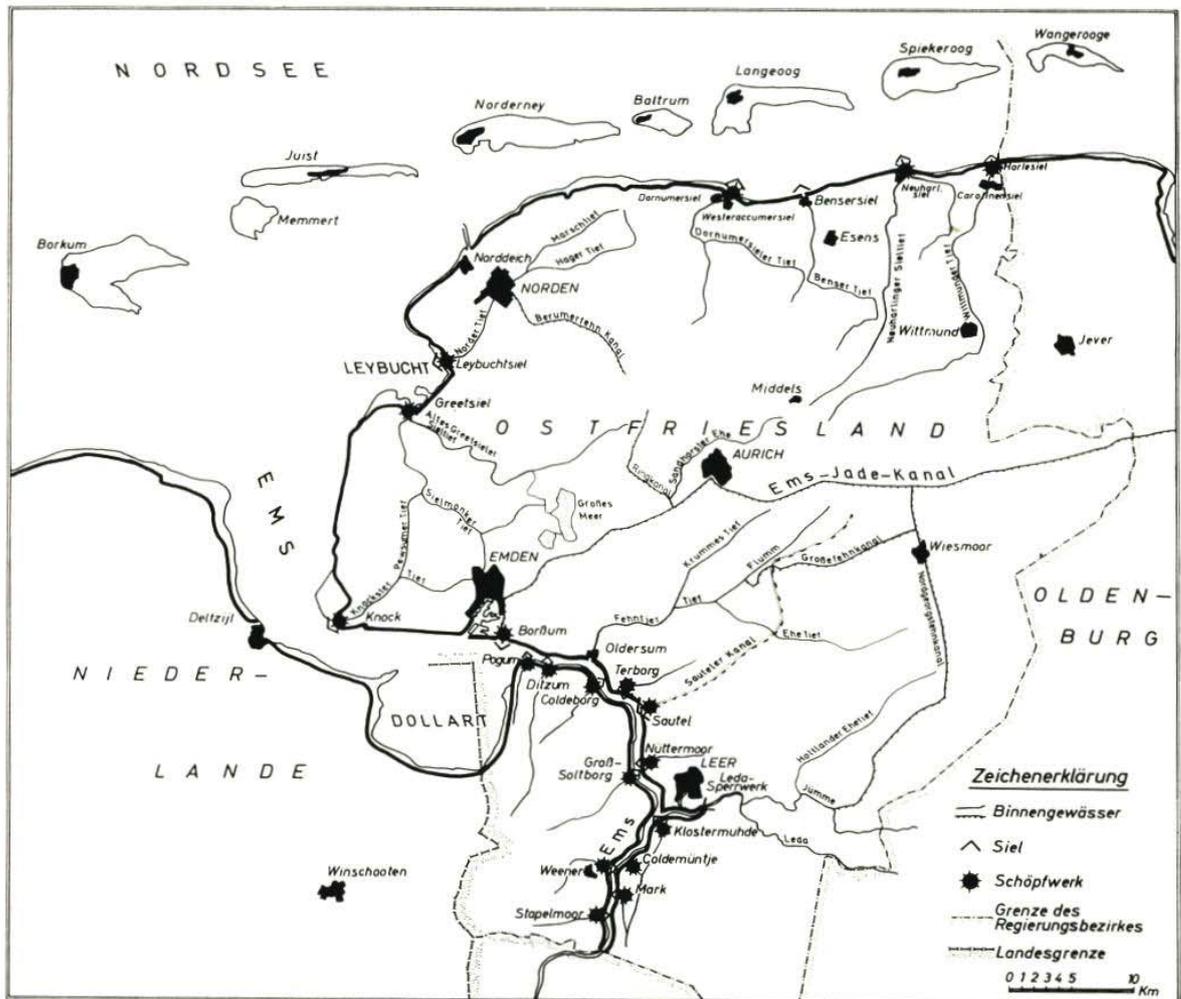


Abb. 1. Ostfriesland. Übersichtskarte mit den seit 1950 neuerbauten Sielen und Schöpfwerken

II. Erfordernis neuer Siele und Schöpfwerke

1. Veranlassung

Die Binnengewässer Ostfrieslands (Abb. 1) münden in die Nordsee, Ems oder Jade, so daß die natürliche Entwässerung von der Leistung der Siele in den D e i c h e n abhängig ist. Ihre Einzugsgebiete liegen niedrig, beginnend mit den deichnahen Marschen mit Höhenlagen um

MThw, nach binnenwärts fallend auf NN, und an den tiefsten Stellen Ostfrieslands bis zu $-2,0$ m NN, d. h. bis mehrere Dezimeter unter MTnw. Niederungen an den Wasserläufen, oft mit Mooren bedeckt, dehnen sich bis zur Geest hin aus, die flach ansteigt und ihre höchsten Erhebungen mit $+18,0$ m NN hat. Der Binnenwasserstand muß jedoch wegen der großen tiefliegenden Flächen bis zum Geestrand unterhalb NN gehalten werden, so daß nur um Tideniedrigwasser täglich zweimal für einige Stunden durch die Siele das Wasser abfließen kann. Der größte Teil Ostfrieslands ist somit ein tidebeeinflußtes Gebiet, in dem der Binnenabfluß von den Tidewasserständen abhängig ist.

Viele der in den letzten Jahren durch Neubauten ersetzten Siele entstanden im 18. Jahrhundert. Sie wurden nach den damaligen Erfordernissen für die Binnenentwässerung bemessen, sind aber völlig ungenügend für die heutige intensive landwirtschaftliche Nutzung. Sie genügten zur Zeit ihres Baues, da sie im allgemeinen nur der Entwässerung der Marschen dienten, weil Geest und Moor noch wenig erschlossen waren und die Marschbauern sich vielfach erfolgreich dagegen wehrten, aus den Obergebieten in unbegrenzter Menge den Wasserabfluß aufzunehmen, wozu sie Schutzdeiche, sogenannte Wehrdeiche oder Sietwendungen, anlegten. Die Niederschläge



Abb. 2.
Überschwemmungen nach
starken Niederschlägen im
September 1968

aus der Marsch waren bereits durch die Siele abgeflossen, wenn die verhältnismäßig ausgeglichenen Abflüsse von der Geest und aus den Mooren die Siele erreichten. Vor allem die Moore, aber auch die in früherer Zeit ausgedehnteren Waldungen hielten das Wasser zurück und ließen es langsamer, ohne die heute kennzeichnenden Hochwasserwellen, abfließen (KRAUSE 1959).

Die im 19. Jahrhundert bis zur Gegenwart schnell fortschreitende Kultivierung der ausgedehnten Moorgebiete Ostfrieslands mußte dazu führen, daß der Wasserandrang immer größer wurde. Zusammen mit dem Abfluß aus den höherliegenden und ebenfalls intensiver genutzten Geestgebieten ergibt sich, daß in niederschlagsreichen Zeiten weite Niederungsgebiete unter übermäßigem Wasserandrang zu leiden haben und überschwemmt werden (Abb. 2).

Sielneubauten waren die Folge, bei denen — wie schon in früheren Jahrhunderten bei Neubauten — mehrere Siele zusammengelegt wurden. Die neuen Siele erhielten größere Querschnitte, wodurch sie leistungsfähiger für die Binnenentwässerung wurden. Daneben stieg die Spülkraft im Außentief infolge der größeren abfließenden Wassermenge, wodurch der natürlichen Verschlickung der Außentiefe entgegengewirkt wurde.

Fast neben jedem Siel ist heute ein Schöpfwerk notwendig (Abb. 1), so daß in den meisten Fällen neue Bauwerke errichtet werden mußten, die Siel- und Schöpfwerksanlagen zusammen-

fassen. An Stellen wo noch Siele bestanden, die erst in neuer Zeit errichtet worden waren, wie in Leybuchtziel im Jahre 1928, wurde zum Ziel zusätzlich ein Schöpfwerk gebaut. Ein zusätzliches Schöpfwerk ist auch in Greetsiel errichtet worden, wo zwei Siele vorhanden sind, die jedoch beide wegen starker Verschlickung ihrer Außentiefe, die im Zusammenhang mit der Verlandung der Leybucht steht, geschlossen werden mußten. An anderer Stelle, wie in Benseriel, beschränkt sich der Neubau auf das Ziel, durch dessen Zubringer ausschließlich das Niederschlagswasser von der höher gelegenen Geest mit natürlichem Gefälle abgeführt wird. Der Wasserspiegel des Binnentiefs, das zwischen Deichen geführt wird, kann so angespannt werden, daß auch bei Tidehochwasser noch anhaltender Zielzug möglich ist.

Wenn so nach wenigen Jahren fast alle alten Siele durch neue mit größeren Querschnitten ersetzt und gleichzeitig leistungsfähige Schöpfwerke errichtet sein werden, ist es — von den Mündungsbauwerken her gesehen — möglich, den Binnenwasserabfluß in Ostfriesland im Interesse der Landwirtschaft ausreichend zu beherrschen. Gleichfalls entsprechen sie dann den Anforderungen des Küstenschutzes, indem sie in stärkerer Bauweise der Deichsicherheit genügen.

Langjährige Beobachtungen zeigen, daß häufig großer Binnenwasserandrang mit Zeiten erhöhter Tidewasserstände zusammentrifft. Naturgemäß können die Siele und Schöpfwerke nicht für die Extremfälle höchsten Binnenwasserabflusses (HHQ) und höchster Sturmflutwasserstände (HHThw) bemessen werden, weil sich damit eine unwirtschaftliche Ausbaugröße nicht nur der Mündungsbauwerke, sondern auch des gesamten Vorfluternetzes ergeben würde. Durch eine sinnvolle gegenseitige Abstimmung zwischen der Durchflußleistung der Siele, Förderleistung der Schöpfwerke und Speichermöglichkeiten im Binnenvorfluternetz sowie Mahlbusen muß eine möglichst optimale Lösung gefunden werden.

2. Abflußleistung der Siele

Die Bestimmung der Durchflußquerschnitte von Zielöffnungen ist seit jeher nach Erfahrungswerten vorgenommen worden. Den Bemessungswerten neuer Anlagen liegt meistens nur die Erfahrung zugrunde, daß die bisherige Zielentwässerung nicht ausreicht, um das Binnenwasser abzuführen (Abb. 3). Die Gründe dafür waren nicht so sehr die Fehlschätzung des Abflusses, sondern vielmehr bedingten die fortschreitende Kultivierung und die wachsenden Ansprüche auf niedrigere Wasserstände in den Vorflutern landwirtschaftlich genutzter Flächen, besonders solcher mit Dränung oder Tiefumbruch, größere Entwässerungsleistungen. Eine Abschätzung, wie sich diese Faktoren auf den Binnenwasserandrang auswirken, ist nicht möglich, wie auch die Zusammenhänge zwischen Niederschlag, Verdunstung sowie oberirdischem und unterirdischem Abfluß in den Marschen und Mooren bis heute zu wenig bekannt sind.

Die Durchflußquerschnitte von Zielöffnungen werden daher in Abhängigkeit von dem einzuhaltenden mittleren Binnenwasserstand und der Größe des Einzugsgebietes ermittelt. Dieser mittlere Binnenwasserstand (MiBiSt), der häufig dem Sommer-Wasserstand (SoW) entspricht, richtet sich nach der Höhenlage des jeweiligen Niederschlagsgebietes und liegt zwischen — 0,5 m NN und — 1,2 m NN. Angewandt wird die Beziehung:

$$\begin{aligned} & \text{Durchflußquerschnitt bei MiBiSt (m}^2\text{)} \\ & = \text{Einzugsgebiet (km}^2\text{)} \cdot 0,1 \text{ bis } 0,2. \end{aligned}$$

Ein mittlerer Wert von 0,15 bis 0,20 erscheint für Ostfriesland den natürlichen Bedingungen angemessen. Vermissen läßt die Faustformel für die Zielbemessung jede funktionelle Abhängigkeit vom Tideniedrigwasserstand oder von der Tidekurve, deren Höhenlage bzw. Form doch für die Zielzugmenge oder Zielzugdauer maßgebend ist. In Zielzugberechnungen (LIESE 1960, MÜLLER und MÜLLER-SPÄTH 1965, 1968) werden die den Zielzug beeinflussenden Faktoren im einzelnen berücksichtigt. Die Schwierigkeit, den Zielzug in Abhängigkeit vom

Abfluß während der Tide, von der während der Sielschlußzeit gespeicherten Wassermenge, vom Speicherraum im Binnengewässernetz, von den tidebedingten Strömungsgeschwindigkeiten im Siel sowie der Größe und baulichen Gestaltung des Sielquerschnittes zu bestimmen, ist sehr groß, so daß bisherige Berechnungsverfahren, wie auch das vorgenannte, weitgehend auf Annahmen angewiesen sind, um rechnerisch durchführbar zu sein. Auf die Problematik der Sielzugberechnung soll hier jedoch nicht weiter eingegangen werden.

Die Kennwerte für die Sielneubauten (Tabelle 1) zeigen, daß sie die jeweiligen örtlichen Bedingungen, das Verhältnis der Höhenlage vom Sommerwasserstand binnen zu den Tidewasserständen, ausdrücken. So reicht in Sautelersiel der Faktor 0,16 aus, weil der Sommerwasserstand ($-0,10$ m NN) hoch im Verhältnis zum Tideniedrigwasser (MTnw $-1,20$ m

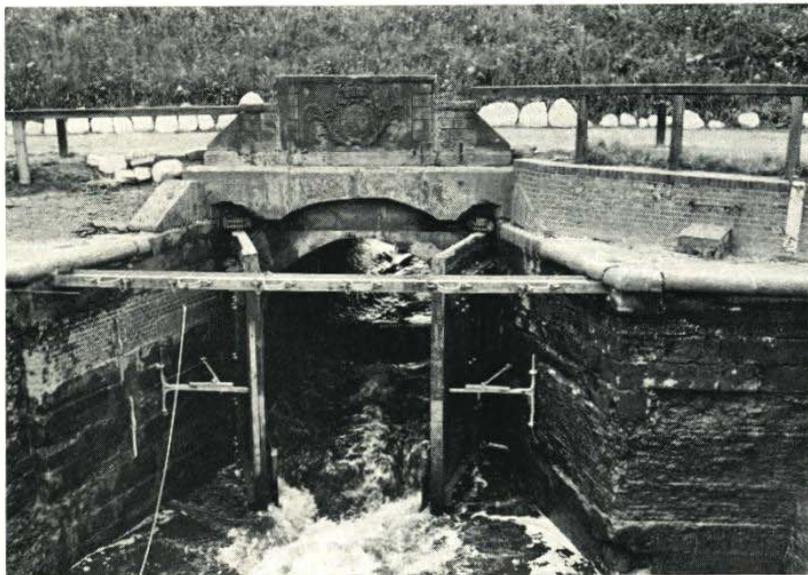


Abb. 3.
Altes Steinsiel mit Sielzug.
Erkennbar ist der starke
Gefälleverlust und die Ein-
engung des Querschnittes durch
die geöffneten Fluttore, die
durch Abstandhalter fest-
gehalten werden

NN) liegt, woraus sich eine längere Sielzugdauer als am Knocksiel (Faktor 0,22) ergibt, wo der Sommerwasserstand $-1,20$ m NN und das Tideniedrigwasser MTnw $-1,50$ m NN betragen. In Harlesiel (Faktor 0,15) werden bei großem Wasserandrang zusätzlich die Tore der Schiffschleuse geöffnet, wodurch sich der Kennwert etwa verdoppelt.

Die hohe Abflußleistung der neuen Siele prägt sich auch in dem geringen Gefälleverlust von 7—8 cm bei einer Durchflußgeschwindigkeit von 1,0 m/s und 15—18 cm bei 1,5 m/s aus, der erheblich geringer als in den früheren Sielen ist, in denen er wie in Neuharlingersiel bis zu 50 cm betrug. Neben den im Vergleich zu früher (Abb. 3) sehr viel größeren Durchflußquerschnitten werden die Sielläufe hydraulisch günstiger gestaltet, indem scharfe Ecken und Kanten vermieden werden. Sielläufe mit Ein- und Auslauf sind in hydraulischen Modellen untersucht worden (FRANZIUS-INSTITUT 1965), nach denen ihre Durchflußleistung erhöht wurde. Die Stemmtore, soweit sie nicht, wie im Sautelersiel und Knocksiel durch Hubtore ersetzt worden sind, geben den Sielquerschnitt völlig frei, wenn sie in Tornischen liegen, wie z. B. in Accumersiel. Die betriebliche Voraussetzung ist dann allerdings die anderweitige Steuerung des Öffnungs- und Schließvorganges, worauf noch eingegangen wird.

3. Förderleistung der Schöpfwerke

Der erforderlichen Pumpleistung der Schöpfwerke wird ein Abfluß zugrunde gelegt, der beherrscht werden soll. Ausgegangen wird heute von Abflußmengen zwischen 100 und 200 l/s \cdot km²,

Tabelle 1

1	2	3	4	5	6	7
Name der Mündungsbauwerke	In Betrieb seit	Niederschlagsgebiet	Anzahl der Sielöffnung, u. Durchflußquerschnitt bei MThw	Art und Anzahl der Verschlüsse je Sielöffnung	Durchflußquerschnitt bei Mi Bi St je km ²	Anzahl u. Anordnung der Pumpen
		[ha]	[m ²]		[m ² /km ²]	
Harlesiel	1958	22 000	1 Siellauf je 9,6 m ² 1 Schleuse je 7,2 m ²	1 Stemmtorpaar 1 Hubtor 2 Stemmtorpaare	ohne Schleuse 0,15 0,19	3 vertikal
Neuharlingersiel	1961	11 000	2 Sielläufe je 11,9 m ²	1 Stemmtorpaar 1 Hubtor	0,19	2 schräg
Bensersiel	1967	9 000	2 Sielläufe je 8,5 m ²	1 Stemmtorpaar 1 Hubtor	0,2	—
Accumersiel	1965	13 300	2 Sielläufe je 16,1 m ²	1 Stemmtorpaar 1 Hubtor	—	3 schräg
Leybuchsiel	1962	23 600	Keine Sielöffnung	—	—	3 schräg
Greetsiel	1957	10 000	Keine Sielöffnung	—	—	3 vertikal
Knocksiel	(1968)	34 000	2 Sielläufe je 33 m ²	2 Hubtore	0,22	4 schräg
Sautelersiel	(1970)	20 070	2 Sielläufe je 7,15 m ²	2 Hubtore	0,16	4 vertikal

wobei die Werte im Laufe der Zeit gestiegen sind. Für die Wahl des Abflußmengenwertes ist das Gefälle im Einzugsgebiet und seine Form maßgebend, wovon abhängt, ob das Wasser langsam oder schnell dem Schöpfwerk zufließt. Wenn somit die Schöpfwerksleistung ausschließlich nach Erfahrungswerten bemessen wird, so liegt ihnen doch die langjährige Erkenntnis zugrunde, daß mit niedrigen Leistungswerten der Wasserandrang bei starken Niederschlägen nicht beherrscht werden kann. Hinzu kommt, daß im Gegensatz zu früher heute die Landwirtschaft von der Zeit der Bestellung bis zur Ernte ständig wechselnde, dem jeweiligen Stand der Kulturen angepaßte Wasserstände in den Gräben fordert, denen nur durch Schöpfbetrieb entsprochen werden kann.

Für Ostfriesland erscheint eine Förderleistung der Schöpfwerke von im Mittel 150 l/s · km² ausreichend (Tabelle 1), wobei diese Rechnungswerte für eine geodätische Förderhöhe von etwa 2,0 bis 2,5 m gelten. Im Pumpbetrieb werden in Abhängigkeit von den Tidewasserständen geodätische Förderhöhen von 0,0 bis 4,5 m und in Einzelfällen bis zu 5,0 m auftreten. Während es früher für ausreichend gehalten wurde, bis zu einem Wasserstand von MThw + 0,5 m zu fördern, wird heute verlangt, daß bis zu einem Wasserstand von (MThw + HHThw) · 1/2 mit entsprechend geringerer Leistung gepumpt werden kann (DIN 1184 — Schöpfwerke). An der ostfriesischen Küste ist das ein Tidewasserstand von etwa 2,0 m über MThw (WOLTER 1967), gegen den noch mit einer ausreichenden Pumpenleistung geschöpft werden muß. Da die Pumpenleistung vor allem von der geodätischen Förderhöhe abhängig ist, wird durch Veränderung der Drehzahl mittels Getriebe oder regelbarer Elektromotoren sowie Verstellpropeller

8	9	10	11	12	13
Pumpen bemessen für Abfluß q	Pumpenleistung bei geodätischer Förderhöhe	Schaufelrad starr oder verstellbar	Pumpen-durchmesser NW	Art und Leistung der Antriebsmotoren	Art der Pumpen-verschlüsse
[l/s km ²]	[m ³ /s] [m]		[mm]		
60	14,8 bei 1,5 10,6 bei 2,8 7,0 bei 4,0	Hgeod. verstellbar	1400	1 Dieselmotor 187 PS 2 Elektromotoren 150 kW	Keilflachschieber Heber
150	22,0 bei 0,5 19,0 bei 1,5 9,0 bei 4,0	verstellbar	1700	Elektromotoren 275 kW, 217 Upm	Jalousieklappen hydr. Drehklapp.
(Siel) 150	—	—	—	—	—
200	28,5 bei 1,0 24,0 bei 2,0 19,5 bei 3,0 13,5 bei 4,0	verstellbar	1800	6 kV Drehstrommotor, Schleifringläufer, Asynchron 315 kW, 983 Upm	Jalousieklappen hydr. Drehklapp.
130	39 bei 2,4 24 bei 4,0	verstellbar	2000	Drehstrommotor, Schräggkugellager, 520 kW, 985 Upm	Jalousieklappen hydr. Drehklapp.
150	13,5 bei 1,0 13,5 bei 1,7 12 bei 3,0	verstellbar	1530	6 kV Drehstrommotor, Asynchron 200 kW, 980 Upm, 380 V	hydr. Rückschlag- klappen, Keilflachschieber
150	60 bei 1,0 50 bei 2,87 36 bei 4,0	Hgeod. verstellbar	2000	6 kV Drehstrommotor, Asynchron, Schleifringläufer 600 kW, D. B., 940 Upm	Schnellschluß- schütze, hydr. Drehklappen
150	40 bei 1,00 32 bei 2,85 28 bei 3,6	starr	1800	6 kV Drehstrommotor, Asynchron, Schleifringläufer 385 kW, 210 Upm	Jalousieklappen hydr. Drehklapp.

erreicht, daß in einem bestimmten Förderhöhenbereich noch mit ausreichendem Pumpenwirkungsgrad gearbeitet wird.

Wenn die zu beherrschende Abflußmenge für das Schöpfwerk Harlesiel mit 60 l/s · km² angesetzt worden ist (Tabelle 1), so liegt die Erklärung sowohl im Erfahrungsstand zur Zeit des Baues wie in der Form des langgestreckten Einzugsgebietes, aus dem durch ein Haupttief das Wasser langsam zuläuft. Dem Accumersiel, mit seinem in Nord-Süd-Richtung verlaufenden kurzen Einzugsgebiet, strömt das Wasser durch zwei Zubringer schneller zu, so daß hier die Förderleistung mit 200 l/s · km² bemessen werden muß.

III. Die Mündungsbauwerke mit den dazugehörigen Anlagen

1. Die Lage der Mündungsbauwerke

Die Lage der Mündungsbauwerke ist meistens durch die Kreuzung des Binnentiefs mit dem Deich bestimmt. Örtliche Gegebenheiten können bedingen, daß das Tief oder der Deich verlegt werden muß. Das erweist sich dann als notwendig, wenn die Bebauung innerhalb eines Sielortes eine Verbreiterung des Tiefs nicht zuläßt oder eine Verstärkung und Erhöhung des Deiches innerhalb der engen Ortslage nicht möglich ist. Aus dem Bestreben heraus, ein möglichst kurzes Außentief außerhalb des Mündungsbauwerkes zu haben, kann dessen Bau mit der

Deichvorverlegung verbunden sein, die auch eine Verkürzung der Deichlinie bringt, wie es beim Bau der Siele und Schöpfwerke Harlesiel und Accumersiel (Abb. 4) erreicht werden konnte, für deren Lage die vorerwähnten Gesichtspunkte maßgebend waren. Besteht jedoch nicht die Möglichkeit auszuweichen, so ist der Abbruch von Gebäuden und die Verlegung von Straßen not-

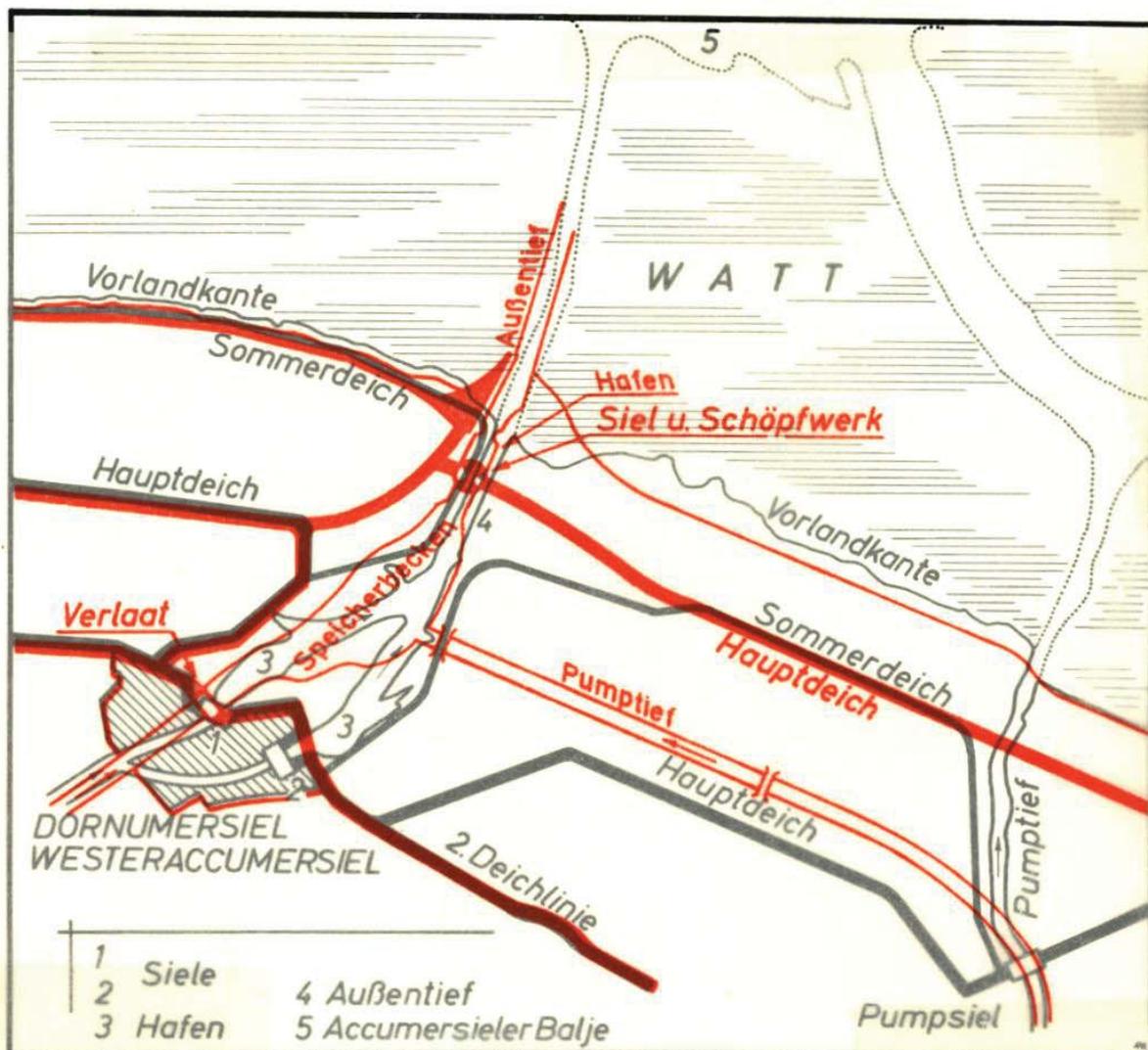


Abb. 4. Vorverlegung des Sieles und Schöpfwerkes Accumersiel mit Vordeichung

wendig. Das kann sich durchaus vorteilhaft auf das Ortsbild auswirken, wenn die Verkehrsverhältnisse verbessert werden und an die Stelle alter, unansehnlicher Häuser moderne Bauten treten, wie es in Neuharlingsiel der Fall war (Abb. 5).

Ein Mündungsbauwerk — ob Siel, Schöpfwerk oder beide in einem Bauwerk vereinigt — ist nach dem Deichgesetz immer ein Bestandteil der Deichlinie oder Anlage im Deich; seine schon erwähnte Doppelfunktion für die Entwässerung und für den Küstenschutz ist dadurch gegeben. Aus der Lage dieser Bauwerke im Deich wird unterschieden zwischen der „Blockbauweise“ in Bengersiel, Accumersiel und Knocksiel sowie der „halb aufgelösten Bauweise“ in Harlesiel, Neuharlingsiel, Leybuchtsiel, Greetsiel und Sautelersiel.

Die „halb aufgelöste Bauweise“ (Abb. 6) ist die ältere, die oft gewählt wurde, weil es unzulässig erschien, den Deich durch ein Bauwerk völlig zu unterbrechen. In Greetsiel wurde

diese Bauweise gewählt, weil unmittelbar neben dem bereits bestehenden Siel wenig Platz war und der Deichkörper nicht geschwächt werden sollte. Der Einlauf und das Maschinenhaus wurden binnenseits und das Auslaufbauwerk außenseits des Deiches in getrennten Baukörpern hergestellt. Als Pumpenläufe wurden Stahlrohre durch den Deich gepreßt. In Leybucht siel und Sautelersiel mußte wegen des schlechten Untergrundes die „halb aufgelöste Bauweise“ gewählt werden, um die Auflast aus dem Deich und dem Schöpfwerk auf eine größere Fläche zu ver-

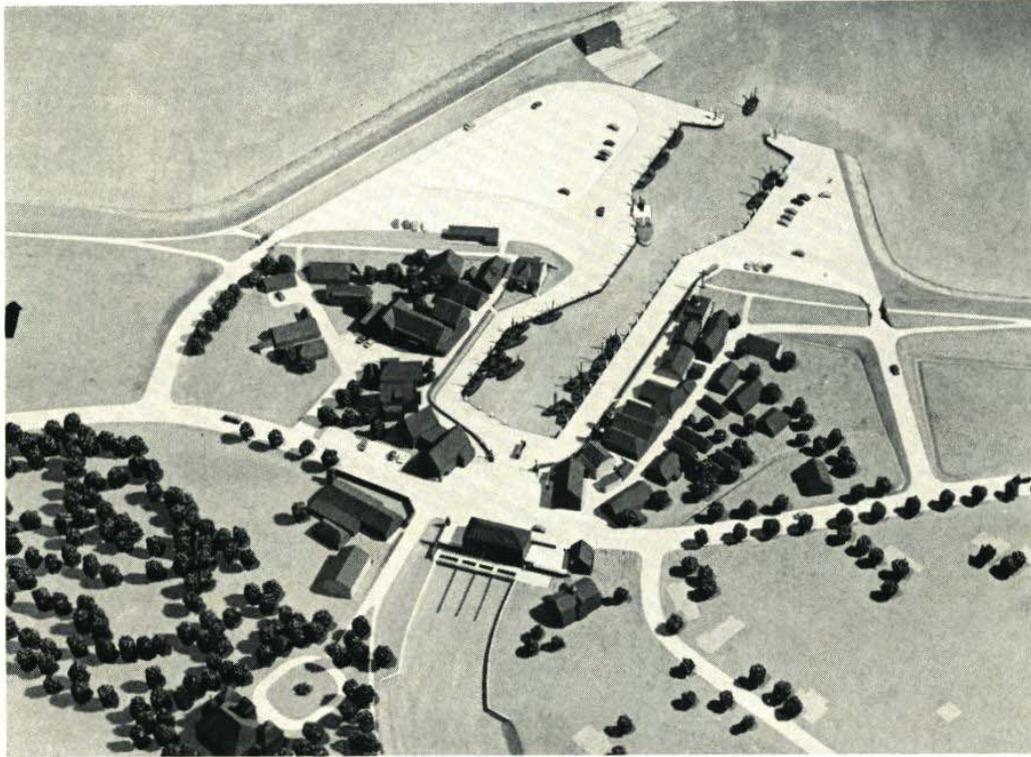


Abb. 5. Neuharlingersiel. Modell vom Siel und Schöpfwerk mit Hafen sowie damit verbundener Neugestaltung der Verkehrswege und des Ortsbildes

teilen. Durch Fugen zwischen Maschinenhaus, Siel- und Pumpenläufen oder Ein- und Auslaufbauwerken werden unterschiedliche Setzungen der Bauteile aufgefangen. Die längeren Sielläufe und Druckrohre dieser Bauweise führen zwar zu größeren hydraulischen Verlusten, die jedoch hingenommen werden, wie auch die höheren Baukosten.

Die „Blockbauweise“ (Abb. 7) erfordert die geringste Gründungsfläche, was wie in Benersiel, Accumersiel und Knocksiel die Baukosten vermindert. Auch für die Durchflußleistung ist diese Lösung am günstigsten, da die Siel- und Pumpenläufe kürzer und die hydraulischen Verluste geringer sind. Verschlüsse und Pumpen sind im Maschinenhaus vereinigt und mit Ein- und Auslauf in einem Block zusammengefaßt, wodurch die betriebliche Übersicht verbessert wird. Voraussetzung dieser Bauweise ist, daß von der Gründung die horizontalen Druckkräfte auf das Bauwerk bei höchsten Sturmflutwasserständen und niedrigsten Binnenwasserständen aufgenommen werden können. Die seitlichen Deichanschlüsse sind so herzustellen, daß Umläufigkeit verhindert wird, wozu Spundwände seitlich des Bauwerkes und die Linienführung der Flügelwände am Ein- und Auslauf beitragen. Wenn möglich, sollte dieser Bauweise der Vorzug gegeben werden.

Straßen oder Deichverteidigungswege müssen über die Mündungsbauwerke hinweggeführt werden. In Accumersiel und an der Knock verlaufen sie auf der Deichkrone an der Außen-

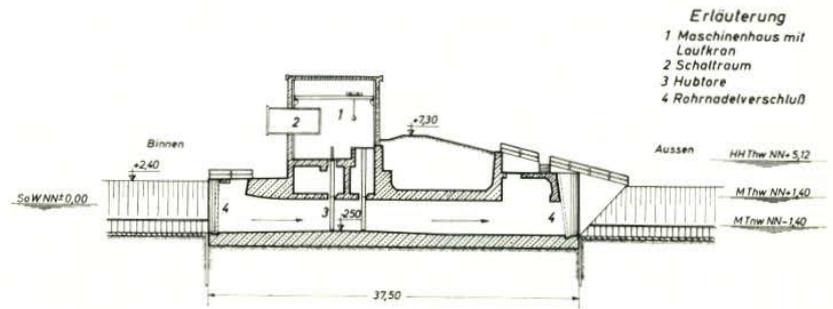


Abb. 6. Längsschnitt des Siellaufes in Sautersiel

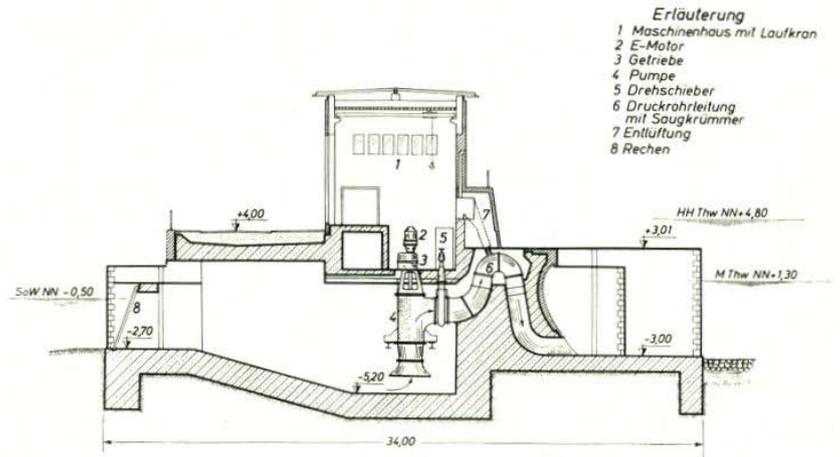


Abb. 7. Längsschnitt des Pumpenlaufs in Harlesiel. Das Druckrohr ist als Heber ausgebildet, um ohne äußeren Verschluss auszukommen



Abb. 8. Aufnahme des Sieles und Schöpfwerkes Harlesiel mit geöffneter Kammerschleuse. Im Vordergrund ein KÖSTERSches Räumboot

seite des Maschinenhauses, in Harlesiel und Leybuchsiel dagegen entlang der Binnenseite des Bauwerkes.

Eine Schleuse für Fischkutter, kleine Frachtschiffe und Sportboote ist nur in Harlesiel (Abb. 8) angelegt worden. Diese Kammerschleuse läßt die Schifffahrt unabhängig von den Wasserständen innen und außen passieren und kann gleichzeitig für die Sielentwässerung genutzt werden, indem beide Torpaare geöffnet werden, wodurch der Durchflußquerschnitt für die Entwässerung vergrößert wird. Das bereits 1928/29 erbaute Leybuchsiel ist ein offenes Siel, das als Dockschleuse die Zufahrt zum Norder Hafen für kleinere Küstenschiffe freigibt. Alle anderen Siele sind überdeckt.

Die Trennung zwischen Siel und Schöpfwerk mit Zwischenschaltung eines Speicherbeckens ist bei keiner der hier behandelten Anlagen ausgeführt worden. Eine derartige Lösung, bei der die Betriebskosten des Schöpfwerkes gesenkt werden können, weil nicht gegen wechselnde Tidewasserstände, sondern nur gegen im Mittel niedrigere im Speicherbecken gepumpt werden muß, bot sich nirgendwo an, da Flächen für ein entsprechend bemessenes Speicherbecken fehlten.

2. Anordnung von Siel- und Pumpenläufen

Die hier beschriebenen Mündungsbauwerke enthalten meistens außer zwei Sielläufen noch zwei bis vier Pumpenläufe. Ihre gegenseitige Zuordnung ist vor allem von den Betriebsbedingungen abhängig, aber auch durch bauliche Gesichtspunkte, wie Art und Nutzung der Außenmuhde*) oder des Vorhafens, bestimmt. Auch ist zu berücksichtigen, welche Anteile des abzuführenden Binnenwassers auf Sielzug oder Pumpenförderung entfallen, damit im Außentief der Durchflußquerschnitt möglichst günstig ist.

Das Siel und Schöpfwerk Accumersiel hat im Grundriß (Abb. 9) drei Pumpen zwischen zwei Sielöffnungen. Diese Anordnung soll dazu führen, daß durch den Sielzug der Vorhafen — besonders entlang der Hafenkajungen — freigespült wird, wozu die Pumpen wenig beitragen, da sie nur bei höheren Wasserständen laufen. In Neuharlingersiel ist die gleiche Anordnung aus baulichen Gründen getroffen worden, denn zunächst mußte das vorhandene Siel durch einen Neubau ersetzt werden, damit nach dessen Abbruch Platz für den zweiten Siellauf vorhanden war.

Die umgekehrte Anordnung, Sielläufe in der Mitte und Pumpenläufe außen, wurde am Mündungsbauwerk Sautelersiel getroffen (Abb. 10). Hier war die Überlegung maßgebend, daß auf Grund der hohen Wasserstände im Binnentief, das als Randkanal das Wasser von der höher als die Marsch liegenden Geest heranhöhrt, der überwiegende Teil des Binnenwassers gesielt und für die Räumung der Mitte des Außentiefs genutzt werden kann, um dort ausreichende Tiefe zu erhalten. Dagegen sind die Pumpen, deren Betrieb nach den Voruntersuchungen während rund 200 Stunden notwendig sein wird, paarweise beiderseits der Sielläufe angeordnet. Die Druckkanäle haben eine größere Sohlenhöhe, so daß seitliche Verschlickungen im Außentief ihren Ausstrom nicht behindern.

Im Mündungsbauwerk Knocksiel sind zwei Sielläufe und vier Pumpenläufe in getrennten Baublöcken zusammengefaßt (Abb. 11). Für diese Lösung waren auch konstruktive Überlegungen maßgebend, beide Blöcke durch eine Setzungsfuge zu trennen. Ein gleichmäßiger Durchflußquerschnitt im Außentief wird erwartet, weil etwa gleiche Wassermengen gesielt und gepumpt werden und seine Länge gering ist.

Erfahrungen über die hydraulische Auswirkung der Anordnung von Siel- und Pumpenläufen liegen bisher nur in Accumersiel vor, wo sich die Tiefen im Hafen erwartungsgemäß

* Außenmuhde = Außentief.

halten. Für die Außenmüden in Sautersiel und Knocksiel können Angaben erst nach der Inbetriebnahme gemacht werden. Zu erwähnen ist, daß in Leybuchsiel und Greetsiel nach Arbeitsbeginn der dortigen Schöpfwerke die Verschlickung vor den Sielen stark zugenommen hat, während sich dagegen vor den seitlich angelegten Schöpfwerken eine ausreichende Rinne

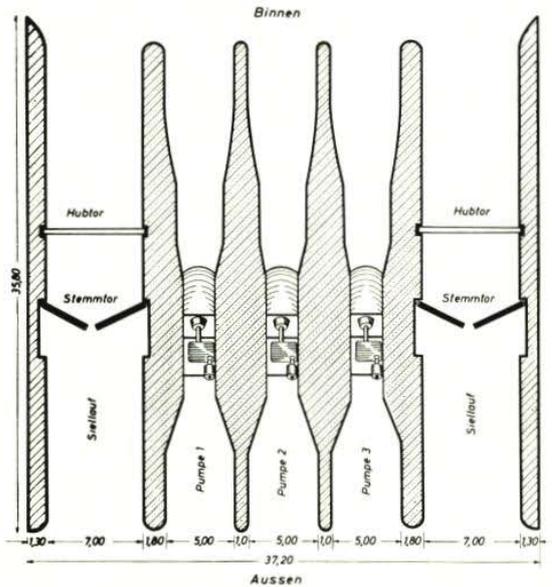


Abb. 9. Grundriß des Sieles und Schöpfwerkes Accumersiel mit mittlerer Lage der Pumpenläufe und seitlicher Lage der Sielläufe

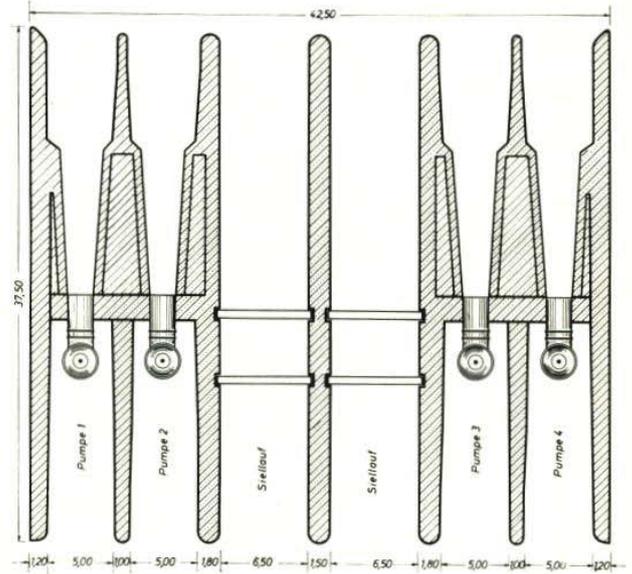


Abb. 10. Grundriß des Sieles und Schöpfwerkes Sautersiel mit mittlerer Lage der Sielläufe und seitlicher Anordnung der Pumpen

hält. In Greetsiel wurde 1954/55 der Sielbetrieb völlig eingestellt, da das MThw am Siel mit $-1,18$ m NN rd. $0,1$ m höher als der Sommerpeil liegt. In Leybuchsiel kann nur noch mit häufigem Einsatz des Räumbootes das Außentief offengehalten werden.

An der Binnenseite des Mündungsbauwerkes sind günstige Einlaufbedingungen zu schaffen, da ein schlechter Zustrom den Gesamtwirkungsgrad der Anlage erheblich vermindert. Trennwände in Verlängerung der binnenseitigen Pfeilerköpfe (Abb. 5), wie sie in

Neuharlingersiel zur Teilung des Zustromes zu den Pumpen hergestellt worden sind, wirken sich nur nachteilig aus. Die Wirbelbildung im zuströmenden Wasser setzt dann schon früher ein, fächert weiter aus und beeinträchtigt den Durchfluß (LUCK 1965).

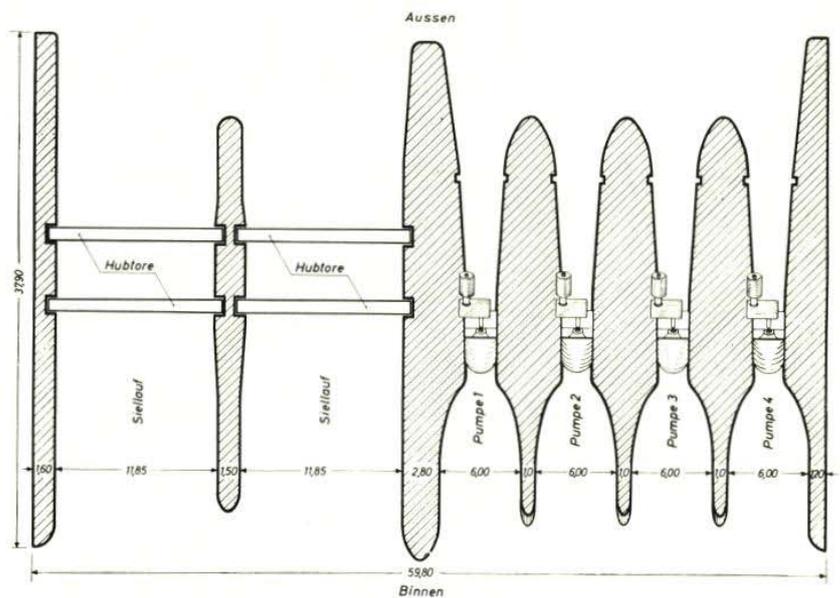


Abb. 11. Grundriß des Sieles und Schöpfwerkes Knocksiel mit getrennten Sielöffnungen und Pumpen, die jeweils in einem Baublock zusammengefaßt sind

3. Speicherbecken oder Mahlbusen

Die Entwässerungsleistung der Mündungsbauwerke wird neben ihrer Sielweite und Pumpenleistung erheblich von den Zu- und Abflußverhältnissen bestimmt. Auf der Landseite sind gut ausgebaute Binnenvorfluter erforderlich, deren Abfluß- und Speichervermögen durch ein Speicherbecken oder einen Mahlbusen ergänzt wird, wenn die räumlichen Voraussetzungen gegeben sind. An den Mündungsbauwerken Harlesiel, Accumersiel (Abb. 4), Leybuchtziel, Greetsiel, Knocksiel und Sautelersiel bestehen daher Speicherbecken unterschiedlicher Größe.

Für die Sielentwässerung ist das Speicherbecken insofern günstig, als der Speicherraum für das Binnenwasser während der Sielschlußzeit erhöht wird. Für den Sielzug selbst ist es weniger von Bedeutung, da mit Öffnen der Sieltore dieser mit geringer Fließgeschwindigkeit beginnt, die sich langsam steigert, so daß sich die Zuflußgeschwindigkeit im Binnentief entsprechend anpassen kann. Exakte Untersuchungen über den Wert eines Speicherbeckens für die Vergrößerung der Sielzugmenge liegen nicht vor.

Für die Schöpfentwässerung hat jedoch das Speicherbecken oder der Mahlbusen den Vorteil, daß es beim schnellen Anlaufen der Pumpen auf Vollast nicht zu einem starken Absinken des Binnenwassers kommt. Wenn nur das Binnentief vorhanden ist, wird durch die volle Pumpenleistung der Wasserstand darin zunächst stark abgesenkt, bis sich der Fließzustand im Binnentief eingestellt hat. Dadurch wird die geodätische Förderhöhe der Pumpen vergrößert und deren Förderstrom vermindert, bis der Zustrom zum Schöpfwerk gleichmäßig einsetzt. Von weiterem Wert für den Pumpbetrieb ist das Speicherbecken dadurch, daß das Wasser angestaut werden kann, damit während der Sperrstunden mit hohen Stromkosten für die elektrischen Antriebsmotoren nicht gepumpt zu werden braucht oder auch ein günstiger Nachtstromtarif ausgenutzt werden kann.

Die Anlagekosten eines Mahlbusens würden zu hoch sein, wenn er allein zur Verbilligung des Pumpbetriebes geschaffen wird. Er entsteht meistens zwangsläufig, indem entweder mit dem Bau des Schöpfwerkes Priele durch Vordeichung abgetrennt wurden, wie es in Leybuchtziel und Harlesiel der Fall war, oder wie in Accumersiel und Knocksiel eine Bodenentnahme für den Deichbau notwendig war. In der engen Ortslage von Neuharlingersiel (Abb. 5) mußte auf die Anlage eines Speicherbeckens verzichtet werden, jedoch wurde das Binnentief so breit wie möglich ausgebaut.

Die Böschungen des Mahlbusens werden zweckmäßig durch Lebendverbau befestigt und nur binnenseits des Mündungsbauwerkes, wo mit höheren Fließgeschwindigkeiten gerechnet werden muß, durch Steinschüttungen oder Beton- und Asphaltmatten gesichert. Sonst kann einer stärkeren Uferbefestigung durch flachere Böschungsgestaltung begegnet werden.

Durch Verlaatbauwerke in Harlesiel und Accumersiel (Abb. 4) ist auch die Möglichkeit gegeben, Wasser im Mahlbusen anzustauen und bei Tiefebbe durch das Siel abzulassen, um damit das Außentief zu spülen und auf der erforderlichen Tiefe zu halten. Es kann zu diesem Zweck bei Tidehochwasser auch Seewasser eingelassen werden, das dann bei Tide-niedrigwasser wieder abfließt. Sinkstoffhaltiges Seewasser fördert jedoch die Verschlickung des Speicherbeckens. Die Spülwirkung erstreckt sich nur auf einen kurzen Abschnitt des Außentiefs. Es liegen noch keine Erfahrungen über den Wert einer systematischen Spülung vor, weil sich bisher aus baulichen Gründen ihre Anwendung verbot oder nicht konsequent ausgeführt wurde. Von den Entwässerungsverbänden wird immer angestrebt, möglichst viel, vor allem aber tief zu sielen, um bei Niederschlägen Speicherraum in den Binnengewässern verfügbar zu haben, und um Pumpkosten zu sparen.

Auf die am Dangaster Siel am Jadebusen und besonders in Schleswig-Holstein häufigen

Speicherbecken zwischen Siel und Schöpfwerk soll hier nur insofern eingegangen werden, als sich diese Möglichkeit — wie bereits erwähnt — beim Bau eines neuen Leybuchsiesels im Zusammenhang mit der Leybuchteindeichung anbietet (Abb. 12). Dann können die im letzten Jahrzehnt neu errichteten Tideschöpfwerke Greetsiel und Leybuchsiel als Binnenschöpfwerke beibehalten und auch bei Sturmfluten wirtschaftlicher mit verhältnismäßig geringen Förderhöhen betrieben werden, da dann das Wasser nur auf den Wasserstand des Speicherbeckens und

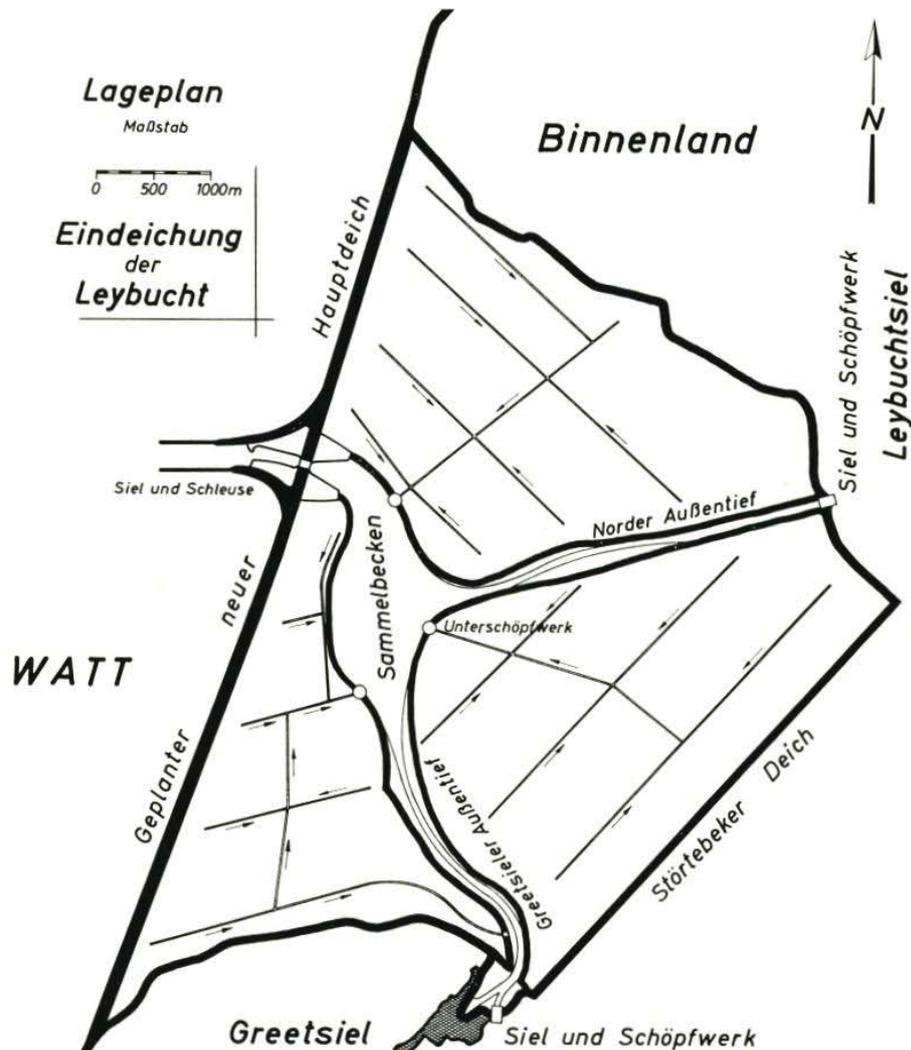


Abb. 12. Plan einer Eindeichung der Leybucht mit neuem Siel, Speicherbecken sowie den beiden bestehenden Sielen und Schöpfwerken Greetsiel und Leybuchsiel

nicht wie jetzt auf den im Mittel höheren Tidewasserstand gehoben zu werden braucht. Bei einer Leybuchteindeichung würde sich aus den Prielen, dem tiefgelegenen Watt und den Bodenentnahmestellen ein Becken mit einer Fläche von rund 700 ha ergeben. Die gegenwärtig wegen vollständiger Verschlickung in Greetsiel nicht mehr oder in Leybuchsiel nur noch sehr wenig betriebenen Siele wären dann wieder voll leistungsfähig, würden in das Speicherbecken entwässern und zusammen mit dem neuen Leybuchsiel die Schöpfentwässerung zugunsten der Sielentwässerung erheblich einschränken.

4. Außentief

Das Außentief ist mit seinem Querschnitt und vor allem seiner Sohllentiefe für die Sielzugdauer und damit für die Sielzugmenge je Tide sowie die Absenkung der Binnenwasserstände maßgebend. Die Außentiefe der hier behandelten Mündungsbauwerke sind von sehr unterschiedlicher Länge. Am Sautelersiel und Knocksiel sind sie sehr kurz, in Accumersiel, Bensorsiel, Neuharlingersiel und Harlesiel zwischen 0,7 km und 2 km und in Leybuchsiel und Greetsiel bis zu 6 km lang.

In den nur einige hundert Meter langen Außentiefen genügt die Räumkraft des Sielzuges, um den Querschnitt offenzuhalten. In längeren Außentiefen, wie z. B. in Neuharlingersiel, läßt sich im Längsschnitt deutlich ein Bereich erkennen (KÖRITZ 1956), bis zu dem sich die Räumkraft des Sielzuges günstig auf die Sohllentiefe auswirkt, während darüber hinaus die Räumung des Tiefes von dem seitlich vom Watt her zuströmenden Wasser abhängt. Zu berücksichtigen ist hierbei jedoch, daß das Wattwasser Sinkstoffe in das Tief bringt, wobei allerdings angenommen werden kann, daß diese Sinkstoffe infolge der Zunahme der Fließgeschwindigkeit im Außentief sich dort nicht ablagern. Der Pumpbetrieb hat für die Räumung nur wenig Bedeutung, da meistens bei höheren Wasserständen gepumpt wird, wenn nicht nur das Tief gefüllt ist, sondern auch die angrenzenden Watten überströmt sind, so daß die Geschwindigkeitszunahme im Außentief infolge des Pumpens unbedeutend ist.

Aus der Forderung, einen ausreichenden Querschnitt im Außentief zu erhalten und eine möglichst gerade Linienführung zu erreichen, werden neben dem Außentief einseitig oder auch beidseitig Leitdämme angelegt. Wenn sie beidseitig am Knocksiel bestehen, so sollen sie den seitlichen Sandeintrieb durch die starke Tideströmung der Ems verhindern, aber auch gleichzeitig als Uferschutz dienen. In Bensorsiel sind ebenfalls beiderseits des Außentiefs Leitdämme vorhanden, die auf den Hafenausbau in der Vorkriegszeit zurückgehen und die tideunabhängige Ein- und Ausfahrt ermöglichen sollen. Das Beispiel eines einseitigen Leitdamms ist dagegen in Harlesiel und in Neuharlingersiel vorhanden, wo sich der Leitdamm als Schöpfbühne auswirkt, indem er das bei Ebbe vom Watt abströmende Wasser am Leitdamm entlangführt und zur Räumung des Außentiefs beitragen läßt. Aus diesem Grunde und auch zur Erhaltung eines gestreckten Laufes wird am Accumersiel Außentief noch ein Leitdamm errichtet werden müssen.

Die Bauweise der Leitdämme ist ein Steinkörper auf Sinkstück-Unterlage. Verwendet werden Natursteine, die seewasserbeständig sind und mit Asphalt oder Colcrete-Mörtel an der Oberfläche vergossen werden können, um widerstandsfähiger gegen die mechanischen Beanspruchungen zu sein. Ein Kern des Leitdamms aus Sand mit einer wasserundurchlässigen Abdeckung aus Asphaltbeton oder Betonformsteinen mit untergelegter Dichtungsfolie ist ebenfalls möglich.

Für die Sielentwässerung ungenügend sind dagegen die Querschnitte der Außentiefe in der Leybucht, die auf Grund ihrer großen Länge sehr stark verlanden (KRAMER 1955). Nachdem die Siele in Greetsiel infolge völliger Verschlickung geschlossen worden sind, wird eine natürliche Räumung nur durch das von den Watten abströmende Wasser bewirkt. Wenn möglich, wird der Pumpbetrieb so eingerichtet, daß er in die Niedrigwasserzeit fällt, in der das Watt trockenfällt. In Leybuchsiel, wo die Sieltore noch geöffnet werden können, sind die Bedingungen etwas günstiger. Jedoch trägt das sehr sinkstoffhaltige Wasser, das in den Landgewinnungsfeldern zu großflächigen Verlandungen führt, dazu bei, daß auch die Außentiefe durch Ablagerungen an Querschnitt verlieren. Der Widerspruch zwischen erwünschter Landgewinnung und möglichst großer Fahrwassertiefe unmittelbar nebeneinander wird hier besonders deutlich. In den Außentiefen werden deshalb Räumboote eingesetzt, die den abgelagerten Schlick wäh-

rend der Ebbe aufwirbeln, damit er mit dem Ebbstrom nach außen befördert wird. Infolge der großen Länge der Außentiefe in der Leybucht reicht jedoch der Transportweg der Strömung nicht aus, um die Sinkstoffe bis in das tiefere Wasser zu bringen, so daß sie sich im Unterlauf des Außentiefs wieder absetzen. Der gegenwärtige Zustand der Außentiefe von Leybuchtziel und Greetsiel ist unbefriedigend. Eine Baggerung kann diesen wohl vorübergehend verbessern, während auf die Dauer die Schwierigkeiten für die Entwässerung und Schifffahrt nur durch eine Eindeichung der Leybucht beseitigt werden können (Abb. 12).

An den Mündungsbauwerken sind meistens Vorhäfen wie in Harlesiel, Neuharlingersiel (Abb. 5), Bensorsiel, Accumersiel und Greetsiel vorhanden. Die Häfen dienen dem Fischereibetrieb wie auch der örtlichen Versorgung und vor allem der Verbindung zu den Inseln. Die Ein- und Ausfahrt der Schiffe durch das Außentief wirkt sich darauf insofern aus, als durch die Schraubenbewegung Ablagerungen aufgewirbelt und durch die Strömung transportiert werden. Insgesamt können jedoch nur Umlagerungen erwartet werden, da sowohl bei Ebbe- wie auch Flutströmung ein- und ausgelaufen wird. Von den Fischkuttern und noch mehr von den Fahrzeugen des Inselverkehrs werden Sohltiefen in den Außentiefen verlangt, die sie bei Ein- und Ausfahrt unabhängig von der Tide machen. Das erfordert für die verkehrenden Schiffsgrößen eine Tiefe von 1,5 m bei Tideniedrigwasser und mehr, die sich vor keinem Mündungsbauwerk durch den Binnenwasserabfluß erhalten läßt, so daß zusätzlich geräumt oder gebaggert werden muß.

Die Erhaltung ausreichender Außentiefquerschnitte ist immer ein schwieriges Problem. Bei der Planung von Mündungsbauwerken muß deshalb versucht werden, möglichst viele Binnentiefe mit großer Abflußmenge an einer Stelle ausmünden zu lassen, um eine möglichst starke Räumkraft im Außentief zu erreichen. Ein Beispiel für die Zusammenfassung ist das Mündungsbauwerk Accumersiel, in dem drei frühere Siele (Abb. 4) zusammengefaßt sind, ohne aber damit allein schon ein allen Ansprüchen genügendes Außentief erhalten zu haben. Auf diese Weise läßt sich die verminderte Spülung, die eine Folge der Beherrschung der Binnenwasserstände durch Schöpfwerke ist, teilweise durch Sielzug ausgleichen. Das Binnenwasser kann zwar bei hohen Tidewasserständen nicht mehr auf die früheren, wenn auch unerwünschten Wasserstände ansteigen, die jedoch bei späterem Sielzug anhaltende, kräftige Binnenwasserwellen ausströmen lassen, durch die auch längere Außentiefe geräumt und offengehalten werden. Der Schöpfbetrieb fördert die Verschlickung der Außentiefe. Der durch viele Pumpstunden mögliche, tiefe Binnenpeil mit nur noch kurzen Sielzügen bedeutet dann das Ende der natürlichen Entwässerung.

IV. Ingenieurbau

1. Gründung

Auf eine sichere Gründung der Mündungsbauwerke ist wegen ihrer doppelten Aufgabe als Bestandteil der Deichlinie und als technische Betriebsanlage besonders zu achten. Die Horizontalkräfte bei höchstem Außenwasserstand und niedrigem Binnenwasserstand müssen auf die Gründungssohle sicher übertragen werden können. Außerdem hat der Baukörper genügend verwindungsfest zu sein, um eine gegeneinander unverschiebliche Lagerung von Pumpen, Getrieben und Motoren sowie die einwandfreie Bewegung der Verschlüsse und die Dichtigkeit der Toranschlüge und Torführungen zu gewährleisten.

Je nach Tiefenlage des tragfähigen Untergrundes sind die Mündungsbauwerke als Flach- oder Pfahlgründungen ausgebildet worden, nachdem durch Bohrungen und Drucksondierungen

die Bodenschichten und deren Belastbarkeit bestimmt worden sind. Für die Tiefe des tragfähigen Untergrundes ist oft maßgebend, daß die Bauwerke im früheren Lauf verlandeter Priele liegen, woraus sich Gründungstiefen bis zu rund 20 m unter NN ergeben können.

Flachgründungen konnten in Sautelersiel, Accumersiel (Abb. 13), Harlesiel ausgeführt werden, wo tragfähiger Boden in Tiefen von $-5,0$ bis $-7,0$ m NN anstand. In Accumersiel und Harlesiel wurde dabei eine Kleischicht durch Sand über der tragfähigen Sandschicht ausgetauscht, was sich in beiden Fällen als wirtschaftlich anbot.

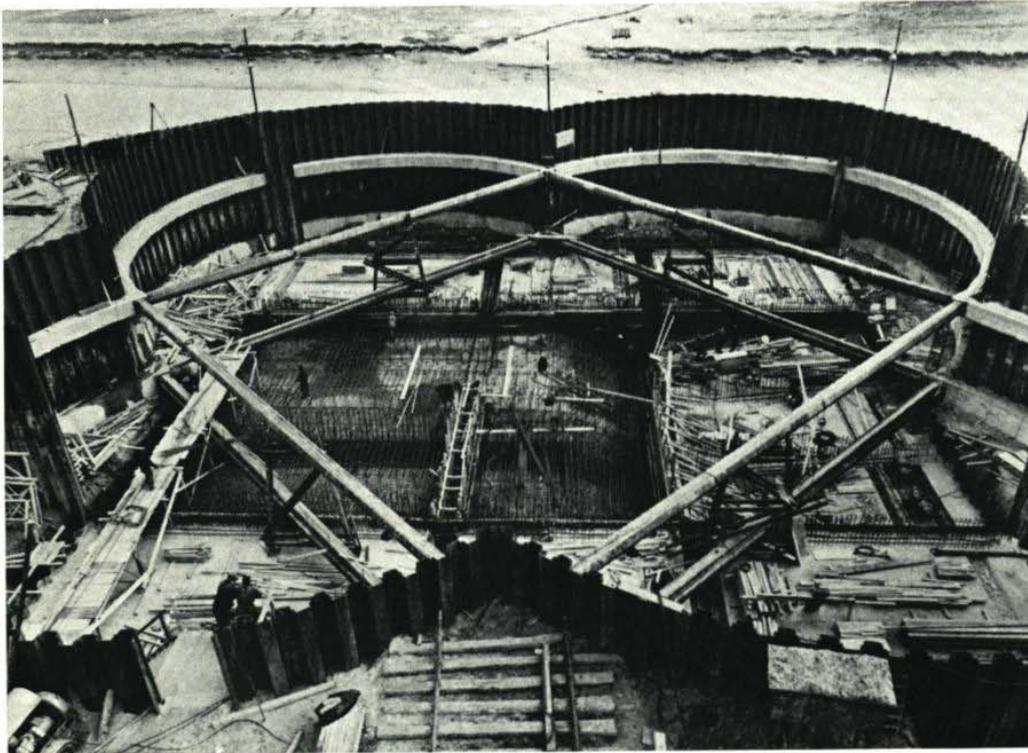


Abb. 13. Baugrube des Sieles und Schöpfwerkes Accumersiel. Die halbkreisförmigen Umspundungen ermöglichen es, die Baugrube ohne große Hindernisse durch Aussteifungen herzustellen

Die Flachgründung ist so zu bemessen, daß ungleichmäßige Setzungen ohne Verformung der Sohle ausgeglichen werden. Über die Verteilung des Sohldruckes sagen in Accumersiel und Sautelersiel Meßdosen aus (RAGUTZKI 1966), die über die Gründungsfläche verteilt sind. Die Meßergebnisse zeigen eine für starre Baukörper kennzeichnende Sohldruckverteilung, bei der in Sautelersiel auch die mittragenden Umschließungswände sich ausprägen. Die für die Bemessung der Gründung angenommene, gleichmäßig verteilte Sohlpressung kann nach den Meßergebnissen als zulässige, wenn auch nicht voll zutreffende Annahme angesehen werden.

Die Pfahlgründungen sind entsprechend der Tiefe der tragfähigen Bodenschicht nach unterschiedlichen Verfahren ausgeführt worden, um möglichst wirtschaftliche Lösungen zu erreichen. In Greetsiel, Leybuchtsiel und Knocksiel wurden Ortbeton-Rammpfähle geschlagen. In Leybuchtsiel liegt die tragfähige Schicht in einer Hauptrinne der früheren Leybucht so tief, daß nur eine schwimmende Gründung möglich war. Bei der Gründung des Bauwerkes Knocksiel wurde von den Ortbeton-Rammpfählen eine rund 7 m mächtige Kleischicht durchstoßen. Das Grundwasser unterhalb dieser Kleischicht ist gespannt, so daß sorgfältig vorgegangen werden mußte, damit bei der Durchrammung dieser wasserdichten Schicht das Grundwasser nicht oben austrat, denn bei Sturmfluten mußte mit einem Wasserüberdruck von 10 m Wassersäule gerechnet wer-

den. In der Baugrube mit einer Gründungstiefe von rund $-6,5$ m NN konnte dann ohne Grundwasserabsenkung gearbeitet werden.

Das Mündungsbauwerk Neuharlingersiel ist auf Tiefpfeilern von je $1,30$ m ϕ mit Fußverbreiterung auf $1,60$ m ϕ gegründet, die innerhalb von später gezogenen Mantelrohren hergestellt wurden. Hier ließ die nahe Bebauung mit älteren Häusern keine Rammerschüttungen zu. Das Sielbauwerk Bengersiel steht auf Stahlpfählen und das Verlaat in Accumersiel auf Stahlbeton-Rammpfählen mit verstärktem Fuß, die für den Bauzustand als Zugpfähle für die unter Wasser eingebrachte Stahlbetonsohle, Colcrete-Vermörtelung eines Kiesgerüsts mit dazwischenliegender Bewehrung, dienen. Zusammen mit der umschließenden Stahlspundwand entstand eine Baugrube ohne Grundwasserabsenkung, in der das Bauwerk erstellt werden konnte.

Die großen Baukörper der Mündungsbauwerke mit Abmessungen von bis zu rund 40 m \times 60 m in Knocksiel müssen durch Fugen unterteilt werden, um gegenseitige Bewegungen zuzulassen. Bei Flachgründungen sind diese von unten bis oben durchzuführen, während sie bei Pfahlgründungen oberhalb der Sohlplatte ansetzen. Die im vorhergehenden Abschnitt angegebene Aufteilung der Mündungsbauwerke in Siel- und Pumpenteil bietet die Möglichkeit, diese Baublöcke zu trennen. Die Dichtung der Fugen, besonders im Tiefbauteil, ist sorgfältig mittels Fugenband auszuführen, denn nachträgliche Dichtungen gegen den äußeren Wasserdruck sind sehr schwierig. Beim Betoniervorgang darf die Fugenfüllung nicht verschoben oder versetzt werden, um eine unerwünschte Verzahnung der zu trennenden Baukörper zu vermeiden.

2. Stahlbetonbau

Vor ungefähr 200 Jahren begannen die Steinsiele die Holzsiele zu verdrängen und bis heute zu überdauern. Wie sich bei deren Abbruch zeigte, als sie wie in Westeraccumersiel in den letzten Jahren ersetzt wurden, waren sie trotz ihres Alters in einem festen Zustand. Zwar war die Oberfläche meist angegriffen und in der Zwischenzeit neu verblendet, ihr Mauerwerkskern war jedoch gesund.

Die nunmehr großen Siele und Schöpfwerke (Abb. 14) werden entsprechend dem heutigen Stand der Bautechnik in Stahlbeton hergestellt, auch aus dem Grunde, um größere Durchflußweiten und den Einbau großer Pumpenanlagen zu ermöglichen. Es erhebt sich die Frage, ob diese Bauweise die gleiche Lebensdauer wie die der Ziegelbauwerke erwarten läßt, und welche Vorkehrungen zu treffen sind, um sie über Jahrhunderte zu erhalten. Die Diskussion, ob der Beton aggressivem Wasser ausgesetzt werden kann, ohne daß er durch eine Klinkerverblendung geschützt wird, hat bis in die jüngste Zeit andauert. Davon zeugt das Vormauerwerk in Harlesiel (Abb. 8), durch das allerdings auch die Ansicht des Bauwerks verbessert werden sollte.

Nach den heutigen Erkenntnissen und Erfahrungen sowie deren Anwendung bei der Herstellung kann dem Stahlbeton eine hohe Lebensdauer im Wasserbau, auch wenn er dem als betonschädlich geltenden Meer- und Moorwasser ausgesetzt wird, zugesprochen werden. Deshalb sind alle hier besprochenen Mündungsbauwerke, nur in Harlesiel sind — wie vorerwähnt — Teilflächen verblendet, in Stahlbeton ausgeführt. Im hochbaulichen Teil ist Ziegelmauerwerk zur Ausfüllung der Stahlbetonskelette benutzt worden, um eine architektonisch gute Wirkung zu erhalten. Die Grundsätze des Stahlbetonbaues sollen hier nicht wiederholt werden; auf einige Erfahrungen beim Bau der Siele und Schöpfwerke, die erwähnenswert erscheinen, wird hier jedoch eingegangen.

Die Bauwerksteile sind in ihren Abmessungen nicht allein nach statischen Gesichtspunkten zu bemessen, sondern stärker auszubilden, was besonders für den Bereich gilt, der dem Wasser

ausgesetzt ist. Von der Bauwerksmasse müssen Erschütterungen beim Schlagen der Sieltore und Pumpenverschlüsse sowie Schwingungen aus dem Maschinenbetrieb aufgenommen werden können, ohne Risse zu verursachen. So wird gleichzeitig erreicht, daß die Bewehrung nicht zu dicht innerhalb des Betons liegt und dieser genügend durch Innenrüttler verdichtet werden kann, um einen dichten Beton zu erhalten. Siele und Schöpfwerke haben aus statischen Gründen im Vergleich zu manchen anderen Bauten im Seewasser eine kräftige Bewehrung. Die Betondeckung der Bewehrung im Wasserbereich hat nach den Vorschriften mindestens 5 cm zu betragen. Sie sollte keineswegs geringer sein, auch wenn es vom Statiker gewünscht werden sollte, um nach

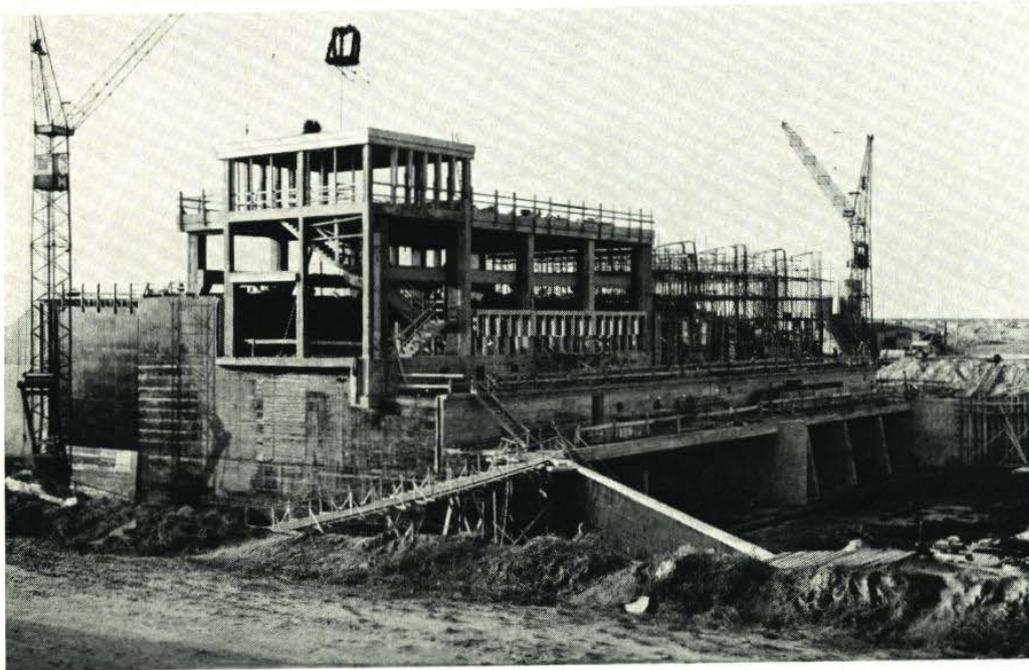


Abb. 14. Stahlbetonbau des Sieles und Schöpfwerkes Knocksiel. Erkennbar sind an der Einlaufseite die beiden Sielläufe und die vier Pumpenöffnungen

Beschädigung oder Abnutzung der Oberfläche eindringendes Wasser von der Bewehrung fernzuhalten und die lange Lebensdauer des Betons zu sichern, denn Rosten der Bewehrung bedeutet Abplatzen des überdeckenden Betons. Auf die Dichtigkeit von Arbeitsfugen ist besonders zu achten. In Neuharlingersiel und Greetsiel sind Fugenbänder eingelegt worden, was jedoch bei den anderen Bauwerken nicht mehr erforderlich erschien und auch keine nachteiligen Folgen gezeigt hat. Der dichte Anschluß des Betons in den Arbeitsfugen ist hier durch sorgfältige Vorbereitung der erhärteten Fläche, Abstemmen und Reinigung mit Druckwasser, erreicht worden.

Für den Beton sind kalkarme oder kalkfreie Hochofenzemente wegen ihrer Beständigkeit gegen aggressive Wässer verwendet worden. Auf die sorgfältige Verdichtung durch Rüttelarbeit, die bei der Verarbeitung eines Betons mit niedrigem Wasserzementfaktor besonders wichtig ist, wurde überall großer Wert gelegt, um die Porenbildung zu vermindern. In einigen Bauwerken ist dem Beton Traß zugesetzt worden, um seine Dichtigkeit und Verarbeitbarkeit zu verbessern. In anderen ist dagegen darauf verzichtet worden, weil der notwendige Feinstkornanteil durch größere Zementzugabe oder durch Zuschlagstoffe abgedeckt war. Vor- und Nachteile des Traßzusatzes können nach den wenigen Jahren jedoch nicht erkannt werden, jedoch muß nach den sonstigen Erfahrungen im Wasserbau angenommen werden, daß der Feinstkornanteil unabhängig von seiner Herkunft entscheidend ist. Betonzusatzmittel anderer Art sind nirgendwo benutzt worden. Jedoch erfordern die großen Betonmassen der hier be-

schriebenen Mündungsbauwerke, die zwischen 3000 m³ und 15 000 m³ betragen, den Zusatz von Verzögerungsmitteln, um beim Betonieren zu vermeiden, daß Fugen durch Aufbringen von frischem auf bereits abgeundenem Beton entstehen.

Bemerkenswert erscheint, daß für die Betonherstellung am Siel und Schöpfwerk Knocksiel ein mineralisches Feinstmehl als Füller zugegeben worden ist. Dieses Material (EFA-Füller) wird aus einer schnell gekühlten Gesteinschmelze hergestellt. Es ist feiner als die handelsüblichen Zemente und besteht aus mikroskopisch kleinen Kugeln. Im Frischbeton kann eine bestimmte Menge des Wassers im Zementleim durch diesen Füller ersetzt werden, wodurch sein Wasseranspruch vermindert wird, so daß mit einem niedrigeren Wasserzementfaktor gearbeitet werden kann. Die Gefahr der Entmischung und das Bluten des Frischbetons werden verhindert. Hinzu kommt, daß dieser Füller ein sehr dichtes Betongefüge ergibt und die Betonfestigkeit erhöht, was vorteilhaft für die Lebensdauer des Betons im Wasser ist.

Nach den in Knocksiel gewonnenen Erfahrungen läßt sich ein Beton, der mit 270 kg/m³ Zement und Zusatz von 80 kg/m³ mineralischem Füller hergestellt wird, sehr gut verarbeiten. Der Transport des Betons mittels Betonpumpe ist auch bei niedrigem Wasserzementfaktor von 0,40—0,45 ohne Schwierigkeiten möglich. Die Abbindewärme ist ebenfalls geringer, was sich im Massenbeton günstig auswirkt und Schwindrisse vermindert. Naturgemäß wird sich erst im Laufe der Jahre herausstellen, wie dieser mit Ausfallkörnung von 0—3 mm und 15—30 mm hergestellte Beton sich bewährt, jedoch lassen die bisherigen Untersuchungen am erhärteten Beton eine hohe Beständigkeit erwarten.

Die Sielwände und Pumpenläufe sind als Sichtbeton hergestellt worden, um eine hydraulisch glatte Oberfläche zu erhalten. Ob diese auch in den Sielläufen notwendig ist, kann in Frage gestellt werden, da innerhalb verhältnismäßig kurzer Zeit sich dort an den Wandungen eine Schlamm- und auch Bewuchsschicht festsetzen, die eine hydraulisch gleichartige Oberfläche ergeben. In den Pumpenläufen, durch die das Wasser mit hohen Geschwindigkeiten strömt, ist dagegen eine glatte Oberfläche erforderlich, um die hydraulischen Wandreibungsverluste klein zu halten.

Oberflächenanstriche verschiedener Art tragen dazu bei, die Poren im Beton zu schließen und ihn zu schützen. Sie sind nicht in allen Fällen hergestellt worden, da die Notwendigkeit des Betonanstrichs umstritten ist. Vergleichbare Erfahrungen über die Eignung von Schutzanstrichen auf Bitumen- oder Kunstharzbasis liegen noch nicht vor. Zu berücksichtigen ist, daß auch eine Schlamm- oder Bewuchsschicht einen Schutz der Betonoberfläche darstellt.

V. Maschinelle Einrichtungen der Mündungsbauwerke

1. Sielverschlüsse

Gegen das Außenwasser wird von jeher eine doppelte Sicherheit durch zwei hintereinander angeordnete Verschlüsse gefordert, so daß schon die Holzsiele und späterhin die Steinsiele mit zweifachen Stemm- oder Schlagtorpaaren ausgerüstet waren. Auf der Binnenseite kam ein Ebbetorpaar hinzu, das bei den noch zahlreich vorhandenen Sielen dieser Bauart normalerweise offen steht und nur geschlossen wird, um einen festgesetzten Binnenwasserstand während Trockenzeiten zu halten.

Die Stemm- oder Schlagtore älterer Bauart schließen und öffnen sich bekanntlich in direkter Abhängigkeit von den wechselnden Außen- und Binnenwasserständen. Erforderlich ist ein statischer Überdruck aus einer Wasserstanddifferenz zwischen außen und binnen oder

umgekehrt, die bis zu 20 cm betragen kann, um den Bewegungsvorgang des Schließens oder Öffnens der Tore einzuleiten. Das bringt bei einsetzendem Flutstrom den Einstrom von sinkstoffhaltigem Außenwasser mit sich, was zu unerwünschten Schlickablagerungen im Binnentief führen kann. Wenn der Ebbeast vor Tideniedrigwasser sehr flach ist, strömt bereits, während an der Oberfläche noch Stauwasser ist, unten schlickhaltiges Seewasser ein. Bis zu lichten Weiten von rund 7 m (WOLTER 1967) erfüllen diese selbsttätig arbeitenden Tore voll ihre Aufgabe. Bei größeren Abmessungen besteht jedoch die Gefahr, daß beim Schließvorgang der Tore Schläge übertragen werden, die im Laufe der Zeit zu Schäden am Sielbauwerk führen können.

Diese Gefahr und die verzögerte Einstellung auf den Flut- und Ebbestrom, die auch zu einer Minderung der Sielzugleistung führt, haben dazu geführt, daß bei den neuen Anlagen die Bewegungsvorgänge elektrisch-hydraulisch gesteuert werden. Mit einsetzender Flut wird durch den Einstrom ein Staupendel ausgelenkt, das die Hydraulik des Torantriebes betätigt, wodurch die Torbewegung gebremst wird, so daß ein Schlagen unterbleibt.

Umgekehrt ist für die Öffnung der Tore zunächst ein Wasserüberdruck binnenseits notwendig, der die Schlagtore etwas aufdrückt. Auf den dann einsetzenden Sielzug spricht das Pendel an und regelt die weitere Torbewegung hydraulisch so, daß sich die Tore weich in die Nischen legen und Stöße auf das Bauwerk unterbleiben.

In Neuharlingersiel wird der Schließvorgang der außen liegenden Schlagtore noch durch Düker'sche Steuerklappen verbessert (KERSTING 1959). Die Stellung der Tore wird durch eine Automatik überwacht, die das in geöffneter Stellung stehende Hubtor betätigt, falls der Schließvorgang der Schlagtore behindert wird. Das Hubtor dient bei dieser Verschlußanordnung sowohl als zweites Fluttor wie als Ebbetor, wofür es nach beiden Seiten dichtend ausgeführt ist.

Der weitere Schritt liegt in der Auslösung des Schließvorganges allein durch das in der Strömung hängende Staupendel. In Accumersiel und Bensorsiel (Abb. 15) sind Schlagtore eingebaut, die völlig in Wandnischen liegen und, da sie nicht durch Abstandshalter von der Wand abstehen, nicht von der einlaufenden Flutströmung erfaßt werden können. Die Verzögerungen beim Schließvorgang mit ihrem unerwünschten Einstrom von schlickhaltigem Wasser fallen hier weg, da das Pendel sehr schnell anspricht und die Schließkontakte auslöst. Durch die Lage der geöffneten Schlagtore in Nischen wird der Sielquerschnitt nicht eingengt und die Durchflußleistung erhöht.

Aus der Steuerungsmöglichkeit der Torbewegungen ergibt sich die in Knocksiel und Sautelersiel (Abb. 6) gewählte Lösung, bei der jede Sielöffnung mit zwei hintereinander liegenden Hubtoren ausgerüstet ist. Das ist für die Unterhaltung sehr günstig, da die Hubtore in hochgefahrner Stellung jederzeit zugänglich sind. Der Schließvorgang wird hier ebenfalls durch die Kontaktgabe des Staupendels bewirkt, während die Öffnungsbewegung durch Differenzbildung zwischen Außen- und Binnenpegel über ein Schaltgalvanometer ausgelöst wird.

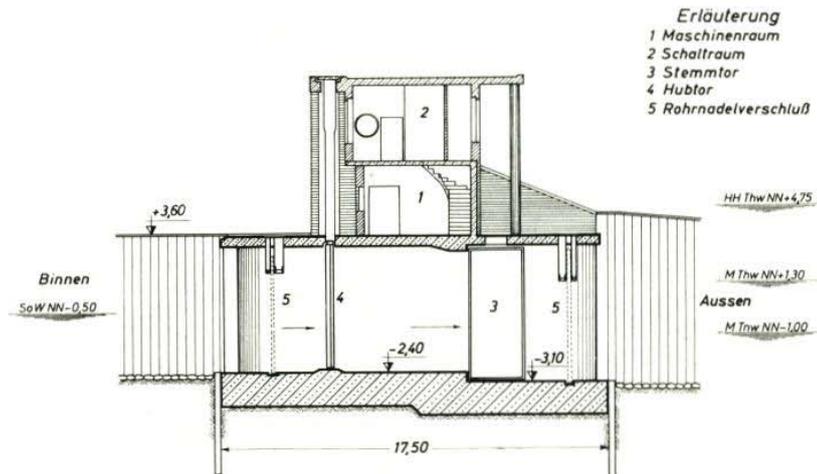


Abb. 15. Längsschnitt des Sieles Bensorsiel

Ein Wechselbetrieb der beiden Hubtore kann geschaltet werden, die demgemäß auch beidseitig dichtend sind, um nach außen oder innen das Wasser zu kehren.

Da jede elektrische Steuerung und hydraulische Betätigung gestört werden kann, wenn auch, wie die Erfahrung zeigt, die Betriebssicherheit außerordentlich groß ist, so muß doch durch ausreichend vorhandene und erprobte Warn- und Signalanlagen vorgesorgt werden, um bei etwaigem Versagen den Sielwärter zu alarmieren. Eine Signalanlage spricht schon bei Stauwendelauslenkung, d. h. bei einsetzendem Flutstrom an, unabhängig davon, wie der Schließvorgang verläuft. Bei einer Unterbrechung des elektrischen Stromes tritt selbsttätig ein Notstromaggregat in Tätigkeit. Wenn auch dieses versagt, schließt das Tor sich selbsttätig, wobei die Sperren durch einen Schwachstrom-Batteriesatz gelöst werden. Kann das normalerweise betriebene äußere Tor infolge eines Hindernisses im Siellauf nicht geschlossen werden, so wird über ein Zeitrelais das andere in Wartstellung stehende Tor geschlossen.

Die Tore der hier behandelten Sielbauwerke sind ausschließlich aus Stahl hergestellt worden, da sie wegen ihrer großen Abmessungen (Tabelle 1) in Holzbauweise zu schwer sind. Durch Verzinkung und mehrschichtige Kunstharzanstriche, die sich bewährt haben, wird ein hoher Rostschutz erreicht. Der große Vorteil der Hubtore ist – wie bereits erwähnt – ihre einfache Unterhaltung, denn sie brauchen nur hochgefahren zu werden, um von allen Seiten zugänglich zu sein. Die Herausnahme der Schlagtore ist erheblich schwieriger, da die oberen Lager ausgebaut werden müssen, um sie mittels eines Kranes anheben zu können. Wenn das Maschinenhaus den Siel- und Schöpfwerksteil gemeinsam überdeckt, kann hierfür der Deckenkran benutzt werden, der für Montage und Unterhaltung von Toren und vor allem Pumpen notwendig ist. Das Gebäude hat den Vorteil, alle Einrichtungen unter einem Dach zu haben (Abb. 16). Seine Innenraumhöhe ist so zu bemessen, daß der Ausbau der Schlagtore und im Falle eines Versagens auch ein Herausheben der Hubtore möglich ist. Zweckmäßig ist der Einbau von Krananlagen mit elektrischem Katzaufzug, da ein Ausbau der tonnenschweren Maschinenteile mit einem Kran, der nur von Hand betrieben wird, sehr schwierig und zeitaufwendig ist.

Der hydraulische Torantrieb bewährt sich vor allem in vom Maschinenhaus überdeckten Sielläufen, in denen sich auch bei tiefen Temperaturen die Tore bewegen lassen, da die Wärme des Gebäudes ein Einfrieren der Torantriebe verhindert. Die Betriebssicherheit der hydraulischen Antriebe ist heute so groß, daß auf andere Bewegungsarten, wie in Harlesiel auf einen Seilzug für Hubtore, verzichtet werden kann. Um eine lange Haltbarkeit der Kolbenstangen in den Hydraulikzylindern zu gewährleisten, sind sie aus Remanit zu fertigen, denn solche mit Chromauflage haben sich im Seewasser nicht bewährt. Außerdem sind Schmutzabstreifer und automatische Schmiereinrichtungen für die Kolbenstangen an den Hydraulikzylindern anzubringen.

Auch Hubtore mit ungünstigen Abmessungen, d. h. eine große Breite im Verhältnis zur Höhe, sind nur mit einem Hubzylinder ausgerüstet. Zwei Hubzylinder und damit zwei Angriffspunkte am Hubtor setzen eine Gleichlaufeinrichtung voraus, die störanfällig sein kann, so daß Verklemmungen der Tore eintreten. Alle Hubtore, auch die in Knocksiel mit 11,5 m Breite und 4,0 m Höhe, sind daher an einem Zylinder aufgehängt.

Erwähnt sei hier, daß bei Zahnstangenantrieben für Schlagtore herkömmlicher Bauart wie in Leybuchtziel darauf zu achten ist, daß sie nicht von Hochwasser oder nur sehr selten benetzt werden, weil sie sonst sehr viel Pflege und Unterhaltung erfordern. Nach sorgfältiger Auswahl und konstruktiver Gestaltung dürften auch andere Antriebsarten für Sielverschlüsse wie Seilzüge mit Trommelauflage, Kettenantriebe, wobei Ketten gewöhnlicher Fertigung oder GALLSche Ketten in Spezialfertigung als Druck- und Zugorgan und andere Systeme verwendet werden können, genügend betriebssichere Sielverschlüsse ergeben. Jedoch werden der Bauauf-

wand und die Unterhaltung größer als bei hydraulischen Antrieben sein, so daß diese die insgesamt günstigste Lösung beim heutigen Stand der Technik darstellen dürften.

Für Instandsetzungsarbeiten im Siellauf und Ausbau der Tore sind Notverschlüsse außen und binnen erforderlich. Bewährt haben sich bei den großen Abmessungen Rohrnadeln, die

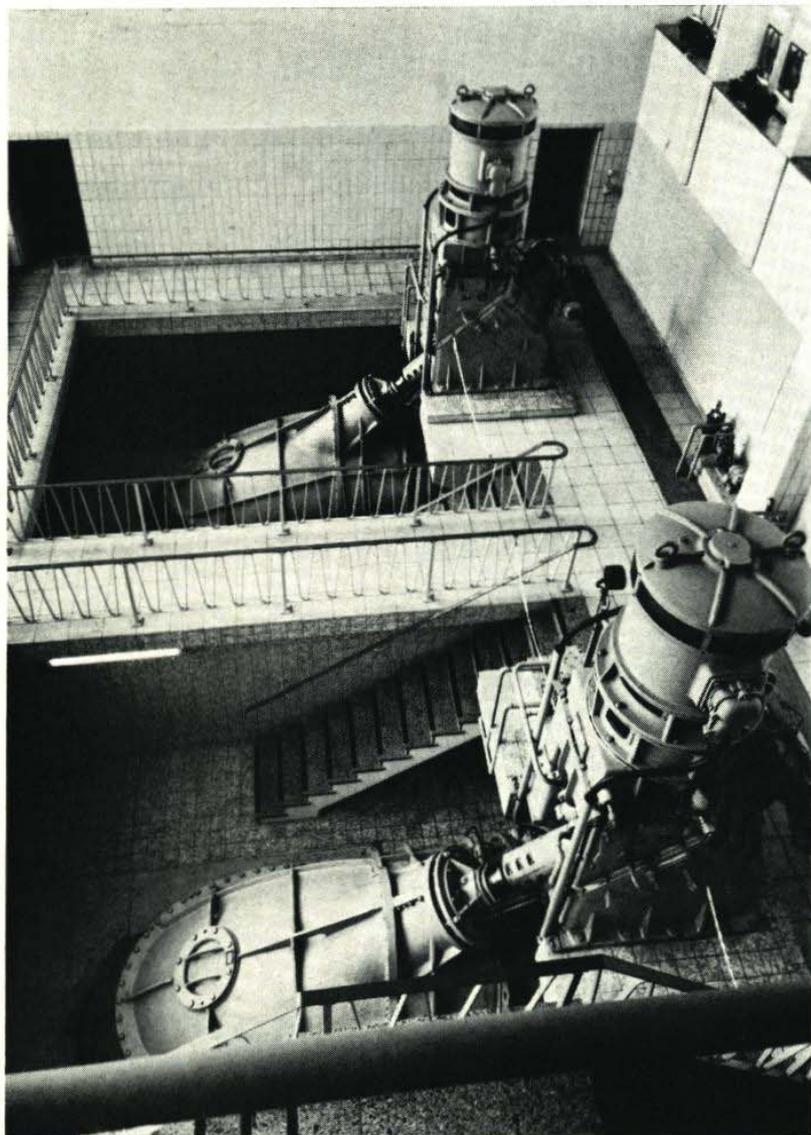


Abb. 16. Innenaufnahme des Sieles und Schöpfwerkes Neu-harlingersiel. Die Schrägpumpen sind über Winkelgetriebe mit senkrechtstehenden Antriebsmotoren verbunden

aus Stahl oder seewasserbeständigem Leichtmetall hergestellt werden. Um die Rohrnadeln leichter handhaben zu können, sind sie an den Enden zu schließen, so daß sie im Wasser einen gewissen Auftrieb haben. Doppel-T-förmige Leichtmetall-Profile, die mit Profilnasen ineinander fassen, für Notverschlüsse zu verwenden, haben sich als ungünstig erwiesen, da sich damit eine ausreichende Dichtigkeit nur schwer erreichen läßt.

2. Pumpenaggregate und zugehörige Einrichtungen

Die Förderleistung der Schöpfwerke beträgt bis zu 50 m³/s bei mittlerer geodätischer Förderhöhe (Tabelle 1), wobei die einzelne Pumpe 12,5 m³/s leistet. Die Schöpfwerkspumpen stehen vertikal (Abb. 7) oder liegen schräg (Abb. 17). Für die Wahl der Pumpenart sind vor

allem bauliche Gesichtspunkte maßgebend. Schrägpumpen erfordern ein breiteres Maschinenhaus als Vertikalpumpen; die Gründungstiefe ist ebenfalls unterschiedlich. Die Platzfrage ist wie im Schöpfwerk Greetsiel, wo nur wenig Raum binnenseits des Deiches verfügbar war, wesentlich.

Die Anzahl der Pumpen und ihre Anordnung in den Schöpfwerken geht aus der Zusammenstellung (Tabelle 1) hervor. Ebenfalls sind dort die Leistungen bei verschiedenen Förderhöhen angegeben, wie auch die Pumpendurchmesser. Bei der Auswahl der Pumpentypen und -größen sollten Bau- und Beschaffungskosten der Maschineneinrichtung sowie die Betriebskosten in Vergleich gesetzt werden. Je höher die Betriebsstundenzahl der Pumpen ist, um so mehr schlagen die Betriebskosten gegenüber den Anlagekosten zu Buch.

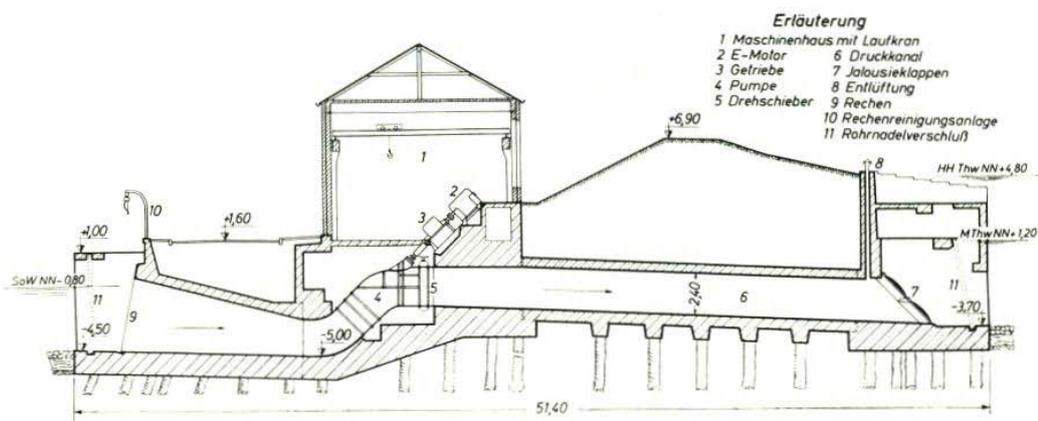


Abb. 17. Längsschnitt des Pumpenlaufes Leybuchtziel mit schrägliegender Pumpenaggregat

Den günstigsten Wirkungsgrad hat jede Pumpentype nur bei einer bestimmten Schaufelstellung und Drehzahl, so daß zur Anpassung an die wechselnden geodätischen Förderhöhen Schaltgetriebe vorgesetzt und die Pumpen mit Verstellpropellern ausgerüstet sind. Die Schaufelradverstellung von flach auf steil und umgekehrt ermöglicht während des Pumpbetriebes neben einem weichen Anlaufen des Pumpenaggregates auch eine gute Anpassung an die Förderhöhe. Der Pumpenbetrieb ist dadurch im optimalen Wirkungsbereich möglich, wozu ebenfalls über das Schaltgetriebe regelbare Drehzahlen beitragen. Im Schöpfwerk Sautelersiel wird die Pumpendrehzahl ohne Zwischenschaltung von Getrieben mittels drehzahlveränderlicher, langsamlaufender Asynchron-Schleifringläufermotoren verändert. Im Schöpfwerk Harlesiel waren ursprünglich feste Propeller eingebaut, deren Ersatz durch Verstellpropeller dann zu höheren Förderleistungen führte.

Schrägliegende Pumpen erfordern ausreichend bemessene Wellenlager und eine zuverlässige Lagerschmierung, da die unteren Lagerschalen am stärksten belastet sind. Während die Pumpengehäuse aus Stahlguß bestehen, können die Propellerschaufeln auch aus Bronze hergestellt werden, jedoch dürfte nach den vorliegenden Erfahrungen V2A-Stahl oder Stahlguß vorzuziehen sein.

Die Pumpen werden in allen Schöpfwerken von Elektromotoren angetrieben; lediglich eine der drei Pumpen des Schöpfwerkes Harlesiel hat einen Dieselantrieb, der als Sicherheit bei Stromausfall dienen soll. Durch Stromeinspeisung über zwei oder auch drei unabhängige Zuleitungen, wie sie in allen Schöpfwerken vorhanden ist, bleibt bei Ausfall einer Leitung der Pumpbetrieb erhalten. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, daß damit die Stromzuleitung allen Betriebsanforderungen genügt und auf den mit höheren Betriebs- und Unterhaltungskosten belasteten Dieselantrieb verzichtet werden kann.

Als Antriebsmotoren werden ausschließlich asynchronische Drehstrom-Motoren verwendet, bei denen es sich, mit wenigen Ausnahmen in Neuharlingersiel und Greetsiel, um Hochspannungsmotoren mit 6 kV handelt. Um bei den großen elektrischen Leistungen von bis zu 2400 kW in Knocksiel unliebsame Stromstöße im Versorgungsnetz zu vermeiden, werden Schleifringläufer bevorzugt. Da jedoch auch diese Motorenart Stromstöße beim Anlaufen eines Schöpfwerkes nicht ganz verhindert, verlangt der Stromlieferant eine schalttechnische Verblockung der Motoren, so daß sie nur nacheinander angefahren werden können. Zu berücksichtigen ist auch, daß die Antriebsmotoren oft nur mit halber oder noch geringerer Nennleistung gefahren werden, so daß der $\cos. \varphi$ sehr schlecht ist. Weil der Blindstrom bezahlt werden muß, wenn er nicht durch Kondensatoren ausgeglichen wird, sind solche in allen Schöpfwerken eingebaut.

Als Verschlüsse gegen Hochwasser sind auch in den Pumpenläufen doppelte Absperrorgane vorzusehen, wovon eines selbsttätig wirken muß. Drehklappen sind bei Schrägpumpen als Verschuß unmittelbar vor der Pumpe wegen ihres geringen Platzbedarfes und ihrer günstigen Einbauweise geeignet. Sie werden mit dem Anlaufen der Pumpen hydraulisch geöffnet, wobei darauf zu achten ist, daß die Öffnungsbewegung der Klappenkörper dem Förderstrom der Pumpe angepaßt ist. Wenn die Einstellung so ist, daß die Klappe vom Förderstrom zusätzlich aufgestoßen wird, ergibt sich beim Abstellen der Anlage, daß das zurückflutende Wasser von außen her die Klappe in Schließstellung bringt und die Dichthaltung verbessert. An den Vertikalpumpen in Greetsiel sind noch Keilflachschieber mit außenliegender Spindel und elektrischem Antrieb eingebaut. Schieber mit innenliegenden Gewindespindeln sind infolge der Verschmutzung durch Wasser innerhalb verhältnismäßig kurzer Zeit unbrauchbar, da die Spindeln festsitzen, so daß der Schieber sich nicht mehr oder nur noch mit großer Anstrengung öffnen und schließen läßt.

Die äußeren selbsttätig arbeitenden Schnellverschlüsse sind in den meisten Fällen Klappen. In Greetsiel und Leybucht siel werden große Einzelklappen durch hydraulische Huborgane beim Pumpbetrieb in Öffnungsstellung gefahren, um das Druckrohr voll freizugeben. Beim Schließen werden die Klappen hydraulisch gebremst, wodurch besonders bei großer Förderhöhe harte Schläge auf das Auslaufbauwerk vermieden werden. In Harlesiel (Abb. 7) ist seinerzeit von äußeren Klappen abgesehen worden, weil durch deren Schlagen beim Schließen — besonders bei großer Förderhöhe — Schäden am Bauwerk befürchtet wurden. Der Einstrom von Außenwasser wird durch das in Heberform ausgebildete Druckrohr verhindert, welches jedoch im Pumpbetrieb hydraulisch ungünstig ist. Weitere Druckkanäle dieser Art sind daher nicht ausgeführt worden.

Vor großen Pumpen sind auch Jalousieklappen zweckmäßig, die keinen zusätzlichen hydraulischen Antrieb erfordern. Die Ausstromöffnung wird entweder von zwei übereinanderliegenden oder von vier mit einem Stegkreuz unterteilten Klappen geschlossen. Diese Hohlklappen sind durch Ölfüllung so ausgewogen, daß sie im Pumpenstrom leicht aufschwimmen und nur einen geringen hydraulischen Verlust erzeugen, der nach Angaben der Herstellerfirmen weniger als 10 cm betragen soll.

Im Schöpfwerk Knocksiel sind als äußere Abschlußorgane Schnellschlußschütze eingebaut, die hydraulisch betätigt werden und sich bei Ausfall des Stromes selbsttätig schließen. In den Schützen sind zusätzliche Klappen notwendig, da beim Anlaufen des Pumpenaggregates nicht gegen das geschlossene Schütz gepumpt werden kann, wozu mehrere Minuten Öffnungszeit benötigt werden. Beim Hochfahren des Schnellschlußschützes schließen sich die Klappen selbsttätig.

Im Scheitel der Druckrohrleitungen und unmittelbar hinter den Rückschlagklappen sind Entlüftungen notwendig. Diese Entlüftungsöffnungen sind mit Rückschlag-Dichtklappen zu versehen, da sonst beim Pumpbetrieb Luft angesaugt wird, wobei die Heberwirkung gestört und damit die Förderleistung der Pumpen beeinträchtigt wird.

Ein Vergleich der Pumpeneinrichtung in den Schöpfwerken zeigt, daß für die gleiche Aufgabenstellung verschiedene Lösungen in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten entstanden sind. Sie sind unter Berücksichtigung der jährlichen Betriebs- und Unterhaltungskosten sowie der Anlage- und Investitionskosten jedoch unterschiedlich zu bewerten (SAALFELD und KASPEROWSKI 1965). Danach sind selbst bei großen Förderströmen Schöpfwerke mit vertikalen Pumpen wirtschaftlich und wartungsgünstig herzustellen, was mancher Anschauung, nach der Schrägpumpen am wirtschaftlichsten sind, widerspricht.

Nach den hier gewonnenen Erfahrungen dürften sich wirtschaftliche und beim heutigen Stand der Pumpentechnik betriebssichere Lösungen durch Unterwasserpumpen anbieten. Für kleine und auch mittlere Förderströme sind sie bereits ausgeführt worden, wobei das Problem

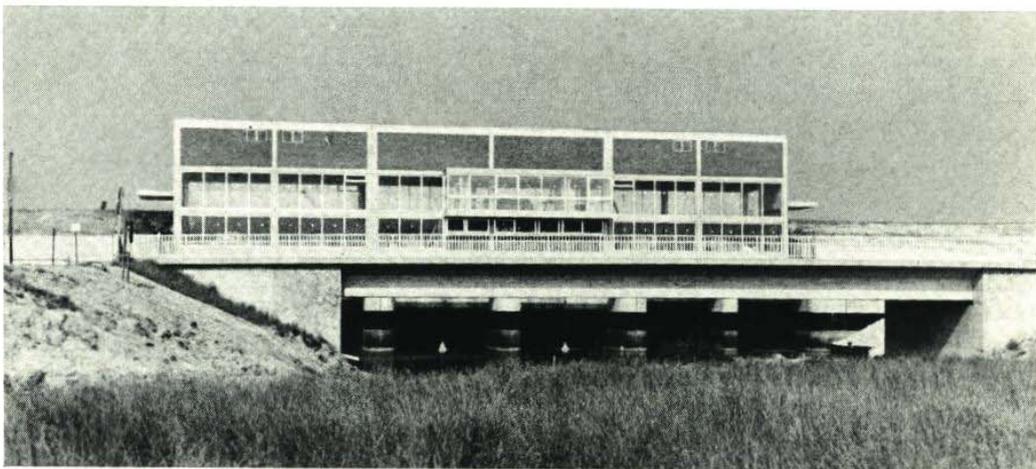


Abb. 18. Aufnahme des Mündungsbauwerkes Sautelersiel von der Binnenseite; davor Straßenbrücke, unterhalb der die mittleren Sieleinläufe und seitlichen Pumpeneinläufe erkennbar sind

in der Kontrolle und der Wartung der eingetauchten Pumpensätze liegt. Als besonders strömungsgünstig bei großen Fördermengen und sehr kleinen Förderhöhen könnte auch eine Propeller-Rohrpumpe mit horizontaler Welle und einem außerhalb untergebrachten Antriebsmotor angesehen werden. Leistungsfördernd bei dieser Pumpenart ist die geradlinige Wasserführung, bei der Umlenkverluste vermieden werden. Der Gesamtwirkungsgrad der Anlage wird hierdurch nicht unerheblich verbessert. Gegenwärtig werden bereits die ersten Aggregate dieser Art an anderer Stelle eingebaut.

Die Außen- und Binnenwasserstände werden in das Schöpfwerk übertragen und übereinander aufgezeichnet, so daß jederzeit die geodätische Förderhöhe erkennbar ist und entsprechend den nach Versuchen und Berechnungen vorgegebenen Pumpenkennlinien die Drehzahl und Schaufelstellung eingestellt werden kann. Gemessen wird ebenfalls die Wasserstandsdifferenz am Rechen, der den Pumpenöffnungen vorgesetzt ist. Bei einer Verstopfung des Rechens steigt das Gefälle über eine zulässige Grenze, oberhalb der die Rechenreinigungsanlage sich automatisch einschaltet und der Rechen wieder freigemacht wird, wie es bei den neuesten Anlagen in Sautelersiel und Knocksiel der Fall ist. An den älteren Schöpfwerken, wie in Harlesiel, fehlen Rechenreinigungsanlagen noch; an den anderen Schöpfwerken werden sie von Hand gesteuert. Ihr Einbau vermindert die Pumpkosten merkbar.

Der Betrieb der hochwertigen Pumpenaggregate erfordert ein umfangreiches Steuer- und Überwachungssystem, welches sich schon darin ausdrückt, daß z. B. im Siel und Schöpfwerk Sautelersiel (Abb. 18) rund 6 km Schaltkabel notwendig sind. Die Sielverschlüsse und Schöpfwerkspumpen werden von einem zentralen Schaltraum aus bedient, in dem auf einem Steuer-

pult die Symboldarstellungen der verschiedenen Betriebsvorgänge zusammengefaßt sind. Durch umfangreiche Sicherungen und Blockierungen ist dafür gesorgt, daß Schäden durch unrichtige Bedienung vermieden werden. So kann beispielsweise eine Pumpe erst dann angefahren werden, wenn vorher durch Fettpumpen der nötige Fettdruck in den Pumpenlagern hergestellt ist. Auch werden die Temperaturen der Motoren überwacht und führen zu selbsttätigen Abschaltungen, falls die betrieblich zulässigen Grenzen überschritten werden.

Die Bedienung dieser umfangreichen und wertvollen maschinellen Anlagen setzt entsprechend qualifiziertes Personal voraus. Dessen Aufgabe hat vor allem die Überwachung, die Instandhaltung und die Beseitigung einfacher Störungen zu sein. Schäden an Pumpen, Getrieben, Motoren und Verschlüssen sind dagegen nur durch Spezialisten der Lieferfirmen zu reparieren, da die Schöpfwerkswärter nicht über entsprechend vielseitige Kenntnisse und auch Werkzeuge verfügen können, die zu deren Beseitigung notwendig sind.

VI. Schlußbetrachtung

Die in Ostfriesland fertiggestellten Siele und Schöpfwerke haben die Entwässerung bereits erheblich verbessert, was sich bei den starken Niederschlägen in jüngster Zeit vorteilhaft ausgewirkt hat. Wenn die Mündungsbauwerke Knocksiel und Sautelersiel ab Ende 1968 bzw. Anfang 1971 betrieben werden, können auch die am tiefsten liegenden Gebiete Ostfrieslands ausreichend entwässern. Der Ausbau der Binnengewässer ist dann noch zu vervollständigen und der Leistungsfähigkeit der Siele und Schöpfwerke anzupassen, um das Binnenwasser Ostfrieslands voll beherrschen zu können.

Aus der Darstellung der mit der Planung und Bauausführung von Sielen und Schöpfwerken verknüpften Probleme geht hervor, daß in deren konstruktiven und betrieblichen Gestaltung sich eine Weiterentwicklung abzeichnet, daß aber ein vergleichbarer Fortschritt in den Grundlagen für die hydraulische Bemessung der Sielquerschnitte und der Pumpenleistung nicht zu erkennen ist. Die heute bekannten Bemessungsverfahren sind entweder zu sehr auf Annahmen angewiesen, um genügend zuverlässig zu sein, oder rechnerisch zu unhandlich, um benutzt zu werden. Unter Ausnutzung elektronischer Rechenverfahren ist es heute jedoch möglich, auch ein verzweigtes Binnengewässernetz zu bearbeiten, was aber wiederum genaue Kenntnisse über die Verteilung von Niederschlag, Versickerung und Verdunstung im Einzugsgebiet voraussetzt. Diese werden daher zunächst untersucht werden müssen, um zu exakten Berechnungen zu kommen. Auf die allein aus der Erfahrung abgeleiteten Beziehungen für die Bemessung von Sielen und Pumpen müßte dann verzichtet werden können. Eine Überdimensionierung der Mündungsbauwerke auf Grund dieser Erfahrungswerte besteht jedoch keinesfalls, wie in letzter Zeit die Notwendigkeit, große Abflussmengen zu bewältigen, bewiesen hat.

VII. Schriftenverzeichnis

- Franzius-Institut der TH Hannover: Modellversuche für das Schöpfwerk Accumersiel. Unveröffentlichter Bericht, Hannover 1965.
- KERSTING, W.: Neuharlingersiel, Schöpfwerks-, Siel-, Hafens-, Straßen- und Hochwasserschutzbauten auf engstem Raum. Wasser und Boden, Jg. 11, 1959, H. 12.
- KÖRITZ, D.: Untersuchung des Neuharlingersielers Außentiefs 1954/55. Jahresbericht 1955 der Forschungsstelle Norderney, Bd. VII, 1956.
- KRAMER, J.: Zustand und Veränderungen des Greetsieler Außentiefs. Jahresbericht 1954 der Forschungsstelle Norderney, Bd. VI, 1955.

- KRAUSE, G.: Wasserwirtschaft in Ostfriesland. Tagungsheft der Wasser- und Kulturbauingenieure, Aurich 1959.
- LIESE, R.: Die Ermittlung der Abflußspende in der tidebeeinflußten Marsch. Deutsch. Gew. Mitt., Sonderheft 1960.
- LUCK, G.: Zur Gestaltung von Schöpfwerkspfeilern. Wasser und Boden, Jg. 17, 1965, H. 11.
- MÜLLER, E. u. MÜLLER-SPÄTH, W.: Beitrag zur Entwässerung der Marsch. Die Küste, Jg. 13, 1965.
- MÜLLER, E. und MÜLLER-SPÄTH, W.: Berechnung der natürlichen Entwässerung in den Küstenmarschen. Die Küste, H. 16, 1968.
- RAGUTZKI, G.: Beitrag zur Gründung von Schöpfwerken nach den Ergebnissen von Sohldruckmessungen. Jahresbericht 1965 der Forschungsstelle Norderney, Bd. XVII, 1966.
- SAALFELD, K. und KASPEROWSKI, E.: Ein Vergleich von Propellerpumpen mit senkrechter oder mit schrägliegender Welle. KSB, Technische Berichte, 1965, H. 10.
- WOLTER, R.: Ingenieurbauten im Küstengebiet. BWK, Landesverband Niedersachsen, Berlin und Bremen, 5. Lehrgangsbericht, 1967.

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

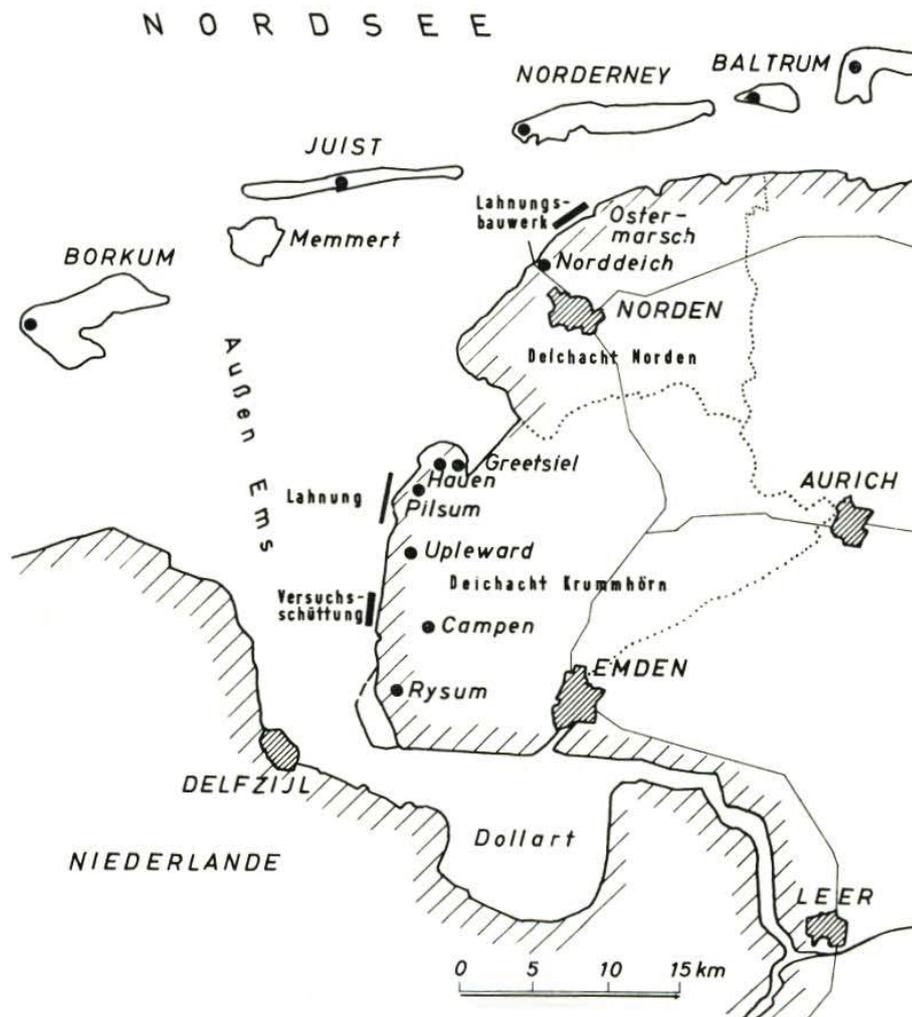


Abb. 1. Übersichtsplan mit Eintragung der Baustellen

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

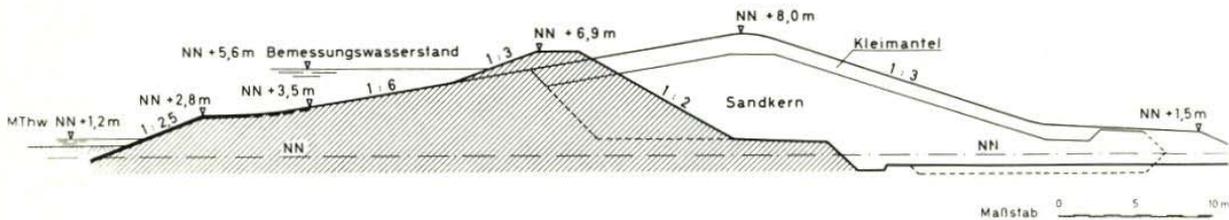


Abb. 2. Querschnitt des Hauptdeiches an der Außen-Ems bei Campen mit Eintragung der geplanten Deichverstärkung

+ 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

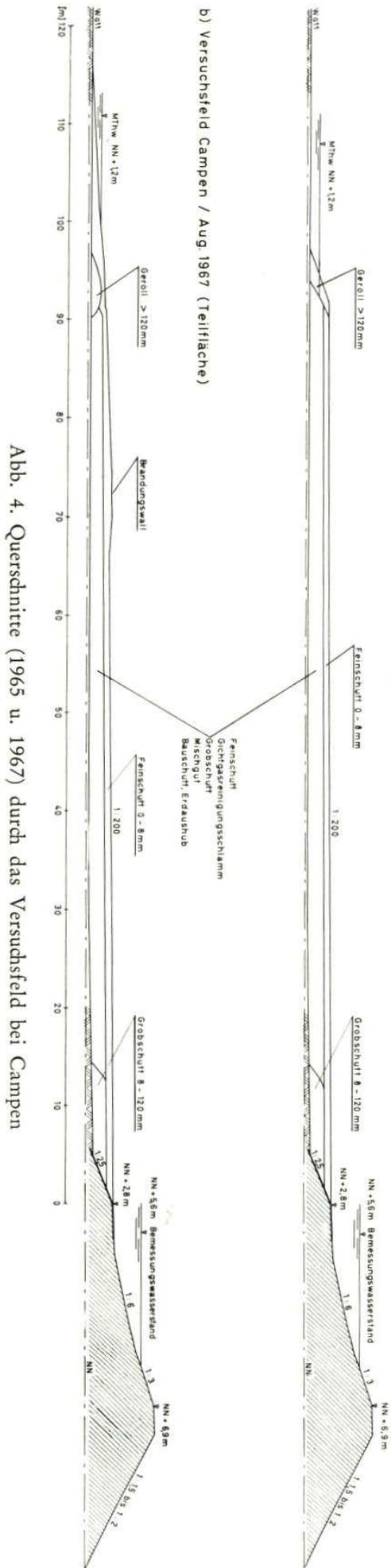


Abb. 4. Querschnitte (1965 u. 1967) durch das Versuchsfeld bei Campen

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

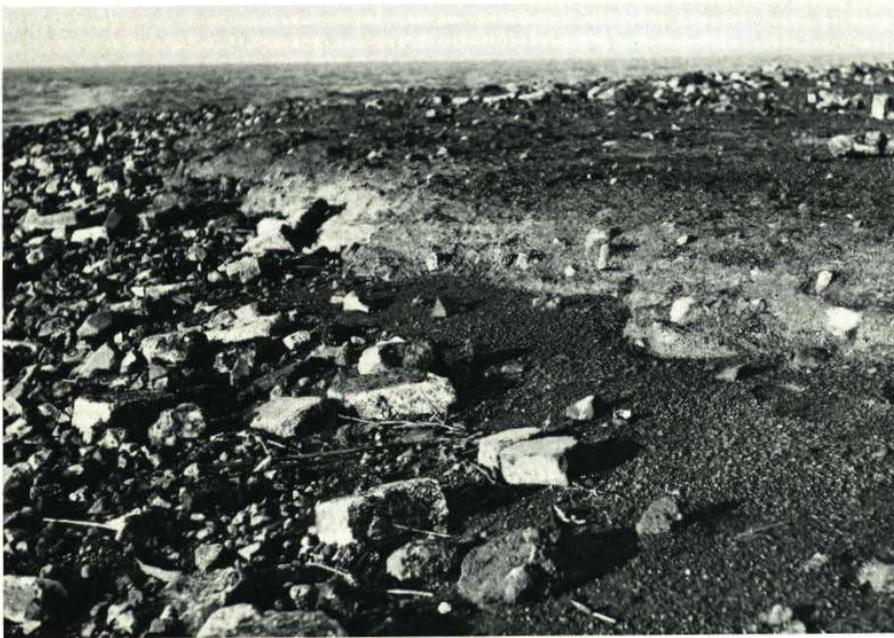


Abb. 5
Seeseitige Böschung der
Versuchsschüttung bei
Campen

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-

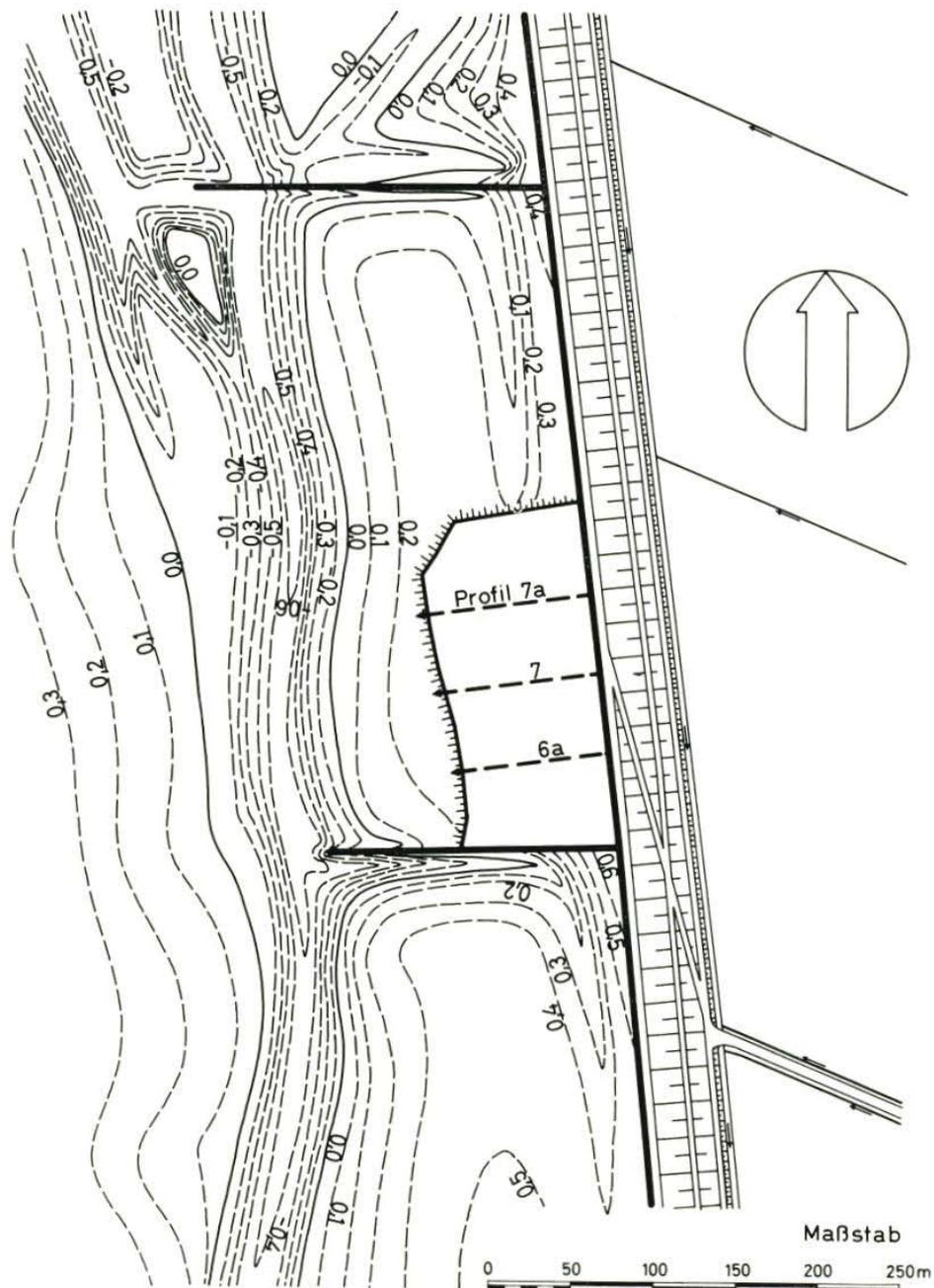


Abb. 6. Lageplan des Versuchsfeldes bei Campen (s. Abb. 1)

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

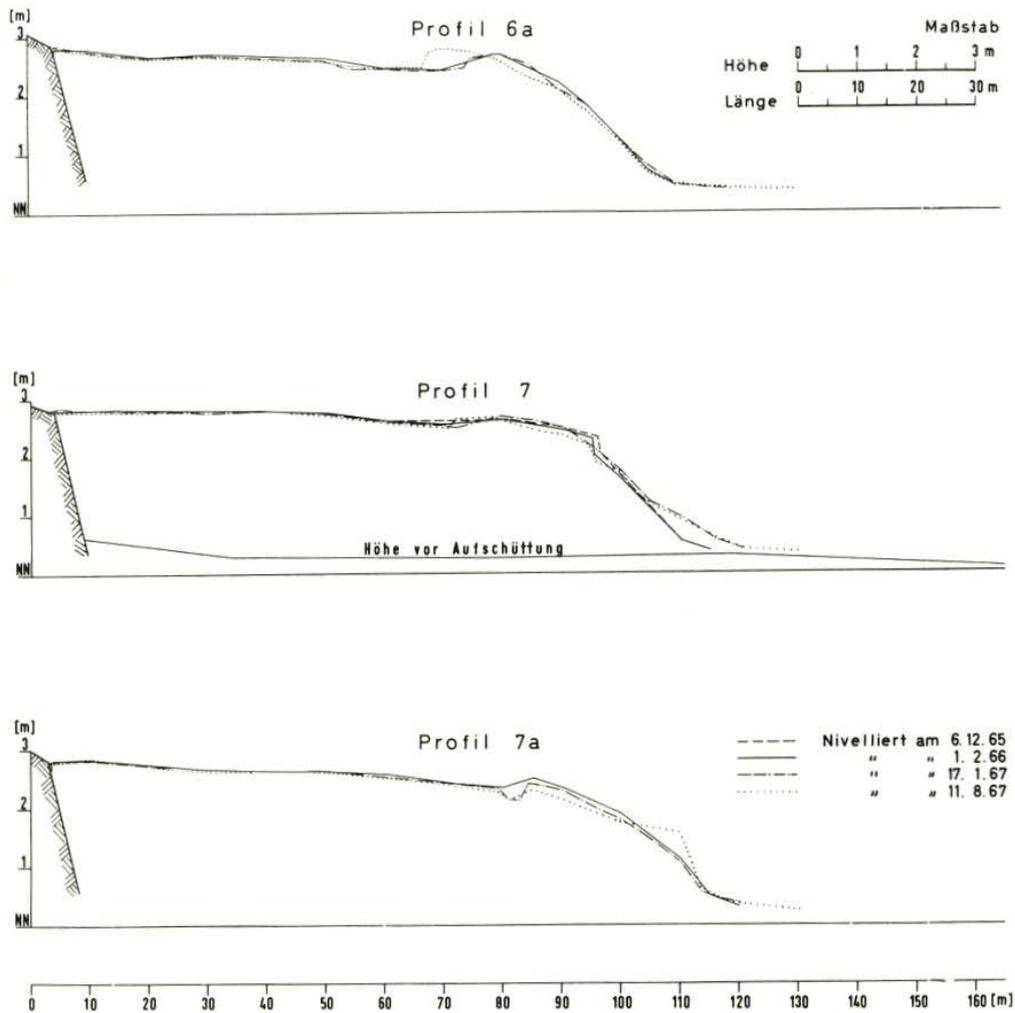


Abb. 7. Profile des Versuchsfeldes bei Campen (Lage der Profile s. Abb. 6)

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 verharrete 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.

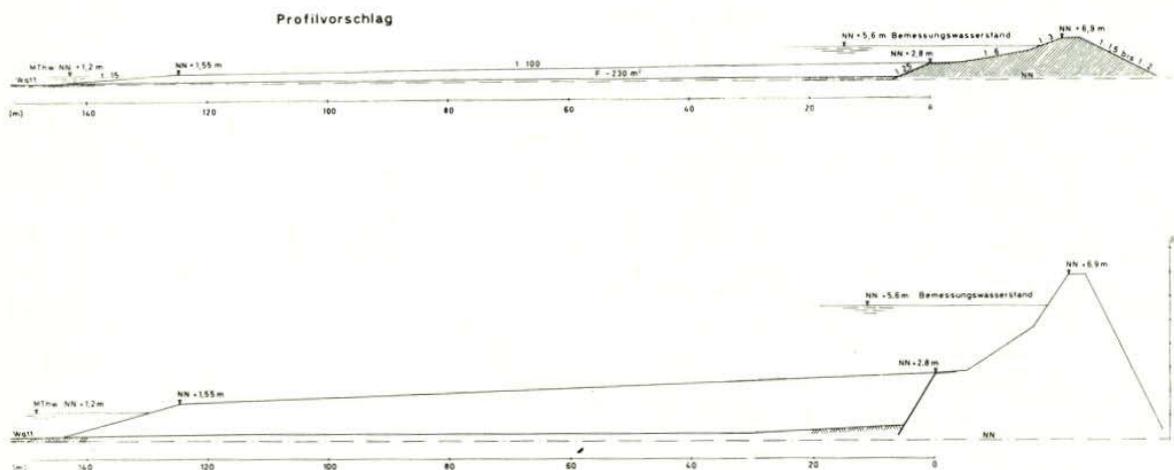


Abb. 8. Vorschlag für die Profilierung der Aufschüttungsfläche vor dem Campener Hauptdeich (oben unverzerrt, unten vierfach überhöht gezeichnet)

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 Prielien 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

Das Watt vor der Spülfläche wird durch die Bodenentnahme verändert

Der Ablauf der Bagger- und Aufspülarbeiten sowie insbesondere der Bau des Spüldammes werden von Wetter- und Tideverhältnissen beeinflusst

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

Auf der aus reinem Wattsand aufgebauten Spülfläche können bis zur Abdeckung mit Kleiboden Verwehungen auftreten

Materialumlagerungen durch strömendes und brandendes Wasser treten auf dem begrünnten Vorland nicht auf

Die volle Widerstandsfähigkeit der Aufspülungsfläche wird erst mit der Begrünung nach einiger Zeit erreicht

Im Jahre können etwa 4 bis 5 km aufgespült werden

Öffentliche Straßen und Wege werden nicht benutzt

Die Widerstandsfähigkeit des begrünnten Vorlandes bleibt im Laufe der Zeiten unverändert

Das Vorland erfordert laufende Unterhaltungs- und Pflegearbeiten am Grünland, an den Entwässerungsgräben und am Uferdeckwerk

Aufschüttung von Verhüttungsrückständen

Das Watt vor der Aufschüttungsfläche bleibt unberührt

Die Aufschüttungsarbeiten sind vom Wetter weniger abhängig

Das Schüttprofil kann bei gleichbleibenden Eigenschaften der Verhüttungsrückstände in der am wirksamsten erscheinenden Form hergestellt werden

Nennenswerte Verwehungen treten nicht auf

Bei der Aufschüttung von Verhüttungsrückständen können durch strömendes und brandendes Wasser Materialumlagerungen auftreten

Die erreichbare Widerstandsfähigkeit wird bereits während des Einbaues erzielt

Der Baufortschritt der Aufschüttung ist von den hüttenseitigen Liefermöglichkeiten abhängig. Zur Zeit abschätzbar ist eine Deichsicherung von etwa 1,5 km/Jahr

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 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)

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 Wellenauflauf 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 Hüttenerschutt ist teurer als ein unklassierter Querschnitt aller Verhüttungsrückstände) und von der Abnahmemenge insofern, als eine Grundmenge klassierten Hüttenerschutts verkäuflich ist, die Überschussmenge jedoch auf Kosten der Hütte untergebracht werden muß.

Aus den unterschiedlichen Voraussetzungen ergeben sich entsprechend gestaffelte Preise:

- | | |
|---|-----------|
| a. Hüttenerschutt, 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-

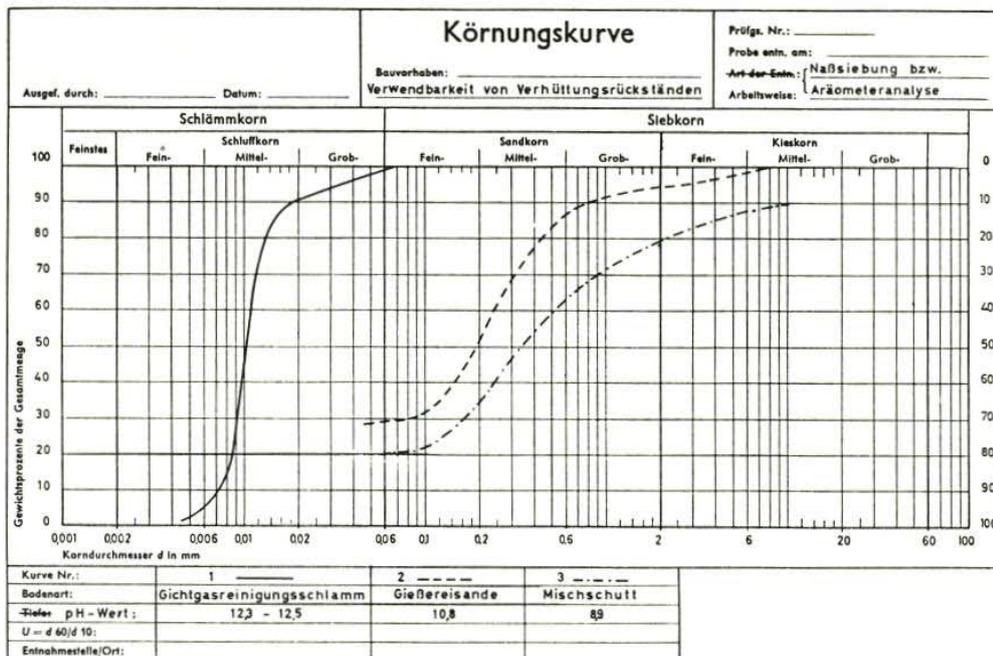
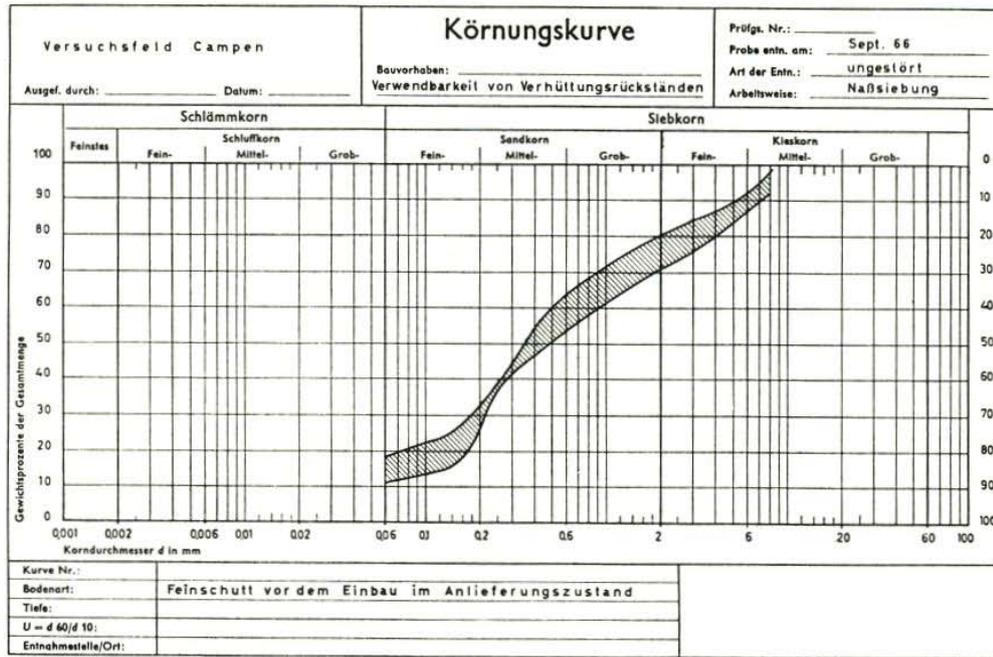


Abb. 9 und 10. Korngrößenverteilung der eingebauten Verhüttungsrückstände

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

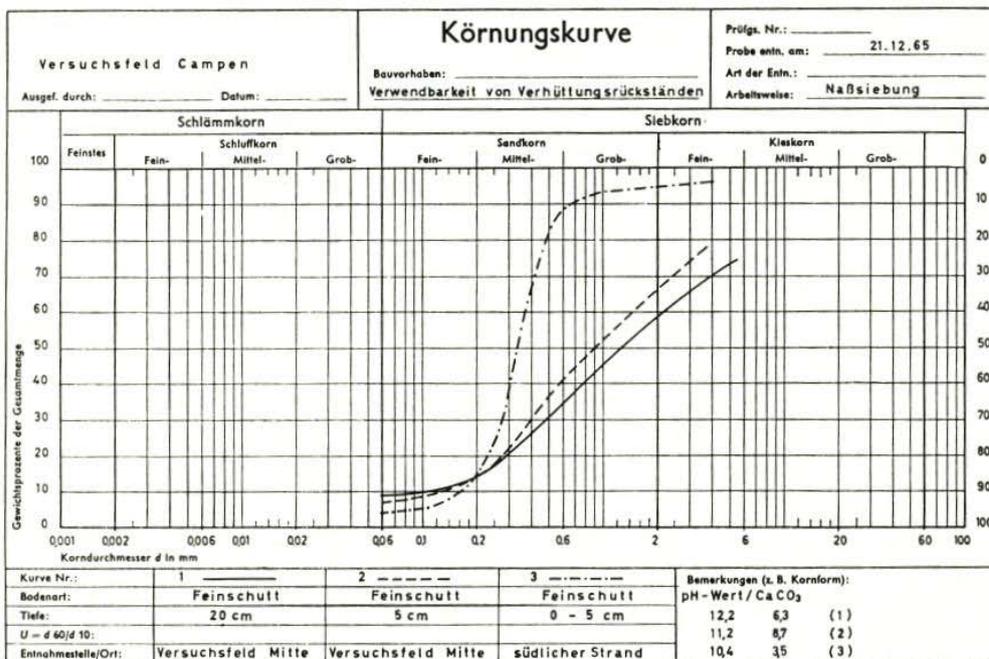
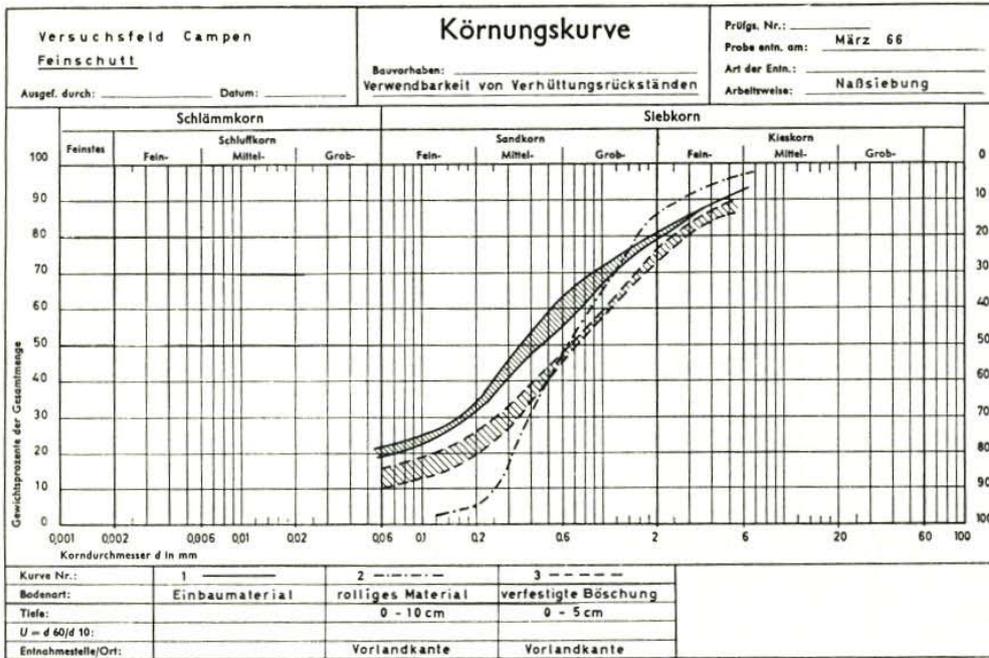


Abb. 11 und 12. Korngrößenverteilung des Oberflächenmaterials (Feinschutt) nach Verfestigung oder Umlagerung im Vergleich zum Einbauzustand

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.

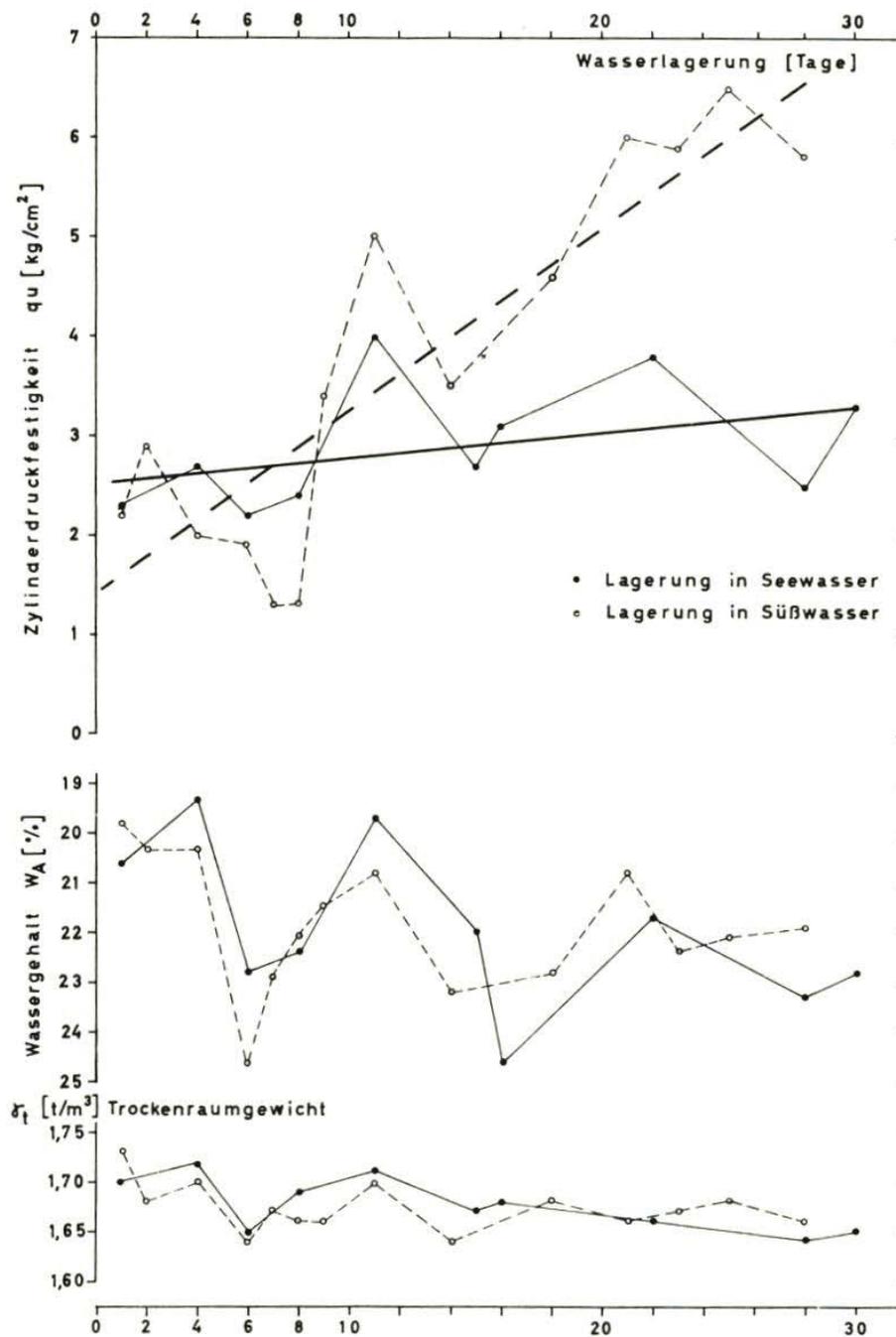


Abb. 13. Verfestigungswerte des Feinschuttes nach Zylinderdruckversuchen

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 see-seitigen 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 Verkittung 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

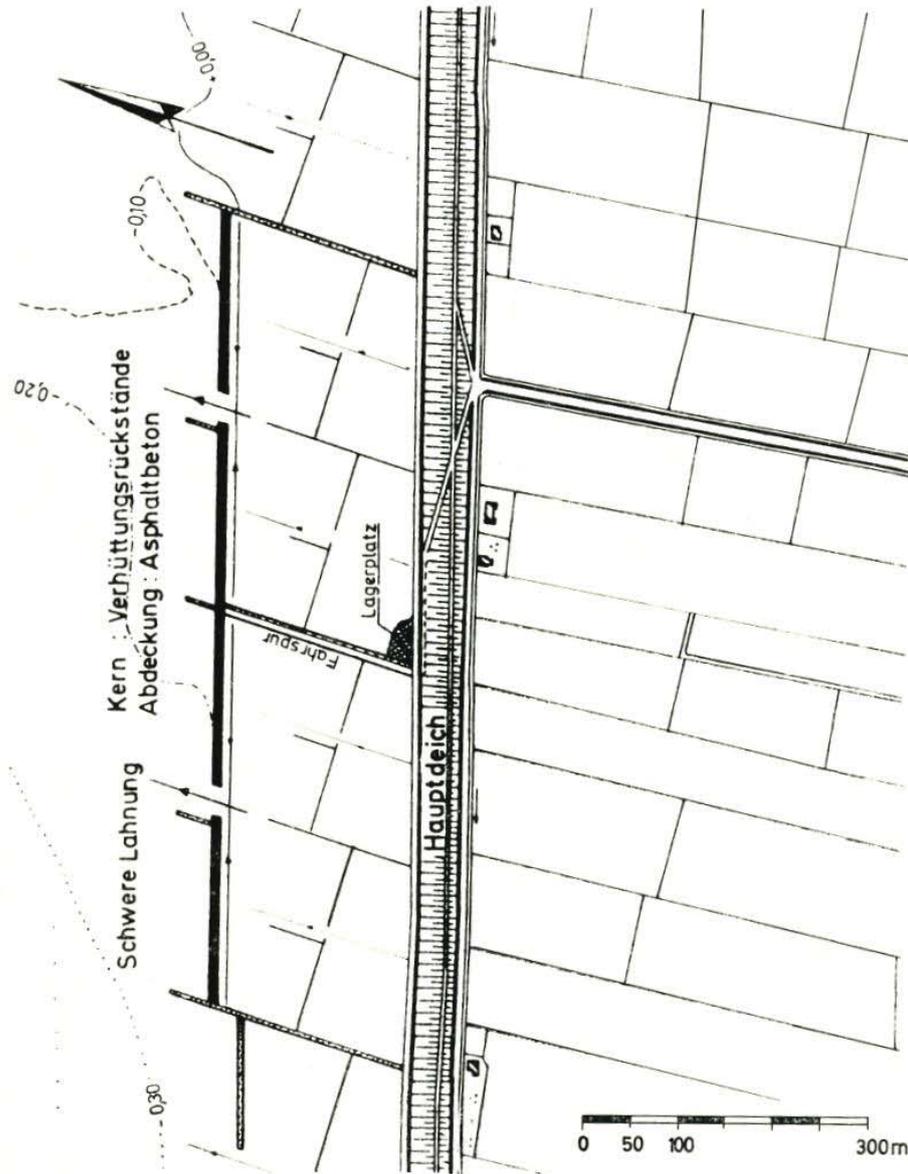


Abb. 14. Lageplan der Lahnungsbaustelle bei Ostermarsch (s. Abb. 1)

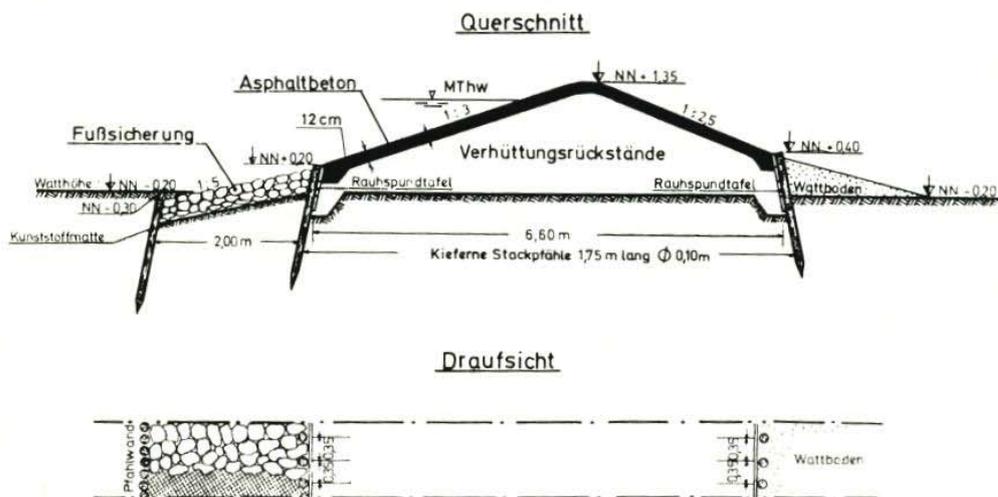


Abb. 15. Regelprofil der Lahnung bei Ostermarsch

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

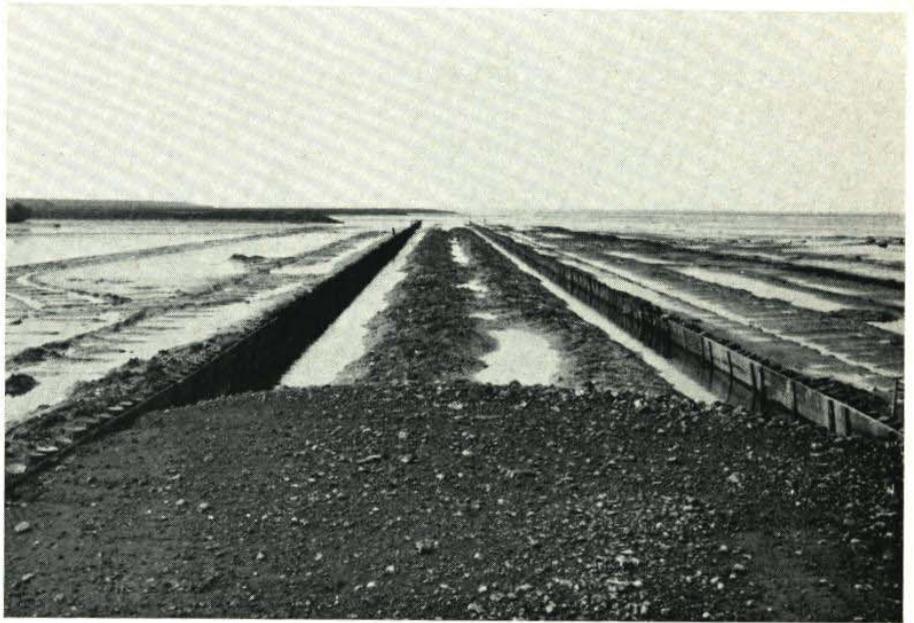
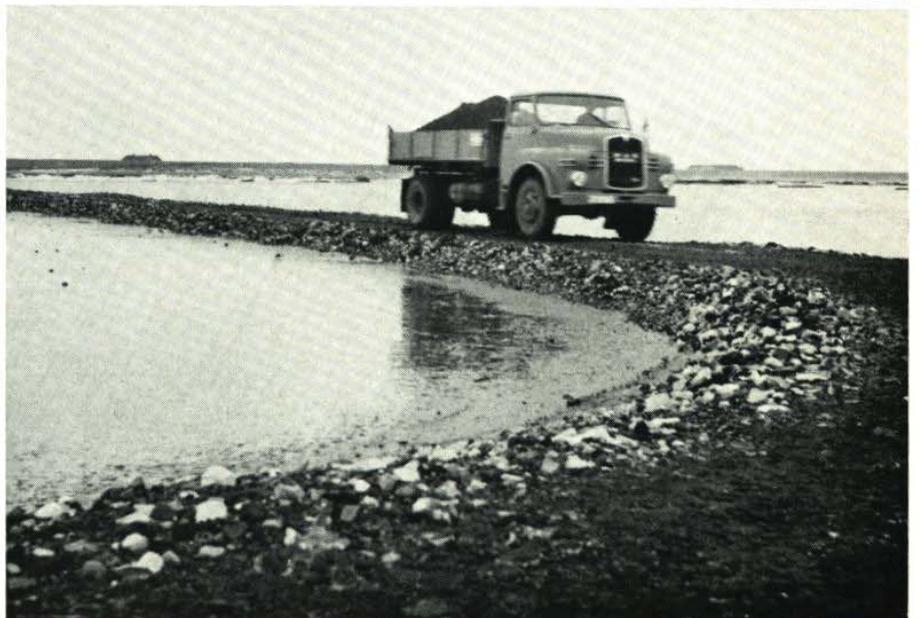


Abb. 17
Einbau der Asphalt-
betonschicht (Oster-
marsch)



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 Lahnungstraße 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.

