

# Das deutsche Schrifttum über Seebuhnen an sandigen Küsten

Von Marcus Petersen

## Inhalt

I. Einleitung . . . . .	1
II. Zur Methodik . . . . .	2
1. Das Sammeln des Schrifttums . . . . .	2
2. Das Sichten des Schrifttums . . . . .	3
III. Chronologische Folge von Veröffentlichungen über Seebuhnen . . . . .	5
1. Vom Beginn des Buhnenbaues bis 1900 . . . . .	5
2. Bauzeit 1900 bis 1920 . . . . .	13
3. Bauzeit 1920 bis 1930 . . . . .	17
4. Bauzeit 1931 bis 1945 . . . . .	21
5. Bauzeit 1945 bis 1960 . . . . .	33
IV. Erfahrungen über die Wirkung von Seebuhnen . . . . .	44
1. Allgemeines . . . . .	44
2. Ergebnisse aus der Durchsicht des Schrifttums . . . . .	45
a. Anlaß für den Bau von Seebuhnen . . . . .	45
b. Strombuhnen und Strandbuhnen . . . . .	45
c. Buhnenformen . . . . .	46
d. Buhnenlänge . . . . .	46
e. Höhenlage des Buhnenrückens . . . . .	46
f. Buhnengruppen, Lee-Erosion und Abstand der Buhnen . . . . .	47
g. Streichlinie . . . . .	47
h. Baustoffe . . . . .	48
i. Künstliche Sandzufuhr . . . . .	48
j. Kosten . . . . .	48
V. Folgerungen: Messen und untersuchen! . . . . .	49
VI. Schriftenverzeichnis . . . . .	50
1. Verzeichnis des Schrifttums über Seebuhnen . . . . .	50
2. Verzeichnis küstenmorphologischer Schriften . . . . .	54

## I. Einleitung

Die Funktion von Seebuhnen als Mittel zum Schutz von sandigen Küsten ist ein bis in die Gegenwart hinein umstrittenes Problem geblieben.

Die Küsten der Erde verändern sich dauernd, Felsenküsten weniger, sandige Küsten mehr. Die natürlichen Veränderungen der sandigen Küsten pendeln in kürzeren Zeitabständen um ein bestimmtes, örtlich und zeitlich verschiedenes Maß. Es gibt Küstenabschnitte, die — auf lange Sicht gesehen — zur Verlandung neigen und andere, die abgetragen werden. Zur Zeit einer Beobachtung kann eine Neigung zum langfristigen Küstenrückgang zusammentreffen mit der gleichgerichteten Tendenz zum vorübergehenden natürlichen Pendeln (z. B. Zustand nach Sturmfluten); dann ist oft schwer vorauszusehen, wie sich der Strand im Laufe längerer Zeit von Natur aus entwickeln wird.

Mit diesem Problem haben sich immer mehr für den Küstenbau verantwortliche Ingenieure auseinandergesetzt. Die Eingriffe des Menschen in das labile natürliche Gleichgewicht,

insbesondere an sandigen Küsten, sind mit den wachsenden Ansprüchen auch umfangreicher geworden. Heute kann an vielen Küstenabschnitten schon nicht mehr festgestellt werden, ob ein Gewinn oder Verlust an Land

- a) auf einen natürlichen, örtlich und zeitlich bedingten Pendelausschlag um eine Mittellage,
- b) auf eine natürliche, großräumige Tendenz oder
- c) auf einen Eingriff des Menschen

zurückgeführt werden muß. Daß die Vorstellungen über die Wirkung von Seebuhnen in Fachkreisen nicht immer die gleichen sind und auch heute noch sehr weit voneinander abweichen, ist daher durchaus verständlich.

Angesichts der Höhe der Aufwendungen erscheint es notwendig, das deutsche Schrifttum systematisch durchzuarbeiten, um herauszufinden, welche Mitteilungen über Wirkungen der Seebuhnen und über Erfahrungen mit ihnen von Bedeutung sind und welche Ergebnisse als eindeutig belegt gelten können. Wir beschränken uns dabei auf die Arbeiten, die im Schrifttum allgemein zugänglich sind und nachgelesen, geprüft und beurteilt werden können. Bisher nicht veröffentlichte Aufzeichnungen in den amtlichen und privaten Archiven bleiben unberücksichtigt. Auf die sehr umfangreiche ausländische Literatur<sup>1)</sup> wird, um den Rahmen dieser Untersuchung nicht zu sprengen, nur gelegentlich hingewiesen. Auch im Ausland fehlt es nicht an stark voneinander abweichenden Beurteilungen.

## II. Zur Methodik

### 1. Das Sammeln des Schrifttums

Die ersten Seebuhnen in Deutschland wurden in den Jahren 1818 bis 1821 gebaut. Die ersten Veröffentlichungen hierüber liegen rund hundert Jahre zurück. Sie befinden sich in Handbüchern und in etwa vierzig verschiedenen Zeitschriften.

Außer den Ingenieurarbeiten gibt es zahlreiche Veröffentlichungen von Geographen, Geologen, Ozeanographen, Heimatkundlern usw., in denen gewisse Zustände und Ereignisse für unsere Untersuchung mehr oder weniger brauchbar beschrieben oder in denen Zusammenhänge und Entwicklungen mitgeteilt worden sind.

Alle diese Arbeiten ergeben zusammen mit den Abhandlungen derjenigen Ingenieure, die sich mit Fragen der Küstenforschung beschäftigen, das Rüstzeug für die ebenfalls noch junge Wissenschaft der Küstenmorphologie. Küstenbau und Küstenmorphologie stehen also in einer sehr engen Beziehung zueinander. Der einzelne Fachmann vermag aber weder alle Spezialgebiete noch sämtliche Neuerscheinungen lückenlos zu verfolgen. Deshalb erscheint es zweckmäßig, daß er sich an Hand von Übersichten überzeugt und prüft, ob oder wie weit seine Ansicht noch mit den neuesten Erkenntnissen in Einklang zu bringen ist.

Eine bemerkenswerte Übersicht über die morphologischen Arbeiten gibt VALENTIN (1952) in seinem Buch „Die Küsten der Erde“. Weil darin aber nur wenige Aufsätze mit bautechnischen Problemen verarbeitet worden sind, fehlt für unsere Fragestellung ein wesentlicher Teil. Deshalb soll mit dieser Untersuchung versucht werden, diese Lücke zu schließen.

<sup>1)</sup> Einige Autoren seien hier für alle genannt: ABECASIS (Portugal), BRUUN (USA und Dänemark), MINIKIN (England), DE ROUVILLE (Frankreich), SCHIJF (Holland), ZENKOVITCH (Rußland).

## 2. Das Sichten des Schrifttums

Um eine klare Gliederung zu schaffen, wurde das deutsche Schrifttum über Seebuhnen sowohl chronologisch (S. 5—43) als auch nach Stoffgebieten (S. 44—49) geordnet.

Regionale Unterscheidungen der einzelnen Küstenabschnitte wurden notwendig wegen der ungleichen Lage an einem gezeitenlosen Binnenmeer, der Ostsee, und an einem durch Ebbe und Flut charakterisierten Randmeer, der Nordsee<sup>2)</sup>. In der Ostsee sind die Küstenströmungen im allgemeinen gering, während die Gezeitenströme der Nordsee eine periodische Bewegung der Wasserkörper verursachen. Die Strömungen werden dort noch verstärkt, wo die Füllung und Entleerung des Wattenraumes durch sogenannte Stromgaten oder Wattströme und durch Flußmündungen stattfindet.

Zu beachten ist auch die Lage zur Hauptwindrichtung und zur Hauptsturmrichtung. Die schleswig-holsteinische Ostseeküste erstreckt sich nahezu von Nord nach Süd, während die mecklenburg-pommersche Küste fast rechtwinklig dazu von West nach Ost verläuft. Ähnlich liegt die schleswig-holsteinische Nordseeküste zur niedersächsischen Küste.

Die Buhnen in den Wattengebieten wurden außer Betracht gelassen, weil ihre Aufgabe darin besteht, eine Küstenströmung vom Lande abzudrängen und fernzuhalten. Sie befinden sich in mehr oder weniger schlickigen Gebieten, also nicht an rein sandigen Küsten. Wir beschränken uns daher an der Nordseeküste auf diejenigen Seebuhnen, die am äußeren Wattesaum, meist auf Düneninseln, angeordnet wurden.

Unterschiede bestehen auch zwischen Strandabschnitten mit starker küstenparalleler Tide- oder Driftströmung ohne und mit Brandung und denen mit Brandung ohne starke Tide- oder Driftströmung. Die Brandung allein erzeugt nicht selten eine küstenparallele „Brandungsströmung“, deren Intensität die der Tide- und Driftströmungen weit übersteigt.

Die chronologische Ordnung des Schrifttums ermöglicht einen Einblick in die Folge der erschienenen Arbeiten. Zunächst fanden sich nur verhältnismäßig wenige Berichterstatte über den Bau und die Wirkung von Seebuhnen, weil noch wenige Anlagen vorhanden waren und entsprechend auch nur wenige Beobachtungen und Erfahrungen gesammelt werden konnten. Während des ersten Weltkrieges (1914 bis 1918) wurden die Veröffentlichungen auf Jahre unterbrochen. Länger dauerte die Unterbrechung, die durch den Krieg 1939 bis 1945 und die darauf folgenden Jahre entstand.

VON GOTTHILF HAGEN stammt die erste Mitteilung über seine Versuche mit Seebuhnen an der Ostseeküste (1863). Reisen über Holland, Belgien, Frankreich, England nach Italien und anderen Ländern hatten den Altmeister der deutschen Wasserbaukunst in den Stand gesetzt, andere Wasserbauwerke, Hafenanlagen und Küstenverhältnisse zu sehen, zu studieren und sie mit den heimatlichen Gegebenheiten zu vergleichen. HAGEN war ein ausgezeichnete Beobachter, der systematisch experimentierte und mit ungewöhnlichen mathematischen Kenntnissen ausgerüstet war. Seine Beobachtungen, Untersuchungsergebnisse und Erfahrungen behielt er nicht für sich, sondern legte sie in gedruckter Form der Fachwelt vor. Wesentliche Teile seines Handbuchs haben noch heute Gültigkeit. HAGEN kannte noch den Naturstrand. Er scheute sich nicht, seine Versuchsanlagen abbrechen zu lassen, wenn sie den Erwartungen nicht entsprachen.

Bis zum XV. Internationalen Schiffahrtskongreß 1931 in Venedig, wo die „Verteidigung der Küsten gegen das Meer an Küsten mit und ohne vorwiegende Sinkstoffführung“ zur Dis-

<sup>2)</sup> Bei der Besprechung der einzelnen Arbeiten wurden die behandelten Küstenabschnitte in der Überschrift mit dem Namen des Verfassers und dem Erscheinungsjahr angegeben. Fehlt die Kennzeichnung der Lage, so ist der Beitrag allgemeingültig dargestellt.

kussion stand, hatten im Laufe der Zeit etwa 35 deutsche Wasserbauingenieure rund fünfzig Abhandlungen zu diesen Fragen veröffentlicht. SCHMIDT, R. und HEISER, H. stellten die deutschen Erfahrungen für den Kongreß zusammen. Daß dieser Bericht bei den Erörterungen in Venedig eine wichtige Rolle gespielt hat, geht aus einem Vergleich mit dem Schlußbericht von COEN CAGLI (1931) hervor. Mehrere deutsche Autoren fanden den von ihnen bereits beschrittenen Weg, systematische Untersuchungen im Küstenbereich durchzuführen, als richtig bestätigt. Dieser Weg wurde nun zum Teil mit ministerieller Förderung in verstärktem Maße weiter beschritten. Wenn bis heute noch keine allgemein gültigen Regeln für den Bau von Seebuhnen entwickelt werden konnten, so ist das ein Zeichen für die Schwierigkeiten, die mit der Klärung eines derart komplexen Problems verbunden sind.

Um sich über den Stand der Arbeiten ein zuverlässiges Bild machen zu können, wurden sie ebenfalls nach dem Stoff fachlich geordnet.

Die einfachste und oft angetroffene Form der Veröffentlichung ist die Beschreibung einer Buhne. Es handelt sich dann meist um die Mitteilung, wie die Buhne oder Buhnen-Gruppe gebaut wurde, welche Baustoffe verwendet, welche Abmessungen gewählt worden sind und welche Erfahrungen bei der Baudurchführung gesammelt werden konnten. Wir finden auch gelegentliche Angaben darüber, weshalb der Bau überhaupt, weshalb er gerade in der beschriebenen Weise geplant wurde, wie die Anlage gewirkt hat. Solche Angaben sind dann allerdings nur bedingt brauchbar, wenn sie unmittelbar nach Fertigstellung gemacht wurden, weil zu einer objektiven Beurteilung einer Wirkung im allgemeinen mindestens zehn bis zwanzig Jahre erforderlich sind. Vorher kann meistens nicht mit einem Einpendeln auf eine natürliche Mittellage gerechnet werden<sup>3)</sup>.

Erläutert der jeweilige Berichtersteller über die vorgenannte Beschreibung hinaus morphologische Beobachtungen über Umlagerungen des Strandes unter und über dem Wasser, über Strömungen, Wasserstände, Sturmfluten, Windbeobachtungen usw., so gewinnt der Aufsatz an Wert, und dies um so mehr, je zuverlässiger die Beobachtungen sind, d. h. wenn sie auf Messungen beruhen; denn die Messungen sowohl in der Natur als auch am Modell sollten systematisch angesetzt, durchgeführt, aufbereitet und im Hinblick auf das Ganze ausgewertet werden.

Beiträge mit Erfahrungen über die Bewährung und über die Wirkung der Buhnen können nur nach langjähriger Beobachtung verfaßt werden. Positive Feststellungen werden verständlicherweise gern mitgeteilt, nicht dagegen unerwartete Fehlwirkungen. Manche blieben aus persönlicher Rücksichtnahme ungeschrieben; es blieb nicht aus, daß sie später doch aufgedeckt wurden. Aus Fehlern jedoch können wir lernen. Je eher man sie erkennt, desto früher lassen sie sich abstellen, indem die Bauwerke geändert werden.

Prüfen wir die einschlägigen Standardwerke (Hand- und Taschenbücher) daraufhin, was darin über Seebuhnen geschrieben wurde, so fällt auf, daß alle Verfasser einige Bauwerke beschreiben und fast alle auch küstenmorphologische Angaben machen. Brauchbare Darstellungen finden wir bei HAGEN, G. (1863), FRANZIUS, L. (1884), GERHARDT, P. (1900), SCHULZE, F. W. O. (1911), ENGELS, H. (1914) und FRANZIUS, O. (1927). Da eine planmäßige Entwicklung ausblieb, fehlen Mitteilungen von Erfahrungen mit den Bauwerken und über deren Wirkungen bei FOERSTER (1928), SCHLEICHER (1949) und in der HÜTTE III (1956), aber auch

<sup>3)</sup> Wertvolle Hinweise über die Herstellung sind auch von Baustoff-Firmen mitgeteilt worden. Das geschieht besonders neuerdings seitens der Bitumenindustrie, die Baustoffe absetzen und deren zweckmäßige Anwendungsweise betonen möchte. Wenn jedoch solche Aufsätze über günstige Wirkungen von Seebuhnen berichten, so sollten sie wegen der kurzen Beobachtungsdauer mit entsprechender Einschränkung zur Kenntnis genommen werden.

PROETEL (1921), SYMPFER (1921) und PRESS (1958 und 1959) äußern sich zu unserem Problem nur spärlich.

Mancher Hinweis findet sich in den Jahresberichten der Wasserbauverwaltung, die seit 1926 in der Zeitschrift „Die Bautechnik“ veröffentlicht werden, und der Wasserwirtschaftsverwaltungen von Niedersachsen und Schleswig-Holstein; diese erscheinen seit 1952 in „Wasser und Boden“ und geben meist sehr gedrängte Übersichten, so daß für die Seebuhnen — wenn überhaupt — nur wenig Platz bleibt.

Umfangreichere Abhandlungen kamen nach dem oben erwähnten XV. Internationalen Schiffahrtskongreß 1931 heraus, als die neu eingerichteten Forschungsstellen an der Nordseeküste in Büsum, Husum und Norderney ihre Untersuchungsergebnisse bekannt gaben (z. B. LORENZEN [1938 und 1939/40] und BACKHAUS [1939/40]).

Untersuchungen an der mecklenburgischen und pommerschen Ostseeküste wurden vom Meeresgeologischen Institut der Universität Kiel (WASMUND 1939) durchgeführt.

Etwa zehn Jahre später richteten die beteiligten Verwaltungen eigene Untersuchungsstellen für verschiedene Abschnitte der Ostseeküste, für die Insel Sylt und für die in die Nordsee mündenden Flüsse ein.

In diesen Forschungs- bzw. Untersuchungsstellen bemühte man sich um eine enge Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Naturwissenschaftlern.

### III. Chronologische Folge von Veröffentlichungen über Seebuhnen

In diesem historischen Überblick werden die Beiträge zum deutschen Schrifttum über Seebuhnen und einige für die Entwicklung bemerkenswerte Ereignisse erläutert. Insbesondere wird es als notwendig erachtet, die unterschiedlichen Ansichten über die Aufgaben der Seebuhnen zu beleuchten und Erfahrungen mitzuteilen. Zu diesem Zweck kann auf eine auszugsweise Wiedergabe der Originaltexte nicht verzichtet werden. Auch gewisse Wiederholungen mögen in Kauf genommen werden.

#### 1. Vom Beginn des Buhnenbaues bis 1900

##### PLENER (1856), Nordsee, Ostfriesische Inseln

Wasserbaudirektor PLENER wird oft im Schrifttum zitiert; deshalb sollen hier einige Gedanken aus seinen „Bemerkungen über die Ostfriesischen Inseln, in geognostischer und hydrotechnischer Beziehung“ vorangestellt werden. Nach allgemeinen Notizen über den Ursprung der Inseln und Dünen erläutert er die Vorteile, welche die Inseln für die Erhaltung und Vergrößerung des Festlandes gewähren. Ein Abschnitt behandelt die „Abnahme der Inseln und die zu ihrer Erhaltung anwendbaren Mittel“. Die Gefahr, die die Annäherung der Seegaten bedeutet, sei erkannt, aber „ohne unverhältnismäßigen Kostenaufwand kann man dem Wellenschlag bei hohen Fluten keine feste Schutzwehr entgegenstellen“. Daher müsse man sich auf die Beseitigung von Ein- und Durchbrüchen der Dünen und auf Pflanzungen beschränken. Wegen der Beweglichkeit der Inseln spricht PLENER sich gegen eine Vereinigung der Inseln mit dem Festlande aus.

HAGEN, G. (1863), Ostsee-Nordsee, Wangerooge, Holland,  
Frankreich, England

Die ersten Seebuhnen an der Ostseeküste ließ G. HAGEN auf der Insel Ruden etwa im Jahre 1843 als Versuchsbuhnen bauen, um „einzelne besonders bedrohte und dem Abbruche ausgesetzte Ufer durch Einbaue zu schützen“ (III 2, S. 75).

Bevor er mit diesem Versuch begann, hatte er holländische, französische und englische Küsten bereist, die Anordnung und Konstruktion von Küstenschutzwerken besichtigt und sich über Erfahrungen mit Seebuhnen von den dortigen Fachleuten berichten lassen. Darüber finden wir u. a. folgende Mitteilungen:

„Die große Annäherung des tiefen Stromschlauches wurde (III 2, S. 66) ... für das Ufer selbst höchst bedenklich, und man sah sich daher gezwungen, dasselbe noch durch mehrere andere Einbaue zu schützen. ... Die sehr bedeutenden Mehrkosten, welche eine größere Länge veranlaßt haben würde, machten diese Abweichung nothwendig, doch nahm man darauf Rücksicht, daß die Köpfe der neuen Werke eine angemessene Streichlinie bildeten. Bei der Ausführung wurde von der Anwendung dichter Pfahlwände und von Holzkisten ganz abgesehen und dafür Strauchkonstruktionen mit Steinbedeckung gewählt ... Auf der westlichen Seite des Hafens Dieppe führte man fünf solcher Einbaue aus, die den mit dem Fluthstrome antreibenden Kies vor dem Hafen auffangen sollten. Diese Werke (*épis*) werden sehr sorgfältig unterhalten. Ihre Länge mißt etwa 300 Fuß, und ihr gegenseitiger Abstand das Doppelte dieser Länge. Sie greifen mit ihren Wurzeln in das höhere Ufer ein, so daß sie nicht hinterströmt werden können (III 2, S. 67) ... Etwa in der Mitte zwischen Dover und der Insel Wight hat man eine große Anzahl von Einbauten (*groins*) ausgeführt, um den ferneren Abbruch des sehr bedrohten Kreideufers zu verhindern, indem diese den vorbeitreibenden Kies auffangen und dadurch einen hohen Strand bilden (III 2, S. 71) ... Die Werke erhalten bei der Beschaffenheit des dortigen Strandes die Längen von 200—250 Fuß, ihr Abstand von einander ist nur etwa ihrer halben Länge gleich (III 2, S. 72) ... Jeder unserer Hafendämme (Molen in der Ostsee) ist, wenn auch zu ganz anderem Zwecke erbaut, dennoch wesentlich nichts anderes, als ein solcher buhnenartiger Einbau in die See ...“ (III 2, S. 74).

Der Ruden ist eine schmale Düne, rings von Wasser umgeben. „Die darauf eingerichtete Lotsen-Station gab vorzugsweise Veranlassung, für ihre Erhaltung zu sorgen, da sowohl auf der Ost- wie auf der Westseite und vorzugsweise auf der Nordseite der Strand, und mit demselben auch die Düne stark abbrach“ (III 2, S. 75). Es folgt eine Beschreibung der „sehr einfach konstruierten“ Werke, deren „Köpfe keineswegs in eine vorher bestimmte Streichlinie“ (entgegen den Beobachtungen im Ausland) herausgeführt wurden. Vielfache Beschädigungen, besonders an den Köpfen, konnten nicht ausbleiben. Über die Wirkung dieser Buhnen schreibt HAGEN (III 2, S. 76): „Das Wasser der Welle, die schräge in ein Intervall hineinläuft, strömt vorzugsweise zur Seite der vorderen Buhne wieder zurück und nimmt den hier befindlichen Sand mit sich, während an derjenigen Seite, die unmittelbar von der Welle getroffen wird, die Sandablagerungen sich sehr auffällig bilden. Nichtsdestoweniger sind die Wirkungen dieser Werke doch überaus günstig gewesen, und vielfach hat sich auf der östlichen oder der Seeseite, und noch mehr auf der westlichen oder am Bodden ein breiter und sanft ansteigender Strand vor der Düne gebildet. Auch letztere hat eine flachere Dossirung angenommen, so daß die Gefahr vor weiteren Abbrüchen vollständig beseitigt ist. Die starken Sandablagerungen erklären sich hier vorzugsweise wohl dadurch, daß ausgedehnte Sandbänke die Insel (mit Ausnahme ihrer südlichen Spitze) rings umgeben. – Weniger auffallend war der Erfolg einer anderen ähnlichen Anlage, die in geringer Entfernung von dieser ersten ausgeführt wurde, die jedoch insofern weit ungünstiger situiert ist, als die größere Tiefe viel näher liegt“ (Insel Usedom, Streckelsberg). Die Sicherung wurde auch hier im Schiffsfahrts-Interesse für nötig erachtet. Zunächst hat man ein Deckwerk (1858) und anschließend 76 Strombuhnen gebaut. „Diese Anlage hat insofern ihren Zweck vollständig erfüllt, als sie die Annäherung der Tiefe verhindert hat, wie sich dieses aus den in jedem Jahre an bestimmten Stellen ausgeführten Profilmessungen unzweifelhaft ergibt. Auch waren in dem Winter 1861 auf 1862 die Beschädigungen an den Werken selbst, wie an den Ufern nur sehr unbedeutend. Die Ablagerung des Sandes oder die Erhöhung und weitere Herausrückung des Strandes erfolgte jedoch noch nicht, oder wenn sie nach gewissen Win-

den eingetreten war, so verschwand sie wieder bei andern. Diese Erfahrungen beziehen sich indes nur auf die Zeit bis zur Beendigung der mittleren Werke in ihrer vollen Länge, hoffentlich wird diese Verlängerung auch in bezug auf die Sandablagerung ein günstigeres Resultat veranlassen.“ (III 2, S. 79)

Aus diesen Mitteilungen entnehmen wir, daß HAGEN bereits eine unterschiedliche Wirkung seiner Buhnen erkannte: Auf Ruden war reichlich Sand vorhanden, auf Usedom nicht. Bemerkenswert ist die Beobachtung über die Strömung und Sandbewegung im Buhnenfeld. Die so bedeutungsvolle Erscheinung der Lee-Erosion wurde von ihm schon gesehen. Ebenfalls bringt er zum Ausdruck, daß seine Versuchsbuhnen (nach französischen und englischen Vorbildern) nur sehr einfach konstruiert wurden. Während HAGEN das Buhnensystem auf Usedom bei einer Besichtigung im Jahre 1863 noch sehr gelobt hatte, revidierte er später seine Ansicht. Hier waren zusätzlich noch zum Ufer parallel laufende Strauchzäune und Flechtwerke angelegt worden.

HEISER (1920): „Er (HAGEN) habe niemals bemerken können, daß die Parallelwerke zwischen den Buhnen auf diesem Strande die Sandablagerungen beförderten. Als Versuch habe er ihrer Ausführung nicht entgegnet wollen. Der Versuch hätte sich nunmehr als erfolglos erwiesen, weshalb von seiner weiteren Fortsetzung abgesehen werden müsse, um so mehr, als er sehr kostspielig gewesen sei.“

Alle diese Ergebnisse von Naturversuchen sind wichtig für Vergleiche mit späteren Erfahrungen und Versuchen.

Daß HAGEN küstenmorphologische Vorgänge mit wissenschaftlichem Spürsinn zu beobachten und auch für uns noch zutreffend zu deuten vermochte, entnehmen wir seinem unübertroffenen „Handbuch des Wasserbaues“:

„Außerdem treten im Meere gewisse Erscheinungen und manche Eigenthümlichkeiten ein, die ganz verschiedene Anordnungen und Konstruktionen erfordern. Zu diesen gehört vorzugsweise der Wellenschlag, dessen zerstörenden Wirkungen man durch die äußersten Mittel der Kunst kaum zu begegnen im Stande ist, ferner der Wasserwechsel der Fluth und Ebbe . . . Sodann kommen die Strömungen in Betracht, die theils von der Fluth und theils von anderen Ursachen herrühren. Sie wirken gleichfalls wieder meist zerstörend (III 1, S. 3).

. . . Die Kämme der Wellen erheben sich in den Oceanen bis zu 30 Fuß (rund 9 m) und nach einzelnen Beobachtungen sogar noch höher über die zwischen liegenden Einsenkungen (III 1, S. 6) . . .

Wenn auch vielfache Einzelheiten die Regelmäßigkeit der Erscheinung unterbrechen, so tritt diese doch jedesmal in den wesentlichsten Theilen so übereinstimmend auf, daß man ihre Abhängigkeit von gewissen Gesetzen nicht bezweifeln kann. Diese Gesetze können nur die allgemeinen dynamischen, oder speciell die hydrodynamischen sein (III 1, S. 22) . . .

III 1, S. 79: Die Schwierigkeiten, denen man schon in der Untersuchung der Wellenbewegung bei endlicher, aber constanter Tiefe begegnet, vergrößern sich in hohem Grade, wenn man zu denjenigen Wellen übergeht, die Untiefen antreffen und gegen die Ufer laufen. Die Kenntnis der Gesetze, welche die Bewegung und Wirkung dieser Wellen bedingen, ist indessen beim See- und Hafenbau besonders wichtig. Es kommt also darauf an, die Erfahrungen, die über sie gemacht sind, zu sammeln, und soweit es geschehen kann, auch zu erklären.

In der Nähe der Ufer oder auf den Untiefen vor denselben bilden sich niemals neue Wellen von bedeutender Größe, weil es hier an den dazu erforderlichen Kräften fehlt. Die Wellen, die man auflaufen und brechen sieht, haben ihren Ursprung in der offenen See. Von dort aus setzen sich die oberen Scheitel vermöge des Druckes, den sie auf die nächsten Wasserfäden ausüben, über diejenigen Flächen fort, die weniger tief unter Wasser und zum Theil sogar über Wasser liegen. Das letztere geschieht namentlich auf dem Strande, oder der flachen Sandablagerung, die sich nicht nur vor niedrigen, sondern häufig selbst vor hohen Ufern hinzieht.

. . . Die vordere Böschung (der Welle) nimmt nunmehr sogar eine lotrechte Richtung an, und endlich tritt der Kopf der Welle darüber noch hervor, und stürzt, indem ihm jede Unterstützung fehlt, herab. Dieses ist die Brandung, die aber noch durch einen anderen Umstand befördert wird. . . den unvollständigen Rücklauf des Wassers . . . den seawärts gerichteten Strom . . . den Sog . . . (III 1, S. 86).

Das zurücklaufende Wasser spülte aber diese soeben abgelagerten Körnchen wieder fort, und so findet sich die Oberfläche der sanft geneigten Ebene oder der eigentliche Strand<sup>4)</sup>, wenn derselbe auch jedesmal dieselbe Form wieder annimmt, dennoch in fortwährender Bewegung... Die Böschung darf jedoch nicht steil ansteigen, sonst bilden sich darin stufenförmige Absätze, weil der Stoß der Welle sie an einer oder der anderen Stelle zu heftig trifft... Die Neigung eines nicht abbrechenden Strandes ist wohl immer flacher, als 1:10. Gewöhnlich und namentlich bei heftigen Stürmen, wenn hohe und lange Wellen auflaufen, wird dieselbe aber noch bedeutend geringer und nimmt bis 1:20 auch wohl darüber ab (II 1, S. 87)... Indem nun aber die Höhe der Wellen nach der Stärke und Richtung des Windes sehr verschieden ist, auch der Wasserstand, selbst in denjenigen Meeren, wo keine merkliche Fluth und Ebbe statt findet, sich vielfach ändert, so erklärt es sich, daß der Strand bei jedem Sturm sich anders gestaltet (III 1, 88).

Man merkt leicht, daß eine solche Ausbildung des Strandes nur möglich ist, wenn das Ufer aus Sand oder Kies besteht...

Ohne Zweifel werden solche Riffe durch den Wellenschlag gebildet, sie entstehen bei heftigem Sturme an denjenigen Stellen, wo die Wellen aus der See mit den rücklaufenden Wellen, oder mit dem verstärkten Rückstrom, den jede derselben veranlaßt, sich begegnen“ (III 1, S. 93).

Aus den Zitaten geht hervor, daß sich HAGEN sehr gründlich den Problemen an der Küste zugewandt hatte.

#### TOLLE, A. (1864), Nordsee, Ostfriesische Insel Norderney

Der Wasserbaukondukteur für Norderney, TOLLE, berichtet als erster über die Strand-  
schutzwerke im Westen der Insel. „Durch die Sturmfluth in der Sylvesternacht 1854/55 waren die Dünen an der West- und Nordwestseite der Insel in einer Breite von 160 Fuß weggerissen.“ Deshalb wurde 1857 mit dem Bau der Strandmauer begonnen. Umfassende Messungen wurden 1859 eingeleitet und der Entwurf für ein Bühnensystem aufgestellt. Von den Bühnen erwartet TOLLE eine gute Wirkung.

Nicht erwähnt sind Bühnen, die bereits 1818 bis 1821 und 1846 gebaut worden waren<sup>5)</sup>.

#### BAENSCH (1875), Ostsee

Immer waren die nach Sturmfluten festgestellten Schäden an den Dünen und später auch an den Bauwerken der Anlaß zur Prüfung der Frage, wie solche Schäden verhindert werden könnten. Eine Darstellung über den Ablauf und über die Folgen der höchsten bisher bekannten „Sturmflut vom 12./13. November 1872 an den Ostseeküsten des Preußischen Staates“ ist uns von BAENSCH überliefert. Diese Flut regte ihn dazu an,

„das ganze Phänomen in seinen Ursachen und seinem Verlaufe eingehend zu studieren, sowie in seinen Folgen auf die Stranddistrikte und die innerhalb derselben belegenen Bauten übersichtlich nachzuweisen“ (S. 155).

Er sammelte unter Beteiligung der Regierungen alle erreichbaren Broschüren und zerstreuten Notizen und verarbeitete dieses Material kritisch, so daß seine Abhandlung eine Beurteilung der damaligen Erscheinung ermöglicht und jederzeit zum Vergleich mit anderen Sturmfluten herangezogen werden kann.

<sup>4)</sup> Sperrungen in den Zitaten sind Hervorhebungen des Verfassers.

<sup>5)</sup> Vgl. BACKHAUS (1939/40).

Alle früheren Sturmfluten wurden immer nur von Historikern oder Chronisten beschrieben. Die Abhandlung des Ingenieurs BAENSCH weicht von dieser Gepflogenheit ab und ist beispielhaft geblieben.

Über die Standfestigkeit der Buhnen teilt BAENSCH (S. 207/208) mit:

„Diese Pfahlbuhnen (bei Jershöft) haben sich gut gehalten. Nur drei am östlichen Ende des Systems liegende Buhnen sind hinterspült und wurzellos geworden.

Die Pfahlbuhnen (der Insel Zingst), welche vorlängs des Seestrandes zur Beförderung der Anlandung hergestellt sind, sind vielfach beschädigt und namentlich sind von den aus einer Reihe Pfählen bestehenden, sowohl an den Köpfen als aus der Mitte, vielfach Pfähle herausgerissen; auch sind die Pfahlwerke im Anschluß an den Strand größtenteils von der Fluth umlaufen. Seit der Fluth sind an den meisten Pfahlwerken von Neuem Verlandungen entstanden. Diese Zerstörungen gehen im Ganzen über das Maß der gewöhnlichen Destructionen hinaus. Die nach dem Sturm vom 9./10. Februar 1874 örtlich besichtigten gleichartigen Werke vor dem Einbruch in den Strand bei Damerow zeigten eine gleiche Charakteristik. Beide Punkte sind darin übereinstimmend, daß die Fluth die Niederung überströmte und daß sowohl die eingehende Fluth den aufgewühlten Sand des Vorstrandes nach Binnen nahm, als auch die ausgehende Fluth das etwa noch bestehen gebliebene Material weiter nach See warf, wodurch die Wasserlinie erheblich zurückweichen mußte.“

Diese Beobachtungen sind insofern bemerkenswert, als echte Erfahrungen über die Wirkung dieser Flut auf den Strand mit und ohne Buhnen sowie über die Standsicherheit der Bauwerke überliefert wurden.

#### KELLER (1881/82), Ostsee, Frankreich

In einer küstenmorphologisch interessanten Arbeit schreibt KELLER (S. 194):

„Überhaupt sind Schätzungen über die Sandmassen, welche von den Küstenströmungen transportiert werden, höchst ungenau und wohl meistens zu gering ... Die guten Resultate, welche man bei Dieppe, Fécamp und Le Havre durch Wegbaggerung und Auffangung des hinzuwandernden Kieses außerhalb der Häfen erreichte, ermuthigten sogar dazu, ähnliche Vorschläge für Häfen im Sandgebiet zu machen. Derartige Versuche mußten resultatlos bleiben, weil der breite Küstensaum, den die beweglichen Sände bilden, ein unermessliches, von den Ufern her ohne Unterbrechung gespeistes Reservoir für die Verlandungen ist, während der Kies nur in einer schmalen Zone vorwärts geschoben wird und seine absoluten Mengen erheblich kleinere sind. Solche Bauten jedoch, welche das Ufer zu decken und somit eine Quelle der Zufuhr den Küstengeschoben abzuschneiden bestimmt sind, werden stets von günstigem, doch geringem Einfluß auf die Verminderung der wandernden Materialien und die Tiefhaltung der Häfen sein. (S. 196:) Dagegen ist die Vertheilung und der Transport des vom Rhône zugeführten Sandes nach Untersuchungen des Ingenieurs M. GUÉRARD oberhalb der 20-m-Tiefenlinie wesentlich eine Wirkung der Wellen und der vom Winde erzeugten Strömungen, die Gestaltung der Ufer selbst endlich ein Resultat des durch Stürme hervorgerufenen Seeganges. Hierdurch ist gleichzeitig für einen Specialfall nachgewiesen, bis zu welcher Tiefe der Sand längs der Küste in stetiger Bewegung bleibt, d. h. wie breit der bewegliche Küstensaum ist, wenn hierunter nicht der abwechselnd vom Meer bedeckte und wieder frei gegebene Strand, sondern der Meeresgrund, soweit die Wellen seine Böschung und Zusammensetzung wesentlich beeinflussen, verstanden wird ...“

Gestützt auf eine französische Sonderuntersuchung weist KELLER auf die große Breite der Sandwanderungszone an der Küste hin und schließt daraus, daß die Bauten von günstigem, doch geringem Einfluß auf die Verminderung der wandernden Materialien und die Tiefhaltung der Häfen sein werden.

Über die Aufgabe künstlicher Einbaue und über die Wirkung der Sturmflut von 1872 auf den Küstensaum äußert sich KELLER (S. 301), wobei er sich auf HAGEN und BAENSCH stützt, wie folgt:

„Der Zweck solcher künstlicher Vorsprünge ist entweder die Abhaltung gefährlicher Strömungen (Einbau vor Außendeichen), oder die Ansammlung des vom Strande und dem höheren Lande abgebrochenen Sandes (Einbau vor dem Strand), oder der Schutz von Häfen (Hafendämme oder Molen) ... Die Erhaltung des Vorstrandes ist von höchster Wichtigkeit für die Bildung der Vordüne, deren sorgfältige Erhaltung als bester Küstenschutz erscheint. Die Sturmfluth vom November 1872 lieferte an der deutschen Ostseeküste vielfache Beweise für den großen Nutzen der dort üblichen leicht gebauten Werke ... Wiewohl der Zweck ein völlig anderer, haben die Einbaue vor dem Strand doch manche Ähnlichkeit mit den Buhnen eines Binnenstromes. Es erscheint daher wohl gestattet, aus den Erfahrungen mit Flußbuhnen Rückschlüsse zu ziehen.“<sup>5)</sup>

#### HAGEN, L. (1881/83), Frankreich

In einem Reisebericht über einige Ströme Frankreichs beschreibt L. HAGEN die Uferbefestigungen bei Pointe de Grave, an der Mündung der Garonne. Dieser Bericht soll nicht unerwähnt bleiben, weil auch bei gegenwärtigen Küstenschutzwerken wieder raue Oberflächen angestrebt werden.

„Westlich der Mole ist der Strand auf nahezu 2 km Länge durch Buhnen gedeckt, die 120 bis 160 m lang sind und 160 bis 200 m von einander entfernt liegen (S. 131). Diese Buhnen sind ursprünglich durch holländische Arbeiter, welche zu diesem Zwecke speciell engagiert waren, hergestellt.“ (S. 132) ... „Ursprünglich wurde das Revetement der Buhnen möglichst regelmäßig und glatt ausgeführt. Da, wie die Erfahrung zeigte, die überschlagenden Wellen weit stärkere Auskolkungen verursachten, als die über die rauhen Strauchbuhnen laufenden Wellen, auf denen sie sich an den vorstehenden Pfählen brachen, so änderte man später die Construction in der Art, daß man in das Revetement pyramidale Steine einmauerte und deren Spitzen 0,3 bis 0,4 m über die Fläche des Mauerwerks hervorragend ließ. Diese vortretenden Steine, von denen 8–10 Stück in einem Quadratmeter vorhanden sind, veranlassen nun ein eben solches und sogar vollständigeres Brechen der Wellen, wie die Pfähle der Strauchbuhnen und soll der Angriff gegen den Strand und die Dünen hierdurch erheblich gemindert sein.“ Es folgt eine Beschreibung des 1300 m langen Rauheckwerks.

#### FRANZIUS, L. (1884)

Über die Einwirkungen des Meeres auf dessen Ufer und auf den Seeuferbau äußert sich L. FRANZIUS nach sehr gründlichen Naturbeobachtungen und auf G. HAGEN aufbauend:

„Bei den flachen Ufern ohne künstliche Befestigung schwankt die Grenze zwischen Meer und Land gewissermaßen hin und her. Hier treten die größten und raschesten Veränderungen auf, und zwar zunächst vor dem eigentlichen Ufer als sogenannte Riffbildung, sodann hinter dem Ufer als Strand- und Dünenbildung (S. 117). Der Sand wird bei geneigtem Grunde durch die anlaufenden Wellen schon aus etwa 12 m Tiefe landwärts geschoben und bildet deshalb fast vor allen flachen Küsten einen mehr oder weniger breiten Gürtel.“

Als die seeseitige Grenze der Sandwanderungszone nannte KELLER die 20 m-, FRANZIUS dagegen die 12 m-Tiefenlinie. TIEDEMANN und SEIFERT (1930) und neuerdings VÖLPEL (1959) weisen auf Bewegungen des Sandes hin, die bis auf den Grund der Nordsee hinab beobachtet worden sind.

„Die Höhe des Strandes kann oft in wenigen Wochen um etwa 1 m abnehmen (S. 119), wogegen die entsprechende Zunahme ohne künstliche Einwirkung allerdings langsamer erfolgt.“

<sup>5)</sup> Solche Rückschlüsse haben m. E. eine gewisse Berechtigung für Strombuhnen, jedoch keine Berechtigung an Küsten mit wechselnder Strömungsrichtung und mit Brandung.

Messungen haben wesentliche höhere Werte ergeben<sup>6)</sup>. „Für die praktischen Aufgaben des Wasserbaus haben die Inseln vorzugsweise als Schutzwehr für dahinterliegendes Festland ... ihre Bedeutung (S. 134). Es muß also die Frage, ob den Nordseeinseln in nicht ferner Zeit eine völlige Zerstörung droht, wenn sie nicht künstlich abgewendet wird, sicher bejaht werden (S. 136). Wenn nämlich an Stelle der jetzigen Inseln nur Sandbänke von der gewöhnlichen, etwa 1 m unter ordinärer Flut betragenden Höhe vorhanden wären, so würde sich bei nordwestlichen Stürmen die Wellenbewegung nahezu ungeschwächt bis an die Ufer des Festlandes erstrecken, während jetzt bei denselben Winden auf den Watten nur ein gemäßigter Wellenschlag stattfindet.“

Vorstehende Begründung (Behauptung) von FRANZIUS für die Notwendigkeit des Insel-schutzes deckt sich nicht mit den Untersuchungen G. HAGENS (S. 14):  
Auf den Untiefen, den Sandbänken und Watten

„bilden sich niemals neue Wellen von bedeutender Größe, weil es hier an den dazu erforderlichen Kräften fehlt“.

„Wohl bei keinem Zweige des Wasserbaues herrscht eine solche Mannigfaltigkeit, als bei den Seeuferbauten. Der nicht zu übersehende Grund hiervon ist, daß hier besonders stark empirische Verfahren und die Macht des alten Herkommens ihre Einwirkung üben (S. 141) ... doch kann nur durch einen systematischen Überblick über die gesamten Erfahrungen ein klares Urteil über die allgemeinen Grundsätze und den ursächlichen Zusammenhang bei einzelnen verwickelteren Fällen gewonnen werden.“

Statt der empirischen Erfahrungen im Seeuferbau fordert FRANZIUS wie G. HAGEN die systematische Auswertung der gesamten Erfahrungen als Voraussetzung für ein klares Urteil.

„Die verschiedenen Bauweisen richten sich nun zwar vorzugsweise nach der Belegenheit oder der Beschaffenheit des zu schützenden Ufers, dabei übt jedoch in gewissem Grade auch der Preis der disponiblen Baumaterialien einen maßgebenden Einfluß aus“ (S. 142).

L. FRANZIUS unterscheidet die vorspringenden Schutzwerke in Fluß- oder Strombuhnen einerseits und in Strandbuhnen andererseits. Er sieht die Aufgabe der Strandbuhnen darin, daß sie (S. 148)

„einen Teil des überströmten Bodens vor Strömung schützen und die Ausbildung größerer Tiefe verhindern, jedoch nicht auch weiter auf die Umbildung von Stromrinnen oder auf die Konzentrierung einer Strömung einwirken“ sollen. „Erfahrungsgemäß nutzen sie vorzugsweise während der gewöhnlichen Wasserstände durch Auffangen des von mäßiger Strömung und leichten Wellen bewegten Sandes, wogegen sie bei hohem Wasserstande und heftigem Sturm in ihrer Nähe in nachteiliger Weise den Strand erniedrigen. Während man ferner hinsichtlich der Länge der Flußbuhnen oder der die Köpfe verbindenden Streichlinie die größte Vorsicht mit besonderer Rücksicht auf das übrig bleibende Querprofil zu gebrauchen hat, ist man bei den Strandbuhnen in dieser Richtung nahezu unbeschränkt. Es ist nicht nötig, eine genaue Streichlinie festzusetzen, sondern man sucht mit jeder einzelnen Buhne so weit als irgend möglich seewärts vorzugehen, um eine möglichst große Strandfläche in Schutz zu bringen.“

Diese Ansicht über die Streichlinie bei Strandbuhnen wird nicht immer geteilt, obwohl sie durchaus überzeugend ist. Der Gedanke, auch beim Seebuhnenbau Streichlinien zu schaffen, stammt offenbar aus dem Flußbau. Hier gilt es, eine Stromrinne durch Buhnen, meist von beiden Ufern, einzuengen und damit zu vertiefen. Bei Strandbuhnen haben wir es immer nur mit einem Ufer zu tun, das gegenüberliegende fehlt. Da Seebuhnen als Strombuhnen die Strömung in einer Rinne von einem Ufer abdrängen und fernhalten sollen, kann dabei die Anordnung einer Streichlinie zweckmäßig sein.

„Man kann ganz unbedingt behaupten, daß je näher die Buhnen, desto größer die Wirkung für die zwischen ihnen liegende Strandfläche sein wird (S. 149) ... Man wird also meistens die Buhnen (wegen der hohen Kosten) anfangs in größeren Entfernungen anlegen und später in den

<sup>6)</sup> Vgl. LÜPKES und SIEMENS (1938) und LAMPRECHT (1955).

Zwischenräumen eine oder zwei leichtere Zwischenbuhnen nachfügen, um den zuerst nur notdürftig geschützten Strand wieder zu erhöhen ... Die Erfahrung hat überall gezeigt, daß die hoch über dem Strande vortretenden Buhnen unverhältnismäßig mehr zu leiden haben als die nur wenig die Höhe des Strandes überschreitenden. Man kann allerdings durch Verbreiterung der Buhnen, namentlich durch schräg geneigte Seitenflächen die Angriffe abschwächen, aber es wachsen damit die Kosten wieder sehr erheblich ... Nach vorstehenden Erwägungen empfiehlt es sich, die Länge so groß als möglich, mindestens aber vom festen Ufer bis zum Niedrigwasser reichend zu nehmen, die Entfernung der Buhnen in der Regel anfangs etwa dem Dreifachen der Länge zu wählen und baldmöglichst eine Zwischenbuhne in der Mitte zu erbauen, und endlich die Höhe von dem Ufer bis zum Kopf von etwa 1 m über Hochwasser allmählich bis etwa 1 m über Niedrigwasser abfallen zu lassen“ (S. 150).

L. FRANZIUS beschreibt die Bauweise der Ostseebuhnen und der wesentlich kräftigeren, aber auch kostspieligeren Buhnen an der Nordseeküste, die bereits 1861 als bis zu rund 15 m breite Flachbuhnen ausgebildet wurden. Über die Wirkung der Flachbuhnen bei Sturmfluten und bei gewöhnlichen Verhältnissen sagt er (S. 151):

„Trotz dieser Buhnen wird durch starken Sturm fast stets der Strand erniedrigt; bei gewöhnlichen Verhältnissen nimmt jedoch die Höhe dann sehr rasch wieder zu, so daß die Niedrigwasserlinie nicht landwärts fortschreitet und außerdem sich der für die Erhaltung der Dünen erforderliche Flugsand bildet. Es ist jetzt keinem Zweifel mehr unterworfen, daß die Erhaltung der ostfriesischen Inseln von der rechtzeitigen Erbauung derartiger Strandbuhnen und etwaiger Dünenschutzwerke sowie von einer rationellen Dünenkultur abhängt.“<sup>7)</sup>

GERHARDT, P. (1900), Ostsee – Nordsee, Nord- und Ostfriesische Inseln, Helgoland

Das Handbuch des deutschen Dünenbaues von P. GERHARDT enthält einen besonderen Abschnitt über Seebuhnen. Darin heißt es (S. 540) über die Aufgabe:

„Die Buhnen sollen die Strömung brechen, die Bewegung des Wassers verlangsamen, und letzteres dadurch zwingen, die von ihm mitgeführten Sinkstoffe teilweise abzusetzen, so daß die bei früheren Stürmen entstandenen Vertiefungen des Strandes nach Beruhigung der See sich von selbst ausgleichen, den Strand in seiner Breite und Höhe erhalten. Es ist nicht Aufgabe der Buhne, als Wellenbrecher zu dienen: ihre Wirksamkeit darf nur auf die Erhaltung des Strandes gerichtet sein. Sie haben vor allen Dingen den nassen Strand zu schützen, und müssen deshalb weit genug über diesen in die See hinein sich erstrecken. Kurze Buhnen nach Art der „Schlengen“ von 1843 auf Wangerooge haben keinen Erfolg ... Die Buhnen gleichen im kleinen dem ‚System der festen Punkte‘, welches in den letzten Jahren in Holland für die Befestigung der Küsten im großen ausgebildet worden ist ...

Die Höhe der Buhnen muß auf dem trockenen Strande der erreichbaren oder gewünschten Höhenlage desselben entsprechen.“ Wo diese Forderung erfüllt werden kann, muß überreichlich Sand herangebracht werden, so daß man auf Buhnen verzichten könnte. „Unter Wasser, also auf dem nassen Strande, müssen die Buhnen mit geringem Gefälle möglichst tief abwärts geführt werden.“ Die Grenze für die erreichbare Tiefe ergab sich zu jener Zeit aus den bautechnischen Möglichkeiten. „Das Gefälle der Buhnen muß sich der Neigung des Strandes anschmiegen. Es darf 1 : 20 an keiner Stelle, selbst nicht auf dem trockenen Strande, überschreiten (S. 542) ... Buhnen für die Deckung von abbrüchigen Küsten werden immer in Gruppen entworfen und ausgeführt. Es ist hierbei der nach dem Verlauf der Küste zu erwartende Strand im Lageplan zu ermitteln, und seine Höhenlage im Zusammenhange mit den Nachbarstrecken anzunehmen. Dann ergibt sich für die Buhnenköpfe eine längs des Strandes gleichmäßig verlaufende Linie: die Streichlinie der Buhnenköpfe.“

L. FRANZIUS vertrat eine gegenteilige Ansicht. „Aus der Lage der Streichlinie und den Strandhöhen erhält man die für die Bauausführung vorzuschreibenden Neigungsverhältnisse der

<sup>7)</sup> Gemeint sind in diesem Falle Strombuhnen, nicht jedoch Strandbuhnen.

einzelnen Buhnen (S. 543) ... Die Entfernung der Buhnen ist abhängig von ihrer Länge. Je weiter die Buhnen in die See hervortreten, um so größer ist ihre Wirkung, um so weiter dürfen sie voneinander entfernt sein. Als zweckmäßigstes Verhältnis für die Länge der Buhnen zu ihrer Entfernung hat die Erfahrung 1 : 1 gelehrt. Das heißt: die Entfernung der Buhnen darf nicht größer sein als die Länge derselben vom Kopf bis zur Wurzel am Fuße der Vordüne . . . (S. 544): Die Wirkung der Buhnen äußert sich auf dem Ufer durch Bildung sägeförmiger Einschnitte, denn die Wurzeln der Buhnen bilden feste Punkte in der Uferlinie und begünstigen die Versandung . . .“

Die Uferlinie, d. h. die Mittelwasser- bzw. Mitteltidehochwasserlinie, ist von Natur aus beweglich. Die Wurzel der Buhne bindet im allgemeinen in die Düne ein. Das „System der festen Punkte“ wird deshalb von Buhnen allein nicht erwartet werden können. Dazu ist in jedem Fall ein massives Längswerk erforderlich.

Die Strombuhnen („Steinbuhnen“) von Norderney von 1861 haben sich nach GERHARDT (S. 549) „vorzüglich bewährt und daher als Muster gedient für alle späteren Anlagen“.

Die (S. 541–556) abgebildeten Strom- und Strandbuhnen von Norderney, Baltrum, Borkum, Sylt und Helgoland sind sämtlich als Flachbuhnen geplant und gebaut worden.

### Zusammenfassung

Bis zur Jahrhundertwende waren bereits mehrere grundlegende Arbeiten über die Küstenmorphologie und über den Küstenbau sowie eine Abhandlung über die große Ostseesturmflut von 1872 erschienen, deren Verfasser Ursache und Wirkung der Küstenveränderungen zu erklären versuchten. Sie waren z. T. gute Beobachter des Naturgeschehens am Strand. Deshalb haben auch die in diesem Zeitabschnitt gebauten Seebuhnen als Versuche in natürlicher Größe ihren besonderen Wert. In den folgenden Abschnitten werden wir noch mehrfach die Gedanken der ältesten Verfasser zum Vergleich mit späteren Beobachtungen heranziehen, um zu sehen, wie jene Gedanken verwirklicht worden sind und welche Wirkungen die Bauwerke gehabt haben.

### 2. Bauzeit 1900 bis 1920

FÜLSCHER (1905), Nordsee, Nord- und Ostfriesische Inseln, Helgoland

In seinem Buch „Über Schutzbauten zur Erhaltung der Ost- und Nordfriesischen Inseln“ untersuchte FÜLSCHER die bisher ausgeführten Werke und ihre Kosten, er sammelte die Erfahrungen der Küstenbauingenieure und legte dem Staat Rechenschaft ab über die kostspieligen Werke, „deren Bau eine Ausgabe von vielen Millionen Mark erfordert hat“ (S. 5). So nahm FÜLSCHER wohl als erster sehr kritisch Stellung zu den auf den Inseln Borkum, Norderney, Baltrum, Spiekeroog, Wangerooge, Sylt und Helgoland ausgeführten Schutzmaßnahmen, insbesondere auch zu den Seebuhnen. Das Verhältnis des Erreichten zu dem Aufwand schien ihm nicht recht harmonieren zu wollen. Diese Schrift ist mehrfach sowohl scharf angegriffen als auch nachdrücklich verteidigt worden, was später noch dargelegt wird.

FÜLSCHER schreibt (S. 141): „... die schweren Steinbuhnen ... haben sich überall gut gehalten, wenn und solange sie nur wenig über die Strandfläche vortreten. Aber sie können niemals die Wirkungen einer gegen das Ufer gerichteten oder das Ufer angreifenden Strömung in der Weise abschwächen, daß dadurch das weitere Vordringen der tiefen Stromrinne gegen das Ufer verhindert wird, und sie können unter ungünstigen Verhältnissen auch eine Erniedrigung des Strandes nicht verhindern.“ Er unterscheidet diese Strombuhnen von den Strandbuhnen, ohne sie jedoch zu definieren und folgerichtig zu behandeln. Zu den letzteren rechnet er zutreffend die

Buhnen vor Sylt (S. 73): „Ein wirksamer Schutz gegen den Uferabbruch ist aber, wie später gezeigt werden wird, durch die Buhnen nicht erzielt worden . . . (S. 129): Die Annahme, daß Strandbuhnen, die nur bis an oder wenig über die Linie des mittleren Niedrigwassers hinausreichen, noch auf die weitab liegenden größeren Tiefen einwirken können, ist auch wissenschaftlich nicht zu begründen und widerspricht allen Erfahrungen . . . (S. 138): Nachdem die mehrjährigen Erfahrungen gezeigt haben, daß die Schutzwerke weder den Strand zu erhöhen und zu verbreitern, noch auch nur in seiner Ausdehnung zu erhalten vermocht haben, daß deshalb auch die erwarteten neuen Dünen nicht entstanden sind, die in Verbindung mit dem höheren breiteren Strande einen sehr wirksamen Schutz für die vorhandenen Dünen abgegeben haben würden, sind diese dem Angriff der Meereswellen bei hohen Sturmfluten heute nicht weniger ausgesetzt, als sie es vor dem Beginn des Buhnenbaues waren. Die über die Strandfläche nur sehr wenig sich erhebenden Buhnen selbst können, ganz abgesehen von ihrer geringen Haltbarkeit, eine Abschwächung der bei hohen Sturmfluten über sie hinwegrollenden Wellen nicht bewirken und sind daher als Dünen Schutzwerke ganz ohne Bedeutung.“

So deutlich hatte sich bis dahin noch niemand über die Wirkung von Buhnen als Dünen-schutzwerke geäußert.

Andererseits berichtet FÜLSCHER (S. 119), daß auf Spiekeroog nach 1888 eine starke Erhöhung des Strandes eingetreten sei und daß die zwölf Strandbuhnen (1873 bis 1883 gebaut)

„bis zum Herbst 1894 ganz unter Sand lagen. Sie wurden erst nach der Sturmflut von 1894 wieder sichtbar, dann aber auch gleich durch die Sturmfluten der folgenden Jahre wieder ziemlich stark beschädigt“<sup>7a)</sup>.

In seinen Untersuchungen über den Wert der Inseln als Schutz für die Festlandküste nimmt FÜLSCHER auch Stellung zu der Ansicht von PLENER (1856), L. FRANZIUS (1884) und HORN (1862), wonach die Inseln mit den vorliegenden Riffen und den zurückliegenden Watten die kräftigsten natürlichen Bollwerke des Festlandes seien. Ein zahlenmäßiger Nachweis für die als allgemein bekannt hingestellte Tatsache sei jedoch bisher wohl niemals erbracht worden. FÜLSCHERS gründliche Untersuchungen haben kurz zusammengefaßt ergeben (S. 33),

- „1. daß ein förderlicher Einfluß der Inseln auf die Anlandungen an der Küste in den letzten zwei Jahrhunderten nicht erkennbar gewesen ist;
2. daß die Entstehung der in der Unterhaltung sehr kostspieligen Schardeiche durch die Inseln weder verhütet, noch im Vergleich mit anderen Küstenstrecken abgeschwächt worden ist;
3. daß auf dem äußersten Teil einer völlig ungeschützten Wattfläche zwischen der Elb- und Eidermündung in den letzten 50 Jahren eine Marschinsel (Trischen) mit Dünenrand neu entstanden und bis in die jüngste Zeit von Jahr zu Jahr größer geworden ist; \*)
4. daß die Inseln auf die Feststellung der Höhen- und Stärkeverhältnisse der Deiche keinen fühlbaren Einfluß gehabt haben . . .

In dem Hinweis auf die Unentbehrlichkeit der Inseln für den Küsten- und Deichschutz ist daher eine durchschlagende Begründung für die Notwendigkeit von Schutzbauten an solchen Inseln, wo der Wert der zu schützenden Grundstücke an sich zu gering ist, um die für die Schutzbauten aufzuwendenden Kosten zu rechtfertigen, nicht zu erblicken.“

Wir sehen, daß FÜLSCHER sich nicht mit einer einfachen Beschreibung der Schutzwerke begnügt; er setzt sich als ausgezeichneter Kenner der deutschen Nordseeküste mit den im Küstenbau verbreiteten Behauptungen und Annahmen sehr eingehend auseinander.

KREY, H. D. (1906), Nordsee, Nord- und Ostfriesische Inseln, Helgoland

KREY steht den Gedanken von FÜLSCHER nahe und rechnet damit, daß bald neue Wünsche auf Fortsetzung der „augenblicklich zu einem gewissen Abschluß gelangten“ Schutzbauten

<sup>7a)</sup> Vgl. BACKHAUS (1939/40).

<sup>8)</sup> Vgl. WOHLBERG (1950).

laut werden. „Bei der großen geldwirtschaftlichen Tragweite derartiger Anlagen beansprucht eine Prüfung der Notwendigkeit des Uferschutzes sowie im besonderen die Zweckmäßigkeit der ausgeführten und vorgeschlagenen Bauten . . . erhöhte Aufmerksamkeit“, denn sie bilden „noch keineswegs auch nur annähernd volle Sicherheit gegen Uferabbrüche“.

GERHARDT, P. (1906), Ostsee

„Die niedrigen Buhnen bei Kranz (Ostsee) haben die Aufgabe, bei jedem Wasserstande den nassen und trockenen Strand zu erhalten; die hohen Uferwerke sollen bei Hochwasser die Küste vor Abbrüchen sichern. Außerdem haben beide die Aufgabe, sich gegenseitig zu unterstützen. . . . Da die Buhnen zufolge der Führung der Streichlinie verschieden lang wurden, so mußte auch ihre Entfernung verschieden groß werden. . . . Ob auch an den Enden des Buhnensystems Übergangsstrecken zur Verbindung mit dem ungedeckten Strande nötig seien, ist eine mehrfach umstrittene Frage. Manche Techniker und viele Laien neigen der Ansicht zu, daß die weit in See vortretende Endbuhne Anlaß geben könne zu einem stärkeren Angriff der Wellen auf die benachbarte ungeschützte Strandstrecke. Wir sind dieser Meinung nicht. Was dem Beschauer als die Folgewirkung der Buhnen erscheint, ist in Wirklichkeit nichts anderes als die Fortsetzung der alten Uferabbrüche. Sie treten nur deshalb auffälliger in Erscheinung, weil sie einen leicht erkennbaren Gegensatz bilden zu dem durch Buhnen geschützten Lande. An der ungeschützten Uferstrecke weicht der Strand nach wie vor zurück; an der geschützten dagegen wird er erhalten oder nimmt sogar wie bei Kranz an Breite zu. Diese Ansicht wird bestätigt durch die Wirkung einzelner Seebuhnen. Wird nicht ein System mehrerer Buhnen, sondern eine Buhne allein ausgebaut, so zeigt sich, daß diese nicht das Ufer angreift, sondern es schützt.“

Wir sehen, daß die Annahmen über die Notwendigkeit der Streichlinie von GERHARDT weiterhin vertreten werden und daß er die zusätzliche Erosion in Lee der Buhne oder der Buhnengruppe nicht erkennt.

GERMELMANN (1906), Ostsee

Die Aufgabe von Seebuhnen sieht GERMELMANN darin, den unter Wasser befindlichen Strand festzulegen, ihn durch Sandfang aufzuhöhen und somit für die Abgabe von Sand zum Dünenbau geeignet zu machen. Durch Buhnen sollen an der Küste feste Punkte geschaffen werden<sup>9)</sup>. Seebuhnen sind keine Molen, sie sollen lediglich den Strand festhalten, ihn vor Einrissen durch zeitweilig oder örtlich auftretende Strömungen schützen und zu einer Aufhöhung dadurch beitragen, daß sie die Geschwindigkeit der über die Buhnenfelder sich bewegenden Welle soweit ermäßigen, daß der von ihr mitgeführte Sand zur Ablagerung kommt.

Dieser Beitrag fußt im wesentlichen auf früher veröffentlichten Annahmen.

SCHULZE, F. W. O. (1911), Ostsee

Das Handbuch Seehafenbau stützt sich auf G. HAGEN und KELLER, soweit es sich um das Verhalten der wandernden Sande allgemein und gegenüber künstlichen Einbauten handelt. Letztere haben beim Hafeneinfahrt die Aufgabe, die Hafeneinfahrt offen, d. h. tief zu halten. Dazu sollen die Einbauten die Sanddrift möglichst schon auf einer bestimmten Strecke vor den Hafeneinfahrten festhalten. Dieser Gedanke wurde von G. HAGEN (1863) zum erstenmal

<sup>9)</sup> Vgl. hierzu GERHARDT (1900).

ausgesprochen. Auch SCHULZE schließt hinsichtlich der Wirkung von den Flußbuhnen auf Seebuhnen.

KRÜGER, W. (1911), Nordsee, Wangerooge

Eine beachtenswerte Arbeit legte Hafendirektor KRÜGER nach umfangreichen eigenen Beobachtungen, Messungen und Vergleichen vor. Der Anwuchs bei Wangerooge ist nicht so stark, daß er den Abbruch ausgleicht, und die Buhnen müssen zur Durchdämmung der Strandpriele (in der Windrichtung schräg vom Strand herabführende Rinnen) vorhanden sein. Wir finden eine solche Begründung nicht wieder, sie blieb einmalig.

„Der Abbruch im Westen der Insel hört auf, wenn der Strand soweit durch Buhnen“ im Sinne von Strombuhnen „geschützt ist, daß er der Einengung des Stromes durch die Riffe widerstehen kann, und sobald der Strand so breit ist, daß die Dünen nicht abbrechen, oder sobald der Dünenfuß durch Mauern, die tiefer hinabreichen, als der Strand je abbricht, geschützt ist. Man erlebt aber leicht Überraschungen bei der Beurteilung des erforderlichen Maßes. . . . Die Wanderung der Inseln denke ich mir als schon immer vorhanden gewesen und auch das Maß der Wanderung wird immer ähnlich gewesen sein.“ Dabei „ist der ganze Kern der Insel durch das mitwandernde Seegatt auf die Tiefe des Seegatts, das ist auf eine Tiefe von mindestens 14 m unter Niedrigwasser, umgepflügt worden.“

KRÜGER sprach sich als erster gegen FÜLSCHERS Untersuchungsergebnis mit der Begründung aus, daß eine Verlagerung der Seegaten sich auf den Deichschutz auswirke, weil dann an verschiedenen Deichstrecken höhere Wellen auftreten. Dieselbe Ansicht hatte schon L. FRANZIUS (1884) vertreten, obgleich sie nach G. HAGEN nicht haltbar sein sollte. Legt man die Inseln mittels Schutzwerken fest, so bleibt nach KRÜGER die Lage der Seegaten und Priele stabil und der Wellenangriff auf ganz bestimmte Deichabschnitte begrenzt, die dann nur allein stärker auszubilden wären.

ENGELS, H. (1914), Nordsee, Nord- und Ostfriesische Inseln, Helgoland

ENGELS wiederum bekennt sich zu FÜLSCHERS These (S. 715). „Schutzwerke sind entweder nur dort erforderlich, wo der Wert der unmittelbar zu schützenden Grundstücke oder Anlagen, wie Ortschaften, Badeanstalten, Leuchttürme, Seezeichen usw. die Aufwendungen der Neubau- und Unterhaltungskosten wirtschaftlich rechtfertigt, oder wo, wie bei schmalen Landzungen, im Falle des Durchbruchs erhebliche Schädigungen der hinterliegenden Gebiete eintreten würden. Die künstliche Befestigung der Seeküste bildet also nicht die Regel, sondern eine Ausnahme. Nur eine klare und zutreffende Beurteilung aller in Frage kommenden Verhältnisse kann vor unnützen und zugleich recht hohen Ausgaben bewahren. Das wird schlagend beleuchtet durch eine wertvolle Arbeit von FÜLSCHER, die in überzeugender Weise den Nachweis erbringt, daß man bei der Erbauung der Schutzwerke auf den ost- und nordfriesischen Inseln von einer unzutreffenden Voraussetzung ausging. . . . Nur dort, wo es sich um den Schutz sehr wertvoller Grundstücke handelt, wie auf Norderney und Borkum und bei den äußerst fruchtbaren Marschinseln und Halligen, ferner bei der Insel Wangeroog, deren Abtreiben nach Osten das Fahrwasser der Jade versanden würde, und endlich bei Helgoland, dessen Erhaltung von großer strategischer Bedeutung ist, sind große Aufwendungen für Schutzbauten gerechtfertigt.“ See- oder Strandbuhnen sollen an der Nordsee kräftiger sein als an der Ostsee. Wenn es gilt, Stromrinnen abzuweisen, dann sind die Strandbuhnen „von vornherein als Stromschutzbuhnen auszubauen, indem sie bereits bei ihrer ersten Anlage über die Strandlinie hinaus bis in große Tiefen hinabgeführt werden“ (S. 718).

## HOECH, Th. (1917), Ostsee

Es ist auch versucht worden, den leeseitigen Abschluß von Bühnengruppen durch Unterwasserbuhnen herzustellen. Nach HEISER (1927) soll die angeblich gute Verlandung jedoch keinen langen Bestand gehabt haben.

## Zusammenfassung

Eine Unterscheidung von Strandbuhnen und Strombuhnen ist zu erkennen, eine Definition, eine Abgrenzung der Funktion und die daraus abzuleitenden Bauformen bleiben noch unklar. Der Altmeister und Begründer des wasserbaulichen Versuchswesens ENGELS und der bekannte Versuchsingenieur KREY schalten sich in die Diskussion über die Wirkung von Seebuhnen ein. Beide bekennen sich zu den Untersuchungsergebnissen von FÜLSCHER.

Mit dem ersten Weltkrieg wird diese zweite Entwicklungsstufe abgeschlossen.

## 3. Bauzeit 1920 bis 1930

## HEISER, H. (1920), Ostsee

Bei den am offenen Meere liegenden Flachküsten ist der Abbruch bei weitem stärker als die Ablagerung, stellt HEISER (S. 718) fest. Aber „jeder natürlich oder künstlich geschaffene feste Punkt an der Küste, der aus der Uferlinie heraustritt, hemmt die Bewegung der Sinkstoffe und bringt diese zur Ablagerung“<sup>10)</sup>. Somit soll eine zunehmende Ansammlung erreicht werden und die Sandanhäuerung nach und nach über den Wasserspiegel hinauswachsen, so daß der nasse und der trockene Strand verbreitert und erhöht werden. Es wird (S. 722) noch von einer „sehr nahen Verwandtschaft mit den Bühnen eines Flusses“ gesprochen<sup>10a)</sup>.

In dieser Abhandlung erwähnt HEISER, daß sämtliche beim Baggern in den Schiffahrtsrinnen gewonnenen Bodenmassen möglichst nahe am Strand verschüttet und daß dadurch günstige Erfolge erreicht wurden (S. 774). Dieser Hinweis verdient festgehalten zu werden, weil die künstliche Zufuhr von Sand neuerdings mehr und mehr in Betracht gezogen wird.

## PROETEL, H. (1921), Nordsee, Nord- und Ostfriesische Inseln

PROETEL unterscheidet Strand- und Strombuhnen. Strandbuhnen haben den Zweck, „das Abwandern der vom Wellenschlage gelösten Erdmassen zu verhüten und wenn möglich die von anderwärts herrührenden auf dem Strande fortbewegten Sinkstoffe zur Ablagerung zu zwingen“. Strombuhnen sind erforderlich, wenn sich tiefe Rinnen einem Ufer nähern und diese durchbaut werden müssen. – PROETEL bestätigt die Grundeinstellung FÜLSCHERS; er schreibt: „Die Kosten von Uferschutzwerken sind meistens viel erheblicher als der Wert des in einem Menschenalter verlorengehenden Landes. Sie sind daher nur dort am Platze, wo besondere Gründe für die Erhaltung des Ufers vorliegen, wenn beispielsweise Ortschaften zu schützen sind, wenn die Vernichtung eines für den Wohlstand einer ganzen Gegend bedeutungsvollen Badestrandes zu befürchten ist (Ostfriesische Inseln) oder wenn Landdurchbrüche die Verwilderung eines Fahrwassers zur Folge haben würden.“

<sup>10)</sup> Vgl. GERHARDT (1900).

<sup>10a)</sup> Vgl. KELLER (1881/82) und SCHULZE (1911).

HEISER, H. (1925), Ostsee

Daß Buhnen und Hafendämme<sup>11)</sup> als künstliche Einbaue vor dem Strande die Sandwanderung hemmen und die Sandzufuhr beeinträchtigen, wiederholt HEISER in seinem Beitrag über den Rückgang der deutschen Ostseeküste. Er bezweifelt, „ob die Ostseeküste auch dann unveränderlich bleiben würde, wenn es gelänge, den durch die Meeresbrandung verursachten Uferabbruch etwa durch künstliche Schutzvorkehrungen aufzuhalten“. HEISER bedauert, daß in der Ausführung von Seebuhnen im Ostseegebiet keine Einheitlichkeit besteht.

HEISER, H. (1927), Ostsee

In einem weiteren Beitrag über den Uferschutzbau an der deutschen Ostseeküste bringt HEISER einen Vorschlag, wie Buhnen wirksam gestaltet werden sollten. Für die Praxis sind solche hypothetischen Angaben allerdings kaum verwertbar: „Die gute Wirkung der Buhnen hängt ab von ihrer Stellung zum Strande, ihrer Länge in See und auf dem Lande, sowie von ihrer Höhenlage von der Wurzel bis zum Kopf. Außerdem ist die Anordnung der Buhnen zueinander und ihr gegenseitiger Abstand, nicht zuletzt auch ihre zweckmäßigste Bauart, für die Güte ihres Erfolges ausschlaggebend.“

LEPPIK, E. (1927), Ostsee

LEPPIK schlägt vor, luvseitig von Hafeneinfahrten mit Molen in einiger Entfernung Buhnen mit sandfangender Wirkung anzulegen, damit diese „den unter normalen Verhältnissen vorhandenen Gleichgewichtszustand“ stören<sup>12)</sup>.

FRANZIUS, O. (1927), Nordsee

FRANZIUS begründet Inselfchutzbauten (S. 218) nachdrücklich so, daß das Küstenland dort als mitgeschütztes Gebiet angesehen werden sollte, „wo Inseln nachweislich die Küste durch Verringerung des Wellenangriffs schützen“ (S. 219). „Man darf dort, wo Küstenströmungen den Strand gefährden, auch vor kostspieligen, oft weit hinausragenden Buhnenbauten oder Durchdämmungen gefährlicher Stromrinnen nicht zurückschrecken, damit die Dünen und der sie nähernde Strand erhalten bleibt.“ Die Durchdämmung gefährlicher Stromrinnen bedeutet einen wesentlich weiter reichenden Schritt als die Durchdämmung der Strandpriele nach KRÜGER (1911). „Das Vorhandensein von Sand in einer Küstenströmung oder beweglichen Sandes im Meer vor dem Strand“ sieht O. FRANZIUS (S. 225) als selbstverständliche Voraussetzung für einen erfolgreichen Sandantrieb durch Strandbuhnen an. Bei tiefen Rinnen, wie z. B. auf Nordey, sei der Sandfang ungenügend.

KRESSNER, B. (1928)

Die Erwartungen, die man an die Wirkung von Seebuhnen geknüpft hatte, wurden oft nicht erfüllt. Besondere Sorgen bereitete die leeseitige Ausbildung von Buhnengruppen, ein immer deutlicher in Erscheinung tretender Übelstand, der zu immer neuen kostspieligen Erweiterungen der vorhandenen Anlagen führte. Die Durchführung eines umfangreichen ersten Modellversuchs erschien deshalb notwendig. Dabei wurde an G. HAGENS Versuche angeschlos-

<sup>11)</sup> Vgl. auch MUSSET (1920 und 1922).

<sup>12)</sup> Vgl. auch G. HAGEN (1863) und SCHULZE (1911).

sen. Als Ergebnis des Modellversuchs schlägt KRESSNER einen allmählichen Übergang von einer Bühnengruppe zum ungeschützten Strand vor, um die an der Leeseite so häufig beobachteten Abtragungen zu verhindern oder doch abzuschwächen. Er glaubt, daß Bühnen in vielen Fällen geeignet seien, den Sandbestand eines Strandes zu halten oder neue Sandmengen aufzufangen, und daß ein widerstandsfähiger Strand ohne Sandzufuhr auch mit künstlichen Mitteln erreichbar sei<sup>13</sup>).

TIEDEMANN, B. und SEIFERT, R. (1930), Ostsee

Im Rahmen der Vorarbeiten für den Hafenausbau Neukuhren war „durch Modellversuche die günstige Führung der Verlängerung der Nordmole nach See hinaus zu ermitteln“. Nebenher wurden Untersuchungen über das Wandern des Sandes im Küstensaum des Samlandes angestellt. Als sandbewegende Kräfte werden angesehen „a) Brandungswelle und Sogstrom (Küstenversetzung) und b) Küstenströmungen (Sandströme), die durch den Wind hervorgerufen werden“.

Über die Wirkung der Sturmfluten heißt es:

„Die Nordwest- bis Nordwinde sind an der Nordküste die gefährlichen, weil sie die Wasser zu außerordentlicher Höhe gegen den Strand stauen und die nach Norden offenen Bühnenfelder ausräumen.“

TORNQUIST rechnet aus, daß durch die Sturmflut (1914 MW + 1,25 m) im Durchschnitt 2 $\frac{1}{2}$ mal so viel fortgeführt ist, als an den günstigsten Strandstellen in einem Jahr gelandet wird.“

KRANZ (1930/31), Nordsee, Ostfriesische Inseln

KRANZ unterscheidet Dünenschutzwerke (Längswerke) und Strandschutzwerke (Querwerke, Bühnen). Letztere sollen eine Abnahme des Strandes verhindern. Diese Gefahr ist dort besonders groß, „wo, wie im Bereich der Seegaten, längs des Strandes dauernd große Strömungsgeschwindigkeiten vorhanden sind“. Die Bühnen müssen also so kräftig gebaut und so tief hinabgeführt werden, daß sie die Annäherung der Seegaten an die Inseln verhindern (Funktion als Strombühnen). „Die Werke haben indessen eine allgemeine Abnahme des Strandes, die auf den Wellenschlag bei den meist auflandigen Winden zurückzuführen ist, nicht verhindern können.“ Dieser Verlust sei ein dauernder, weil eine neue Sandzufuhr auch unter günstigen Windverhältnissen nahezu völlig fehlt. Hier finden wir die Beobachtungen von FÜLSCHER (1905) bestätigt, die sich vornehmlich auf die Funktion als Strandbühne beziehen. KRANZ erwartet jedoch, daß ein Beharrungszustand eintreten wird, wie anscheinend bereits seit längerer Zeit auf Baltrum.

<sup>13</sup>) Etwa um diese Zeit gaben EHRENBERGER (1925) und WINKEL (1928) die Ergebnisse langjähriger Modellversuche über Flußbühnen bekannt und beeinflussten damit eine fast vierzig Jahre zuvor entbrannte heftige Fehde gegen die Art der Flußregelung und gegen die Flußbühne maßgeblich. Im Flußbau haben wir es im allgemeinen nur mit einer Fließrichtung zu tun. Die Strömungsbedingungen sind jedoch an sandigen Küsten im Zusammenwirken mit der Brandung wesentlich komplizierter, insofern ist es verständlich, wenn für die Klärung des Geschehens ein entsprechender Aufwand erforderlich wird.

## DE THIERRY, G. (1931), Ostfriesische Inseln

Während sich KRANZ zu der These von FÜLSCHER bekennt, wonach die Erhaltung der Inseln für das Hinterland nicht von Wichtigkeit sein soll, glaubt G. DE THIERRY, es stehe keineswegs fest, daß sie richtig sei. Hierüber eine Feststellung zu machen, sei außerordentlich schwierig. „Die Ansichten über alle diese Fragen gehen heute noch so weit auseinander, daß wir für einheitliche Maßnahmen zum Schutze der Inseln kaum feste Regeln aufstellen können. Wir sind noch im Stadium des Versuchs...“ Die größte Gefahr bestehe dann, wenn sich tiefe Rinnen dem Strande nähern. „Dies scheint im Laufe des letzten Jahrhunderts in Vergessenheit geraten zu sein.“

## ZYCHLINSKI (1931), Ostsee

ZYCHLINSKI geht in seinem Bericht über die rund 300 im Bezirk des Hafengebäudeamts Kolberg gebauten Buhnen (5 Gruppen) ein:

- „1. auf die Ausgestaltung des östlichen Abschlusses von Buhnengruppen,
2. auf den Abstand der Buhnen innerhalb eines Buhnensystems voneinander,
3. auf die Grundrißanordnung von Buhnen und
4. auf die Ausgestaltung des Landanschlusses von Buhnen...“

Durch sandfangende Buhnenanlagen wird ein erheblicher Teil des wandernden Sandes zum Wiederaufbau der durch Buhnen befestigten Abbruchstrecke festgehalten. Die östlich anschließende Küstenstrecke erhält bis zum vollendeten Wiederaufbau der westlich anschließenden Abbruchstrecke eine verminderte Sandzufuhr und gerät somit je nach den örtlichen Verhältnissen mehr oder weniger in Gefahr, aus Mangel an Sandzufuhr abzubrechen. Durch besondere bauliche Maßnahmen wird man bis zu einem gewissen Grade den wohl in der Natur der Sache liegenden unvermeidlichen östlichen Abbruch immerhin hintanhaltend können. Es kommt dabei besonders darauf an, den östlichen Abschluß einer Buhnengruppe so zu gestalten, daß der nach Osten gerichtete Küstenstrom an die östlich der Buhnengruppe anschließende Strandstrecke herankommen kann, um hier die von ihm immerhin noch mitgeführten Sande zur Ergänzung der Abbrüche ablagern zu können.“

Zu den von HEISER (1927) und KRESSNER (1928) vorgeschlagenen Maßnahmen schreibt ZYCHLINSKI: „Allein die inzwischen gesammelten Erfahrungen mit den in dieser Weise zunächst östlich abgeschlossenen Buhnengruppen... lassen wohl bereits mit hinreichender Sicherheit erkennen, daß die Abschrägung der Buhnenstreichlinie zum Strande hin kein so erfolgreiches und ausreichendes Heilmittel gegen den Weiterabbruch der Küste nach Osten zu darstellt. Im Gegenteil, es konnte ein besonders schnelles Weiterabbrechen der Küste beobachtet werden, so daß weitere Ergänzungsbuhnen notwendig wurden. Der verstärkte Abbruch muß wohl darauf zurückgeführt werden, daß die Zuführung des Küstenstromes gegen den Strand trotz des schwach geneigten Anfalles der Streichlinie an den Strand immer noch zu hart war und daher der damit erstrebte Vorteil der Sandzuführung durch die sich gleichzeitig auswirkenden Angriffskräfte voll aufgehoben wird.“

In bautechnischer Hinsicht behält sich ZYCHLINSKI ein Urteil über die Bewährung der Versuchsuhnen aus eisernen Spundbohlen vor.

„Zusammenfassend darf noch einmal hervorgehoben werden, daß die bei den umfangreichen Seebuhnenbauten im Hafengebäudeamtsbezirk Kolberg gemachten Erfahrungen und Beobachtungen sowie die sich daraus ergebenden Gesichtspunkte für die Planung und Durchführung von Buhnenanlagen vornehmlich an der Ostseeküste noch in mancher Hinsicht der weiteren Erprobung bedürfen und sich unter den verschiedenartigsten Seeverhältnissen, namentlich bei Sturmfluten und Eisversetzungen, erst voll bewähren müssen, ehe man ein endgültiges Urteil über sie abgeben kann und sie allgemein zur Anwendung empfehlen darf.“<sup>14)</sup>

<sup>14)</sup> Vgl. POPPE (1942).

## Zusammenfassung

Auf einer Tagung der deutschen Hafenbautechnischen Gesellschaft waren die mit dem Bau von Seebuhnen verbundenen Fragen Gegenstand eingehender Erörterung gewesen. Aber von noch weittragenderer Bedeutung ist das Ergebnis des XV. Internationalen Schiffahrtskongresses in Venedig zu unserem Problem<sup>15</sup>). Es sei noch nicht möglich, endgültige Grundsätze vorzuschlagen. Interessant wären auch die Berichte über Mißerfolge gewesen; sie wurden aber vermißt. „Jedem Entwurf zur Verteidigung der Küsten gegen das Meer muß vorausgegangen sein ein eingehendes Studium der Örtlichkeit und aller Umstände, die die Küstenbildung, die Natur, die Gestalt und die Lage der Küste betreffen; die durch die Wellen, durch die Strömungen verschiedener Art, durch die atmosphärischen Niederschläge und durch die Eisschollen ausgeübte Wirkung; die Herkunft und die Art der den Strand bildenden Stoffe; die Abflussumenge der am Strande mündenden Wasserläufe und das Verhalten der Mündungen dieser Wasserläufe; die Lage und das Verhalten der Süßwasser enthaltenden Wasserflächen, die dem Meere zufließen; der durch Neubauten im Meer ausgeübte Einfluß, die an der Küste vorspringen.“ Die Ursachen der Einwirkung des Meeres auf die Küsten sollten ergründet werden. Die deutschen Modellversuche seien mit gutem Erfolg durchgeführt worden, so daß empfohlen wurde, Versuche in der Natur und im Modell fortzusetzen<sup>16</sup>).

Mit diesen richtungweisenden Empfehlungen wenden wir uns dem nächsten Abschnitt zu.

## 4. Bauzeit 1931 bis 1945

## OTTMANN (1934), Ostsee-Nordsee, Wangerooge

Gleichsam symbolisch können wir unseren Altmeister der Wasserbaukunst, GOTTHILF HAGEN, in diesem Abschnitt nochmals voranstellen, um die nach OTTMANN weiterhin gültigen Teile seines überragenden Werkes vor der Vergessenheit zu bewahren und einer jüngeren Generation zugänglich zu machen.

## GAYE, J. (1934), Nordsee, Ostfriesische Inseln

Die Entwicklung und Erhaltung der Ostfriesischen Inseln untersuchte das Wasserbauamt Norden seit 1928 in ministeriellem Auftrag. Dabei wendete man den Blick — wie schon KRÜGER — weit hinaus auf die vorgelagerten Platen. Somit konnte auch das Wandern des Sandes durch die Priele und Gatn erklärt werden. Als Hauptwanderzone des Sandes vermutet GAYE den Bereich zwischen 0 und 5 m unter Niedrigwasser. Aus dem Vergleich verschiedener Vermessungen schließt er auf eine Wandergeschwindigkeit von 250 bis 500 m im Jahr von Westen nach Osten (S. 295). Für die Schutzbauten sei von Bedeutung, daß sich der Strand sehr stark verbreitert, sobald eine Plate durch ein Gat oder einen Priel gewandert ist. Durch die Sandwanderung werden die Inseln erhalten und vielleicht noch weiter aufgebaut. GAYE fordert (S. 299) ein gründliches Studium und langjährige planmäßige Beobachtungen und Messungen der hier wirkenden Naturkräfte Wind, Gezeiten, Meeresströmungen, Brandung, Sturmfluten usw. Erst wenn der gesetzmäßige Ablauf des Naturgeschehens erarbeitet sei<sup>17</sup>),

<sup>15</sup>) Vgl. COEN CAGLI (1931) und G. DE THJERRY (1931).

<sup>16</sup>) Vgl. auch HEISER, H. (1932).

<sup>17</sup>) Vgl. G. HAGEN (1863).

können menschliche Eingriffe mit größerem Erfolg vorgenommen und verantwortet werden. Ein vollständiger Schutz sei bisher nicht erreicht worden.

WALTHER, F. (1934), Nordsee, Ostfriesische Inseln

Einen Einblick in die verwickelten Gezeiten- und Strömungsverhältnisse im Norderneyer Seegat vermittelt der Beitrag von WALTHER. Die Grundlage für die Untersuchungen bildeten langjährige Wasserstandsbeobachtungen. Stromgeschwindigkeiten wurden mit bifilar aufgehängten, an Bord elektrisch registrierenden Geräten nach RAUSCHELBACH gemessen, die Wasserräume aus Seekarten ermittelt und die Durchflussmengen in den Seegaten bestimmt (S. 152).

„Es ist sicher, daß vielfach die erst durch die Brandung in Bewegung gebrachten Sandteilchen um so leichter durch die Strömung fortgeführt werden und daß daher durch Zusammenwirken beider vorwiegend nach Osten gerichteten Kräfte die Wanderung des Sandes beschleunigt wird... Die Folge aller dieser seit langen Zeiten in gleicher Richtung wirkenden Kräfte sind weitere Veränderungen im Norderneyer Seegat und am Westende der Insel Norderney auch nach Erbauung der Uferschutzwerke gewesen... Die Werke haben zwar in ihrem Bestande erhalten werden können. Die tiefe Stromrinne am Westende der Insel hat sich jedoch im Laufe der Jahrzehnte infolge des von Westen wirkenden Druckes der Sandmassen eingeengt und gleichzeitig vertieft.“

Die Ursachen dieser Tendenz wurden durch bisher ergriffene Schutzmaßnahmen nicht beseitigt. WALTHER weist zum Schluß (S. 153) darauf hin,

„daß die (natürliche oder künstliche) Änderung eines der untersuchten Hauptmerkmale auch Veränderungen der übrigen Verhältnisse nach sich ziehen wird“.

GAYE, J. und WALTHER, F. (1935), Nordsee, Ostfriesische Inseln

Im folgenden Jahre legen GAYE und WALTHER die Ergebnisse ihrer gemeinsamen Untersuchungen über die Wanderung der Sandriffe vor. Sie stellen fest,

„daß neben den Strömungen dem Wellenschlag eine große Bedeutung für die Verfrachtung der Sandmassen zukommt... Es ist anzunehmen, daß die versetzende Wirkung in der Wellenrichtung der auf den Sandbänken der Riffgürtel vor den Seegaten stehenden Brandung besonders stark – stärker als am Strande der Inseln – ist“.

Die Strandbildung, Fluthaken und Sandriffe werden durch eine Reihe von Luftbildern aus den Jahren 1929 bis 1933 veranschaulicht, die als vorzügliches Hilfsmittel für Untersuchungen im Küstenbereich hergestellt und ausgewertet wurden. (HEISER hat 1933 je eine Luftaufnahme von der Hamburger Hallig und von der Insel Trischen veröffentlicht und damit ein für die Zukunft sehr wichtiges Untersuchungsmittel erstmalig herausgestellt).

Auch vor Norderney hat man Baggergut verklappt und damit zur Aufhöhung des Strandes beigetragen.

„Es sind im Jahre 1899 150 000 m<sup>3</sup> und in den Jahren 1906 bis 1909 zusammen 500 000 m<sup>3</sup> gebaggert worden“<sup>18)</sup>. — Durch den Bau der Bühnen ist es gelungen, ein weiteres Herandrängen der tiefen Stromrinne zu unterbinden. „Dagegen konnte die Abnahme des im Bereich des Brandungsschlages liegenden Strandes (oberhalb der 6-m-Tiefenlinie) durch diese Maßnahmen nicht verhindert werden“<sup>19)</sup>.

<sup>18)</sup> Vgl. HEISER (1920).

<sup>19)</sup> Vgl. FÜLSCHER (1905) und KRANZ (1930/31).

## HIBBEN, J.-A. (1935), Nordsee, Ostfriesische Insel Borkum

Der Anlaß für HIBBENS Arbeit über die Strandschutzbauten auf der Insel Borkum war in den Mißerfolgen mit Strandbuhnen gegeben. „Da der Fortbestand des Buhnensystems aber unbedingt notwendig war, ein Verfall der Buhnen mit Sicherheit auch einen solchen des Dünen-schutzwerkes gehabt und damit einen Verzicht auf den Inselfchutz selbst bedeutet hätte, waren unter Aufgabe der bisherigen, unter den im Laufe der Jahre eingetretenen veränderlichen Verhältnissen nicht bewährten Bauweise, neue Wege im Strandbuhnenbau zu beschreiten“ (S. 4/5). Als 1869 mit dem Bau der ersten Strandbuhnen am Westrand der Insel begonnen wurde, war dieser zwischen der Düne und der Niedrigwasserlinie 180 bis 200 m, also verhältnismäßig sehr breit! „Die bei ihrer Erbauung dem Strande sowohl im Längs- wie im Querprofil möglichst angeschmiegtten Buhnen erhielten im Laufe der Jahre infolge Abnahme des Strandes eine höhere Lage über der Strandfläche und boten damit der See günstigere Angriffsmöglichkeiten“ (S. 11). Diese Beobachtung finden wir seit FÜLSCHER (1905) mehrfach auch in anderen Gebieten bestätigt. Die günstigen Wirkungen, die HIBBEN an den Buhnen auf dem Südstrand von Borkum beobachtete, haben sich später<sup>20)</sup> als nicht gültig erwiesen. Offensichtlich war die Beobachtungszeit zu kurz. „Die Buhnen haben ihren Zweck insofern erfüllt, als der Südstrand nach ihrem Bau dem Angriff der See nicht mehr ungeschützt ausgesetzt war und demzufolge annähernd in seiner Höhenlage erhalten werden konnte“ (S. 12).

Wenn sich auch die Vorstellungen über die wirtschaftliche Seite des Buhnenbaues im Laufe der Jahrzehnte gewandelt haben, so ist die Untersuchung für Borkum doch generell von Bedeutung. Leider haben nur wenige Autoren entsprechende Mitteilungen veröffentlicht. HIBBEN schreibt, daß die Kosten bis 1916 für Unterhaltung der Anlagen und für die Beseitigung der Sturmflutschäden 42 v. H. der gesamten Ausgaben für Neu- und Ergänzungsbauten betragen (S. 12),

„wobei zu beachten bleibt, daß letztere im gewissen Sinne auch als Unterhaltungskosten gewertet werden können“.

## KRAUSE, E. (1935), Ostsee

Küstengestaltende Kräfte, Sinkstoffbewegung im Küstensaum und Strandbuhnen wurden von KRAUSE bei einem Vergleich der Ostseehäfen Rügenwaldermünde und Kolberg besprochen.

„Die literarischen Abhandlungen weichen jedoch in ihren Ergebnissen teilweise voneinander ab und zeigen auch sich widersprechende Ansichten grundsätzlicher Art.“

Man dürfe deshalb die Forschungen der Ozeanographie, Geologie, Meteorologie usw. nicht unbeachtet lassen. Wichtig seien vor allen Dingen systematische Strömungsmessungen, denn das Schrifttum hat nicht überall mit der für die Erkenntnis der verschiedenen Stärkegrade der Ströme nötigen Klarheit die Trennung zwischen Küstenversetzung und Küstenstrom durchgeführt. Die von LEPPIK (1927)<sup>21)</sup> vorgeschlagenen Buhnenanlagen luvseitig der Molen sind nach KRAUSE nicht empfehlenswert. Wertvolle Erkenntnisse können nach seiner Ansicht planmäßig durchgeführte Modellversuche bringen. Auf Naturbeobachtungen und Messungen könne jedoch nicht verzichtet werden.

<sup>20)</sup> Vgl. EILMANN (1937) und BRAUN (1957).

<sup>21)</sup> Vgl. auch G. HAGEN und SCHULZE.

SCHUMACHER, W. (1937), Nordsee, Ostfriesische Inseln

Die große Umgestaltung der ostfriesischen Inseln habe durch die Uferschutzwerke ein Ende gefunden, meint SCHUMACHER; diese hätten damit an Wert für den Schutz der Festlandküste gewonnen.

Nach der Sturmflut 1906 sollte Juist eine Schutzmauer von 1400 m Länge mit sieben Bühnen erhalten. Die Anlagen versandeten aber schon während der Bauausführung. Da diese Bauwerke bis heute unter Sand verdeckt geblieben sind, haben sie die ihnen zugeordnete Funktion nie übernehmen können.

SCHMIDT, R. (1937), Nordsee und Ostsee

Die Übersicht über einige wesentliche Veröffentlichungen seit 1900 schließt SCHMIDT mit der Ansicht, daß wir mit dem Strandschutz „auf dem richtigen Wege“ seien<sup>22)</sup>.

Nach einer mündlichen Auskunft von K. LÜDERS wurden vor 1914 nördlich des Dorfes auf Wangerooge etwa acht Bühnen und eine Strandmauer gebaut, die ebenfalls alsbald übersandeten und bisher noch nicht wieder freigelegt worden sind.

Ähnlich war es auf Spiekeroog, wie es FÜLSCHER schon im Jahre 1905 erwähnte.

EILMANN (1937), Nordsee, Ostfriesische Inseln

Nach den schweren Sturmfluten des Jahres 1936 beschreibt EILMANN die Schäden an der ostfriesischen Küste. Auf Borkum „bedeuten alle Sturmfluten zur Zeit eine erhebliche Gefahr, weil inzwischen der Strand tiefer geworden ist und weil die Bauweise der Bühnen der jetzigen Beanspruchung nicht mehr genügt (S. 198) ... Infolge der Strandabnahme ragen die Bühnen jetzt hoch aus dem Strande hervor<sup>23)</sup> ... Die Bühnen auf Norderney, Baltrum und Spiekeroog, die noch gut unterhalten werden konnten, haben keine Schäden erlitten, die über das gewöhnliche Maß eines Winters hinausgehen. Die seitliche Einfassung der Bühnen durch dichtschießende eiserne Spundwände hat größere Schäden verhindert. Sämtliche bisher gebauten neuen Bühnen aus Stahlspundwänden haben alle Sturmfluten gut überstanden.“

LÜPKES, H. und SIEMENS, H. P. (1938), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

Der rund 40 km lange Weststrand von Sylt unterliegt bei höheren Fluten, vorwiegend durch den Angriff der Brandungswellen, einem ständigen Abbruch. Durch Sturmfluten werden Schwankungen der Höhenlage des Vorstrandes bis zu etwa 2,5 m bewirkt. FRANZIUS, L. (1884) hatte mitgeteilt, daß die Höhe des Strandes in wenigen Wochen um etwa 1 m abnehmen könne.

„Die Beobachtungen über die Wirkung dieser Bühnen zeigen deutlich, daß sich in Feldern von genügend langen Bühnen in Zeiten mit gewöhnlicher Witterung ganz bedeutende Sandmengen in beträchtlicher Höhe und Breite ablagern, die einen Sandvorrat bilden, der erst bei hohen

<sup>22)</sup> Vorwiegend küstenmorphologischen Inhalts sind die Aufsätze von BACKHAUS (1937), JANSEN (1933 und 1937), KRÜGER, W. (1937 a und b) und LÜDERS (1929, 1930, 1932, 1935 a und b), die wertvolle Beiträge zur Erklärung der Sandwanderung im ostfriesischen Inselbereich darstellen.

<sup>23)</sup> Vgl. HIBBEN (1935).

Fluten abgenagt werden muß, bevor die Wellen Abbrüche an der Steilküste verursachen können. Durch die Buhnen wird also zum mindesten eine wirksame Verzögerung des Gesamtabbruchs erreicht. Ein endgültiger Schutz des Sylter Weststrandes gegen große Sturmfluten kann durch Strandbuhnen allein nicht erreicht werden, sondern ist nur durch ein schweres Längswerk möglich.“

Die Verfasser sprechen den Strandbuhnen allein keine nachhaltige, sondern lediglich eine abbruchverzögernde Wirkung zu. Nur schwere Längswerke könnten den Abbruch aufhalten.

MÜLLER, Fr. und FISCHER, O. (1937), Nordsee, Nordfriesische Insel Amrum

Der Abbruch von Dünen durch Sturmfluten war auch der Anlaß für den Buhnenbau am Nordweststrand der Insel Amrum 1894/99 und für die Wiederherstellung des Buhnensystems nach den

„Strand- und Dünenverlusten der Jahre 1911, 1914, 1916 und 1917 (S. 162). Bis zum Sommer 1930 war die Versandung der Buhnenfelder von Süden her schon so weit fortgeschritten, daß weitere Maßnahmen nicht erforderlich wurden... Die Heranwanderung des Kniepsandes ermöglichte auch die Heranziehung einer Vordüne vor dem Risumdamm“ (S. 166).

Die Versandung der Buhnengruppe am Nordweststrand von Amrum ist mit den Vorgängen auf Juist, Spiekerooog und Wangerooog zu vergleichen<sup>24)</sup>.

Am Südstrand vor Wittdün begann man nach den Sturmflutschäden der Novemberflut 1911 zunächst mit dem Bau einer senkrechten, hohen Strandmauer wie vor Westerland. Und „da die von Natur ungünstigen Verhältnisse den Bestand der Ufermauer in Frage stellten“, wurde der Einbau mehrerer Buhnen unmittelbar nach Fertigstellung der Strandmauer (1914) zu deren Sicherung und um den Strand auf der gefährdeten Strecke festzulegen, angeordnet. Die Buhnen wären zunächst zu schwach und zu kurz gewesen, so daß umfangreiche Erweiterungs- und Instandsetzungsarbeiten vorgenommen wurden.

MÜLLER, Fr. und FISCHER, O. (1938), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

Der von Anfang an verhältnismäßig große Aufwand für den Strandschutz der Insel Sylt läßt immer wieder die Frage nach der Wirkung der Strandbuhnen aufkommen. Nach MÜLLER und FISCHER gehen die Ansichten weit auseinander, von FÜLSCHERS Deutung bis zu der „sich nach Kriegsschluß allgemein durchsetzenden Ansicht von der günstigen Wirkung der Buhnen“ (S. 235).

Vom damaligen Wasserbauamt Husum sind zahlreiche Versuche durchgeführt worden, um eine beständige Bauweise unter Erprobung von Holz und Steinen, Beton, Eisenbeton und Stahlspundwänden zu entwickeln. Es habe auch nicht an Vergleichen der Abbruchmaße von Abschnitten mit und ohne Buhnen gefehlt, ohne daß diese recht befriedigten.

FISCHER, O. (1938), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

FISCHER befürwortet die Strandbuhnen vor Sylt. „Aus dem Vergleich der Umrißlinien für die Sylter Westküste ergibt sich, daß die Veränderungen in der Jahresreihe 1793/1878 wesentlich größer gewesen sind als in der Reihe 1878/1929, und zwar unter Berücksichtigung der ungleichen Länge beider Reihen... Im Bereiche der Strecke, die bis zum Jahre 1899 mit Buhnen ge-

<sup>24)</sup> Vgl. SCHUMACHER (1937), FÜLSCHER (1905) und LÜDERS, S. 24.

sichert worden ist, zeigt sich eine deutliche Verlangsamung des Abbruchs in der letzten Jahresreihe gegenüber der ersten Reihe. Mit ziemlicher Sicherheit wird dieser günstige Einfluß den seit dem Jahre 1865 begonnenen Schutzbauten am Weststrande, die ursprünglich nur im Vordünenbau bestanden und später durch den Bühnenbau ergänzt wurden, zuzuschreiben sein. Die zugrunde gelegten Jahresreihen sind lang genug, um in großen Zügen die Veränderungen der Westküste vor und nach ihrer Sicherung und damit die Wirkung der Schutzbauten zuverlässig beurteilen zu können. Die vorstehenden Ergebnisse werden auch durch das abweichende Verhalten kürzerer Strecken in kurzen Zeiträumen, das je nach den örtlichen Verhältnissen verschieden sein kann, nicht beeinflußt. Weil ein derartiger Nachweis bisher fehlte, ist der wirtschaftliche Wert der Bühnen wiederholt bestritten oder als geringfügig bezeichnet worden.“ Nach zahlreichen Versuchen sei die Eisenbühne als zweckmäßige Bauweise ermittelt worden. In neuester Zeit habe man damit begonnen, die besonders gefährdeten Stellen, „wo der starke Abbruch durch Bühnen kaum verlangsamt werden konnte, durch Längswerke endgültig zu schützen“.

Obgleich FISCHER nachzuweisen versucht, daß der Abbruch der Insel Sylt seit dem Vorhandensein von Schutzbauten langsamer vonstatten ging, folgert er für besonders gefährdete Stellen, daß Bühnen hier kaum nützen. Schwere Längswerke seien dann erforderlich<sup>25</sup>).

#### PFEIFFER (1938), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

Auch PFEIFFER trat der Ansicht bei: „Das neue System von eisernen Bühnen hat den Abbruch der Dünen vermindert. Die Bühnen sind aber nicht imstande, an den Stellen besonders starken Abbruchs ihn völlig zu verhindern. Der Bühnenbau in der bisherigen Form mit leichten eisernen Bühnen wird daher in Zukunft nur an den Stellen geringen Abbruchs weitergeführt werden“ (S. 51).

#### LORENZEN, J. M. (1938), Nordsee, Nordfriesische Inseln

In einem programmatischen Aufsatz über Planung und Forschung im Gebiet der schleswig-holsteinischen Westküste fordert LORENZEN im groß abgesteckten Rahmen u. a. eine Untersuchung über den Abbruch vor Sylt und seine Ursachen, weil hier noch eine Reihe von grundsätzlichen Fragen ungeklärt geblieben sei.

#### BAHR, M. (1938), Nordsee, Insel Helgoland

Seebühnen wurden auf der Insel Helgoland (1896 bis 1900) nach dem Entwurf des Oberbaudirektors L. FRANZIUS gebaut. Ein Einfluß der Bühnen vor der Düne auf den Tidestrom sei jedoch nicht beobachtet worden. Bei Strömungsmessungen hätte man eine Wirkung feststellen müssen. „Es ist aber aus allen Karten ersichtlich, daß die Strömungen nirgends durch die Bühnen abgelenkt oder gestaut werden. Ein solcher Einfluß der Bühnen war auch von vornherein nicht zu erwarten, denn sie sind als flachgewölbte Packwerkskörper gebaut, die sich nur an einzelnen Stellen mehr als 1 m über den Grund erheben<sup>26</sup>) . . . Nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse mußte den Bühnen ein Erfolg versagt bleiben, und die Entwicklung der Düne seit 1900 liefert die Bestätigung dafür.“ Den einzigen Dauererfolg sieht BAHN darin, daß die Bühnen „auf dem Tidestrand bis etwas unterhalb der Niedrigwasserlinie die Strömungen in geringem Maße am Angriff auf den Grund hinderten und die Bildung von Längsprielen unterbanden. Dadurch ist der Abbruch der Düne etwas verzögert worden“. Das Bühnensystem wurde weiter-

<sup>25</sup>) Vgl. auch LÜPKES und SIEMENS (1938).

<sup>26</sup>) Vgl. auch GERHARDT (1900).

hin unterhalten, „weil man immer noch auf einen Erfolg hoffte“, bis es 1927 aufgegeben wurde. Die Helgoländer hielten die Buhnen für schädlich, weil sie annahmen, daß diese die Wellen auf den Strand lenken.

#### HANSEN, A. (1938), Ostsee

„Der Meisterung der Küstenzerstörungskräfte stand man lange ziemlich machtlos gegenüber; heute ist das in dem Maße nicht mehr der Fall. Eine Lehrzeit, die Jahrzehnte umfaßt, liegt hinter uns und – noch vor uns... Doch die Anzeichen, daß wir uns den Meisterjahren nähern, mehren sich.“ Bis um die Mitte des vorigen Jahrhunderts habe kein Bedürfnis vorgelegen, von Staats wegen Maßnahmen zur Sicherung der Ufer zu treffen. Bis dahin versuchten einzelne Uferanlieger, ihre Werte mit einfachsten Mitteln vor der anbrandenden See zu schützen. „Erst als der Staat sich der Nöte der Küstenanlieger annahm und seine Fachleute entsandte, kam man aus dem behelfsmäßigen Stadium heraus in das Stadium der Versuche, in dem wir uns noch heute befinden.“

HANSEN schreibt, daß man die Krankheit des Landabbruchs nach Ursache und Wirkung erkennen und erfassen müsse, dann werde sich auch ein Heilmittel finden. Theoretische Überlegungen zur Lösung der Küstensicherungsfragen würden nicht zum Erfolg führen. Nur praktische Beobachtungen würden die Entwicklung fördern. Den Modellversuchen billigt er eine bedingte Hilfestellung zu.

„Vorbedingung für alle Küstenschutzmaßnahmen ist erstmalig die Feststellung der Breite des sandführenden Küstenstromes. Es gilt, die Sandführung des Küstenstromes zum Stillstand oder auf ein Mindestmaß zu bringen, d. h. praktisch auf eine kleine Uferlänge zu beschränken.“

HANSEN verspricht sich nur von dem in sich geschlossenen Ausbau der gesamten in Abbruch liegenden Uferstrecken einen Erfolg und vertritt damit eine außergewöhnliche Hypothese über die Notwendigkeit des Küstenschutzes an der Ostsee. Das „System der festen Punkte“ in der von HEISER nach GERHARDT (1900) vorgeschlagenen Form lehnt er ab und schlägt dafür das „Totalitätsverfahren“ vor: „Auf der ganzen Länge der Abbruchküste sind Großbuhnen aus Eisenspundwänden in 500 m Abstand bis zur zweiten Sandbank vorzusehen.“ Dieser Vorschlag geht in seiner folgerichtigen Anwendung sehr weit, obgleich „praktische Ergebnisse über die Bewährung der eisernen Spundwände in ausreichendem Maße“ noch nicht vorlagen, wie er selbst betont. „Die Großbuhnenbauweise, die sich den natürlichen Vorgängen anpaßt und sich ihrer bedient, gewährt einen ausreichenden Küstenschutz. Daneben verbindet sich mit verhältnismäßig billiger Herstellung der Bauteile hohe Lebensdauer bei vor allem geringen Unterhaltungskosten.“

Ganz abgesehen davon, daß die billige Bauweise mit eisernen Spundwänden schon 1942 von POPPE als falsch erkannt worden ist, bedeutet die Großbuhnenbauweise im „Totalitätsverfahren“ einen derart harten Eingriff in die natürliche Küstenentwicklung, daß entsprechend harte und kostspielige Rückschläge unvermeidlich hätten folgen müssen.

#### TEUSCHL (1940)

Im Zentralblatt der Bauverwaltung schreibt TEUSCHL über Erfahrungen bei Küstenschutzbauten: „Buhnen bilden ein Hindernis für Bewegungen in der Richtung des Küstenstriches und sind somit dort am geeignetsten, wo die vorherrschenden Winde fast ausschließlich Seegang hervorrufen, der die Küste geneigt trifft. Bei Seegang senkrecht zur Küstenlinie erfolgen die Schwingungen der Wassermassen und somit auch des durch diese bewegten Materials fast in einer senkrechten Ebene. Ein Einbau senkrecht zur Küstenlinie, also in der Bewegungsrichtung liegend, kann wohl kaum von Nutzen sein. Meistens ist dessen Wirkung aber schädlich.“ TEUSCHLS Schlußfolgerungen sind im deutschen Schrifttum neu und funktionell von übergeordneter Bedeutung. Sie lauten:

- „1. Die Hauptursache der Bewegungen des Materials längs der Küsten ist der Seegang.
2. Jeder Küstenstrich hat seine besonderen, ganz eigenen und bezeichnenden Merkmale, die vor jedem Bau gründlich, mit Geduld und ohne falsch angebrachte Sparsamkeit untersucht werden müssen.
3. Schlüsse auf Grund von gleichartigen Anlagen sind unbedingt zu verwerfen.
4. Der Seebautechniker darf sich nie auf seine Berechnungen allein verlassen, weil diese meistens nur auf Annahmen beruhen können, die der Mannigfaltigkeit und Gewalt der im Spiel begriffenen Naturkräfte nicht genügend Rechnung tragen.
5. Eile und übermäßige Sparsamkeit sind im Seebau immer nur die Ursachen von Mißerfolgen und vermehrten Baukosten.“

#### BACKHAUS, H. (1939/40), Nordsee, Ostfriesische Inseln

Die Wasserbauinspektion Norden/Ostfriesland schlug bereits 1834 den Bau von Buhnen nach dem Muster der Holländer vor, „um die schädlichen Strömungen“ von Norderney abzudrängen. 1846 wurden zwei Buschbuhnen von 40 m Länge gebaut, die im Dezember 1847 schon wieder größtenteils zerstört wurden. Auf eine Instandsetzung wurde verzichtet. „Wenn auch gelegentliche Sturmfluten einen Teil der Strandverbesserungen vernichteten, so wirkte das ständige Setzen und Erneuern von Busch- und Sandfangzäunen in immer engeren Abständen und Vierecken doch so gut, daß noch 1853 der Strand am Nordwesthörn 9 Fuß über ordinäre Flut lag“ (S. 194). Die Sturmflut 1855 riß am West- und Nordwestende der Insel wiederum 20 m von den Dünen fort. Man baute danach zunächst ein Dünenschutzwerk von 900 m Länge (1857/58). Wegen der merklichen Abnahme des Strandes folgte dann unmittelbar darauf der Bau von schweren Strandbuhnen. 1874 beginnt nach BACKHAUS der seebautechnische Einfluß auf die Entwicklung der Insel Wangerooge. „An der Nordwestecke werden die ersten wirkungsvollen Strandschutzwerke (Buhnen) errichtet. 1818–1821 waren zwar schon an der Westseite der Inseln erste Strandbefestigungen (Buhnen) angelegt worden. Diese Werke wurden aber bereits kurz nach ihrer Vollendung zum Teil zerstört. Die Angriffe der Sturmfluten auf den Dünenkern wurden durch diese Anlagen nicht wirkungslos gemacht. Das wurde erst erreicht durch die Errichtung von Dünenschutzwerken, die in späteren Jahren zwischen 1870 und 1880 mit Buhnen zugleich gebaut wurden (S. 217) ... Seitdem ist die Dünen- und Strandgrenze festgelegt.“

Die große Sturmflut von 1825 nahm auch auf Langeoog 30 bis 90 m von den westlichen Dünen. Aber schon 1828 bildeten sich hier neue Dünenreihen, und der Nordwest- und Nordstrand waren breiter geworden, „weil sich neue Sandbänke heranlegten, was seit 1815 schon das drittemal der Fall war (S. 207) ... Die außergewöhnliche Sandzuführung stammte vermutlich zum erheblichen Teil von den starken Abbrüchen am Westende von Baltrum.“ Seit 1825 hatten sich Dünen bis 1840 um rund 125 m nach Westen verlängert!

Langeoog blieb ohne Schutzbauten, hier beschränkte man sich auf Dünenpflege.

Auch auf Spiekeroog ist eine kräftige Sandzufuhr vorhanden. Die Buhnen haben „oft fast vollständig unter Sand gelegen“<sup>27)</sup>, so daß sie kaum Unterhaltskosten verursachten. Es sind zuletzt 1886 und 1914 Riffe herangewandert. Auch jetzt legt sich wieder ein Riff im Nordwesten heran“, d. h. in 28 bzw. 25 Jahren. „Die Dünen Spiekeroogs stellen eine Massenhäufung von Flugsand auf verhältnismäßig kleiner Fläche dar, ein Beweis für das kurzfristige Heranwandern von ausgedehnten Riffen“ (S. 214).

BACKHAUS versuchte, die Gesetzmäßigkeit der Sandwanderung herauszufinden. „Unruhige Wetterlagen bringen mehr oder weniger starke Uferabbrüche, wobei Brandung, Seegang und Strömung (zum Teil als Folge tiefer und großer Wattenräume) das Material in Tiefen bis zu 10, 20 und 30 m hinabverfrachten, von wo es in längeren ruhigen Zeiten wieder strandaufwärts wandert und von neuem den Vorstrand, den Inselsockel, die Inseln, die Watten und die Festlandsküste aufbaut. Die Hauptmenge unseres Stoffhaushalts stammt wahrscheinlich aus der tieferen Nordsee“ (S. 224). Hier taucht also der Gedanke wieder auf, der bereits von KELLER (1881/82) und von L. FRANZIUS (1884) herausgestellt worden war. Um der Sandwanderung auf die Spur zu kommen, seien Strom- und Sandwanderungsmessungen besonders wichtig. BACKHAUS

<sup>27)</sup> Vgl. auch FÜLSCHER (1905).

fordert weiter eine enge Zusammenarbeit der Forschungsstellen nach einheitlichem Plan mit gleichen Geräten, Instrumenten und Methoden. Ferner seien Modellversuche notwendig, da die hier zu lösenden Fragen nicht vom Standpunkt der Ingenieurwissenschaften allein zu bewältigen wären. „Vielmehr müssen, wie immer beim Eingriff in die Natur, viele wissenschaftliche Einzel-fächer zur Klärung der vielseitigen, umfassenden Fragestellung und zur Erfassung der Ganzheit der Naturvorgänge Auskunft geben, so insbesondere die Ozeanographie, Hydrologie, Astronomie, Geologie, Mineralogie, Biologie, Botanik, Zoologie, Bakteriologie, Chemie, Physik, Geographie, Urgeschichte und Geschichte, die hier in den Dienst der Technik treten“ (S. 233)<sup>28)</sup>.

Es ist ein ähnlich großräumiges Programm, wie es von LORENZEN (1938) vorwiegend für das schleswig-holsteinische Watten- und Marschengebiet schon vorher aufgezeigt wurde, als die beiden Forschungsstellen Westküste in Büsum und Husum 1934/35 zu arbeiten begannen.

#### LORENZEN, J. M. (1939/40), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

Zu den Uferschutzmaßnahmen auf Sylt nimmt LORENZEN nochmals Stellung im Rahmen einer Erläuterung und Begründung der an der schleswig-holsteinischen Westküste ausgeführten Vorarbeiten: „Das Westufer der Insel Sylt befindet sich noch heute im Abbruch, die bisherigen Schutzmaßnahmen haben hier den Abbruch verlangsamt, aber nicht aufhalten können. Der See-grund westlich der Insel hat sich in den letzten Jahrzehnten vertieft.“ Es muß „mit einem – vielleicht nicht stetigen – weiteren Abtrag des Weststrandes“ am Ellenbogen gerechnet werden. Jeder gewaltsame Eingriff in den Gezeitenbereich sei, weil erfolglos und gefährlich, zu vermeiden. Aber durch eine zusätzliche zweckmäßige Bühnenanordnung vor dem Uferdeckwerk könnten die angreifenden Kräfte abgewiesen und die Anlandung in gewissen Grenzen gefördert werden (S. 86–89).

#### LÜPKES, H. und SIEMENS, H.-P. (1940), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

Die Sicherung des Ellenbogens von Sylt ist auch Gegenstand einer Abhandlung von LÜPKES und SIEMENS. Zunächst wird berichtet (S. 6), daß das Bühnensystem von 125 Stein- und Pfahlbühnen während des 1. Weltkrieges (1914 bis 1918) „fast ausnahmslos endgültig verfallen“ ist. „Nach einem Versuch mit Eisenbetonpfahlbühnen, die sich aber namentlich wegen der hohen Baukosten und langen Bauzeit nicht durchsetzten, wurde dann der Sylter Weststrand in den Jahren 1927 bis 1937 . . . durch einreihige, rund 100 m lange Strandbühnen aus Spundwandisen gesichert. Mit diesen Schutzwerken allein kann der Abbruch der Sylter Westküste nicht verhindert werden, weil die Bühnen infolge ihrer geringen Höhe und ihrer Richtung, die nahezu senkrecht zur Brandung verläuft, bei hohen Fluten den oberen Strand (Steilküste) nicht schützen<sup>29)</sup>.“

Es werden dann vorläufige Vorschläge für die Anordnung von schweren Unterwasserbühnen vor dem Deckwerk am Ellenbogen gemacht, denn der Schutz des Deckwerkes „gegen die angreifende Meereskraft ist nur durch Querwerke, Bühnen, zu erreichen, deren Lage, Länge und Bauart die angreifenden Kräfte unmittelbar beeinflußt“ (S. 11). Die Unterwasserbühnen sollen unter Anlehnung an die Borkumer und Norderneyer Ausführungen gebaut werden; sie sind allerdings nicht ausgeführt worden. Das Deckwerk wurde einige Jahre später zum großen Teil von den Fluten zerstört.

<sup>28)</sup> Vgl. BACKHAUS (1943).

<sup>29)</sup> Vgl. TEUSCHL (1940).

## WASMUND, E. (1940), Ostsee und Nordsee

Einen nicht zu übersehenden Einfluß auf die Beurteilung des Bühnenbaues an sandigen Küsten hat auch WASMUND ausgeübt mit seinem Aufsatz „Angriff, Aufbau und Verteidigung der Küste“. Er untersuchte im Sommer 1939 mit seinen Schülern GEIB, TAUBER und WIRTZ im Auftrage der Wasserstraßendirektion Stettin an drei Küstenabschnitten Pommerns die Verhältnisse von Strömung, Sandwanderung, Materialhaushalt und Küstenabbruch. Es wird hervorgehoben, daß die Kenntnis über den Stoffhaushalt der Flachsee und über die hier wirkenden Kräfte nicht entfernt mit der Entwicklung der Seebautechnik Schritt gehalten hat,

„ – nicht nur bei uns in Deutschland... Kein Zweifel, wir befinden uns mit allen seebautechnischen Bauweisen und trotz gewissen Stolzes auf die Erfahrungen im Küstenschutz nach wie vor noch im Rückzuge. Die Selbstgewißheit einer Zeit, in der die Technik kein Hindernis kannte –, mit genügend Geld, Maschinen und Material läßt sich jeder Punkt an der Küste halten –, wird ersetzt durch die Sicherheit, die uns bessere Kenntnis der angreifenden Gegenkräfte und der zur Verfügung stehenden natürlichen Verteidigungsmittel verleihen. Erst dann kommen wir von einem Stückwerk taktischer Aushilfen zu einem Verfahren strategischer Abwehr und, darüber hinaus, mit und nicht gegen die Natur zum Gegenangriff als erprobt bester Verteidigung.“ WASMUND begründet seine Ablehnung des von HANSEN (1938) vorgeschlagenen Großbuhnen-systems: „Trotz richtiger kritischer Bemerkungen des Aufsatzes scheint dieses Ziel verfehlt und widerspricht eigentlich dem gesunden Grundgedanken, zu dem der Küstenschutz allmählich gekommen war. Dieser läßt sich kurz dahin ausdrücken, daß alle Schutzwerke nur einen Zweck haben: Die Verbreiterung des Vorstrandes als bestem und natürlichstem Abwehrevorfeld der Hauptverteidigungslinie, d. h. der eigentlichen Küstenlinie. Und bei diesem Grundgedanken werden auch unsere eigenen Vorschläge bleiben.“ Insofern herrsche Einigkeit über das Ziel. Viele Wege seien erprobt mit Längs- und Querwerken. „Buhnen sollen entweder als Wellenbrecher und Stromabweiser oder als Sandfang dienen oder beides. Es liegt nahe, Steilküsten und Flachküsten in der defensiven Verbauung unterschiedlich zu behandeln – wie es auch steigend geschieht –; trotzdem findet man beide Bauweisen wechselnd vor beiden Küstenbildungen... Sicher aber ist es falsch, Buhnen dort als Sandfänger zu bauen, wo eine Sandwanderung fehlt oder wo man ihrer nicht sicher ist... Wenn der Abbruch völlig verhindert wird, verschwindet auch die zur Küste gleichlaufende Sandwanderung, und damit verlieren die Querwerke ihren Sinn... Dort aber, wo die Sandernährung fehlt oder schwach geworden ist und die See starke Angriffskräfte zur Verfügung hat – z. B. Sylt, West-Darß, Bughals auf Rügen, Kurischer Nehrungshals bei Sarkau, Weststrand von Borkum, Norderney und Wangerooge – können auch die besten Buhnen dem Strand nicht mehr viel aufhelfen.“ Die submarine Abrasion reicht in der Ostsee 20 bis 30 m und in der Nordsee bis vielleicht 50 m tief, d. h. wesentlich tiefer, als bisher allgemein angenommen wurde. Hierzu sei auf die Hinweise von KELLER (1881/82), L. FRANZIUS (1884) und BACKHAUS (1939/40) verwiesen. Somit sei denkbar, daß aus der See ein Teil des Sandes herangeführt werde.

Die Buhnen haben nach WASMUND zwei Grundfehler: sie verursachen Kolke am Bühnenkopf und erodieren in Bühnenlee. „Nie wird eine wie immer geartete Bühnenform zu allen vorhandenen Angriffsrichtungen der See mit wechselnden Angriffsstärken die beste Form besitzen; außerdem wirkt sie nicht nur sandfangend, sondern stromlenkend, sogar stromerzeugend... Ein Mittel, die Bühnengruppe störungsfrei auslaufen zu lassen, gibt es noch nicht.“

WASMUND prägt für diese Erscheinung den Ausdruck „Lee-Erosion“ und spricht als erster von der Möglichkeit einer stromerzeugenden Wirkung. Er empfiehlt die Durchführung von Modellversuchen. Die Küstenverteidigung müsse flächenhaft erfolgen und nicht in starren Linien, denn es gelte Flächen zu erhalten oder zu schaffen. Untersuchungen sollten in verstärktem Maße angesetzt werden, um die vorhandenen Lücken zu schließen. Wir sind noch „weit entfernt von einer mengenmäßigen Erfassung der Beziehung aller treibenden Kräfte“. Aber auch die vorhandenen Meßgeräte und neue Bauweisen müßten weiter entwickelt werden.

## WALTHER, F. (1940), Ostsee und Nordsee

Auf die Ausführungen von WASMUND entgegnet WALTHER unter der Überschrift „Naturforschung und Seewasserbau“ mit einer programmatischen Erläuterung der Aufgaben, die sich für den Wasserbauingenieur bei der Planung von Uferschutzanlagen ergeben. „Es gibt viele Wissenschaften vom Meer, aber keine totale Meereswissenschaft . . . Der Küsteningenieur wird nie Fachgeologe, Geograph oder Ozeanograph sein können, aber er will und muß innerhalb des ihm gestellten Aufgabenkreises Gestalter der technisch vollendeten Lösung und Kenner der Küste und des Stoffhaushalts sein.“

## LORENZEN, J. M. (1941), Nordsee, Nordfriesische Inseln

Die Forderung von 1938, gründliche großräumige Untersuchungen über die Sandwanderung durchzuführen, wird wiederholt. Es sei notwendig, „soweit wie möglich ein genaues Bild über die Veränderungen des vor der Küste liegenden Meeresgrundes und die Ursachen hierfür, nämlich die gestaltenden Wirkungen der Gezeitenkräfte, festzustellen. Dieser Weg müßte selbst beschritten werden, wenn man zu der Überzeugung gelangen würde, daß die großen, durch die Gezeiten bedingten Umlagerungen an diesem Abhang durch Menschenhand nicht gelenkt werden können.“

## LÜPKES, H. und SIEMENS, H. P. (1941), Nordsee, Insel Sylt

LÜPKES und SIEMENS erkennen richtig den Gegensatz zwischen den Ostfriesischen Inseln, „die in erster Linie durch starke Küstenströmungen in ihrem Bestand gefährdet sind“, und den überwiegend durch die Brandung bei hohen Fluten verursachten ständigen Abbrüchen der Sylter Westküste. „Die (hier) nur schwache Küstenströmung übernimmt dann das Fortschaffen der von der Brandung zum Abrutschen gebrachten Sandmassen. . . . Der Gürtel aus Stein- und Pfahlbuhnen, der bereits bald nach der Fertigstellung (1899) erhebliche Mängel erkennen ließ, wurde bis zum 1. Weltkrieg 1914 bis 1918 mit hohen Kosten planmäßig unterhalten. Während der Kriegsjahre geriet dann der größte Teil der Buhnen, namentlich wegen ihrer zu flachen Gründung, durch Auftreiben der Pfähle, Absacken der Steindecke, Hinterspülung, Bohrwurmfraß und Sandschliff fast gänzlich in Verfall.“ Man suchte nun billigere und zugleich bessere Bauweisen. Die ersten derartigen Versuchsbuhnen aus Stahlspundbohlen (1927/28) „beeinflussten infolge ihrer Dichte die Sandablagerungen sehr vorteilhaft . . . Die Buhnen vor den Westerländer Schutzwerken haben nach ihrer im Jahre 1937 ausgeführten Verlängerung bei gleichen Abständen (150 m) sogar Längen von 140 bis 160 m und haben dadurch vor dem südlichen Teil der Strandmauer die Bildung eines besonders breiten Vorstrandes bewirkt, wie er vordem niemals beobachtet worden ist. Im nördlichen, nach Nordosten abbiegenden Strandteil ist eine Verbreiterung des Strandes durch die Verlängerung der Buhnen nicht eingetreten.“

An zahlreichen Abbildungen werden die Schäden an den Stahlspundwandbuhnen anschaulich aufgezeigt. Eine besonders ernste Gefahr für diese Bauweise bedeutet der mechanische Verschleiß der Spundwandisen durch „Sandschliff“.

„Durch Verwendung starkwandiger Buhnenbohlen, Vergrößerung der Bohlenlängen und Anbringen einer schweren Verholmung ist die Spundwandbuhnenbauweise nicht nur weitgehend gegen mechanischen Verschleiß gesichert, sondern so verstärkt worden, daß sie nach den Erfahrungen der letzten fünf Jahre auch in Form einer einreihigen Wand bei nicht zu großen Wassertiefen . . . stärksten Angriffen standhalten und im Vergleich zu den früheren Buhnenausführungen am Sylter Weststrand bei wesentlich kleineren jährlichen Unterhaltungskosten eine größere Lebensdauer erreichen wird. Wenn aber trotzdem, durch besonders ungünstige Umstände verursacht, gelegent-

liche Schäden entstehen werden, so dürfen diese nicht als Beweis für die mangelnde Eignung der verstärkten Spundwandbauweise gewertet werden, da derartige Zerstörungen auch bei anderen Ausführungsarten nicht zu vermeiden sind. ... Nicht nur in technischer, sondern auch in finanzieller Hinsicht ist die Spundwandbuhne anderen Ausführungen überlegen. ... Der Wert des Sylter Buhnenbaues ist noch vor wenigen Jahren von mancher Seite bestritten worden. Man beurteilt ihn anscheinend einerseits nach den zahlreichen Schäden an den ersten zu schwachen Spundwandbuhnen und stellt auf der anderen Seite fest, daß die Abbrüche der Steilküste nicht aufhörten. Und wenn eine buhnenlose Strandstrecke vorübergehend infolge besonderer örtlicher Verhältnisse eine günstige Vorstrandausbildung aufwies, so wurde sie mit Vorliebe als Gegenbeweis herangezogen. ...

Im Gegensatz hierzu steht die auf jahrelange Erfahrungen und Beobachtungen gestützte Ansicht der Bauverwaltung, die zu einem eindeutigen, günstigen Urteil kommt. Diese Auffassung hat sich heute allgemein durchgesetzt<sup>30)</sup> ... Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der Wert der Buhnen in einer erheblichen Verlangsamung des Gesamtabbruchs von Sylt besteht. Ein zahlenmäßiger Nachweis dieser durch ständige Beobachtungen festgestellten Abnahme des Gesamtabbruchs kann noch nicht geführt werden, da seit der Fertigstellung des Spundwandbuhngürtels erst wenige Jahre verstrichen sind. Der einwandfreie Vergleich mit den früheren Verhältnissen ist erst auf Grund von Messungen möglich, die sich über längere Zeiträume, mindestens etwa zwei bis drei Jahrzehnte erstrecken müssen.“

Damit hegen die Verfasser selbst Zweifel an dem Versuch des zahlenmäßigen Nachweises von FISCHER (1938), der sich auf dieselben Unterlagen stützt.

Die vorstehenden Ausführungen von LÜPKES und SIEMENS sind in etwas umfangreicherer Weise gebracht, um daran zu zeigen, wie sehr das Bauwerk als solches Gegenstand der Betrachtungen bleibt und daß dessen Funktion im allgemeinen ohne Beziehung zu den Vorgängen im weiteren Küstenvorfeld, d. h. zur Sandwanderung, Strömung, Riffbildung und dergl. auf Annahmen beruht. Den Verfassern wurde schon bald widersprochen:

#### POPPE, Fr. (1942), Ostsee und Nordsee

Sehr kritisch äußert sich POPPE zu der bautechnischen Bewährung der verschiedenen Buhnenarten: „Die Stahlspundwandbuhnen haben den in sie gesetzten Erwartungen auf Standsicherheit nur dort entsprochen, wo sie in lehmigem, mergeligem oder kreidigem, also bindigem Untergrund stehen, der von der Brandung und Strömung nicht so leicht aufgewühlt wird. ... In sandigen Boden gerammte Stahlspundwände haben dagegen ... überall mehr oder weniger versagt, besonders unter dem gleichzeitigen Einfluß von Seegang und Eisschub. Bei bewegter See wird der Sandboden an der Buhne aufgewühlt und durch Strömung an der Buhne entlang fortgeführt, so daß sich am Fuß der Buhne entlang prielartige Vertiefungen bilden, und zwar je nach Angriffsrichtung der See nur einseitig. Durch Seegang und Brandung gerät die gesamte, undurchlässige Wand der Buhne dann in Schlingerbewegungen, die allmählich die Schlösser sprengen, vom seeseitigen Kopf her die Buhne ins Wanken bringen und schließlich nach Ermüdung des Stahls bis zum Bruch sie umlegen. ... Schließlich ist zu bedenken, daß eine beschädigte Stahlspundwandbuhne mit wirtschaftlichen Mitteln meist nicht mehr instanzzusetzen ist, sondern ihrem Schicksal überlassen werden muß, da auch eine Beseitigung nur unter großen Schwierigkeiten und Kosten möglich sein würde. ... Die einreihige Stahlspundwandbuhne muß daher ... in Zukunft grundsätzlich dort ausscheiden, wo Sandboden den Untergrund bildet, eine Bedingung also, die an der deutschen Ostseeküste sehr häufig gegeben ist.“

Dieses vernichtende Urteil fiel bereits fünfzehn Jahre nach dem Einbau der ersten Versuchsbuhnen aus Stahlspundbohlen. Das Urteil finden wir später überall bestätigt.

POPPE schlägt nun vor, die zweiwandige Buhne mit gegenseitiger Verankerung und Sandausfüllung zu bauen, weil sie wasserdicht und unangreifbar durch die Bohrmuschel sei.

<sup>30)</sup> Vgl. MÜLLER und FISCHER (1938).

Diese würde wegen der höheren Herstellungskosten nur an besonders gefährdeten Küstenstrecken mit stärkstem Eis- oder Seeangriff in Frage kommen.

### Zusammenfassung

In der Zeit von 1931 bis 1945 findet eine allgemeine Umstellung der Bauweise statt, indem die Seebuhnen an der Nord- und Ostsee fast ausschließlich nur noch mit Stahlspundwandbohlen hergestellt werden. Aber auch diese Bauweise, insbesondere die einwandige Stahlspundwandbohle, ist nur von verhältnismäßig kurzer Lebensdauer (10 bis 20 Jahre). Die Ergebnisse einer Reihe von Untersuchungen küstenmorphologischer Art eröffnen tiefere Einblicke in das Geschehen auf dem Vorstrand und zeigen dabei, daß unsere Kenntnisse über das Kräftespiel noch sehr lückenhaft sind. Die Forderungen, in verstärktem Maße systematische Untersuchungen zu veranlassen, werden begründet. Die Gegensätze zwischen den Baupraktikern, die an einen Erfolg der herkömmlichen Buhnen glauben, und den untersuchenden Ingenieuren und Naturwissenschaftlern vergrößern sich (z. B. HANSEN – WASMUND). Aber auch bei den Praktikern sind sich sehr widersprechende Erfahrungen oder Meinungen zu erkennen (LÜPKES und SIEMENS – POPPE).

### 5. Bauzeit 1945 bis 1960

Zunächst fließen die Quellen nach dem 2. Weltkrieg nur spärlich. PETERS (1946) berichtet über die Verwendung von Asphalt beim Bau der Buhnen vor dem Delfland in Holland. Ähnliche Beschreibungen von Asphaltbauweisen werden von KLOSS (1952), RÖHNISCH (1953), PETERS (1956) und anderen vorgelegt.

#### WOHLENBERG, E. (1950), Nordsee, Insel Trischen

Außerordentlich lehrreich ist das Schicksal der Insel Trischen vor der Elbmündung und am äußeren Saum des schleswig-holsteinischen Wattengebietes. WOHLENBERG verdanken wir eine umfassende Darstellung über die Entstehung<sup>31)</sup> und den Untergang des 1922 bis 1925 eingedeichten 78 ha großen Marschkooges:

„Wenige Monate nach der Fertigstellung des Deiches nahmen die Wellen einer Sturmflut 25 m kostbarster Dünensubstanz mit sich ins Meer. . . . Dünen und Strand lagen stark im Abbruch. . . . 1927 beginnen die Arbeiten“ zum Schutz des Strandes und der Düne durch ein steinernes Deckwerk mit Buhnen. „Jedes folgende Jahr bringt zusätzliche Ergänzungsbauten bis zum Jahre 1935. – So steht der Trischenkoog, gleichsam bis an die Zähne bewaffnet, erstarrt im steinernen und eisernen Uferpanzer gegen die See; eine starre, tote Einheit in dem bewegten System des größeren Buschsandes.“ Auf einer Länge von 1000 m war die Insel durch Buhnen geschützt worden. Der Strand wurde jedoch immer schmaler, und die Westdüne verlor mehr Sand als neu hinzukam.

Zu einer ersten Gefahr für Trischen wurden die beiden Sturmfluten vom Oktober 1936 und diejenige vom 23. November 1938. Am 18. Oktober 1936 stand das Wasser sechs volle Stunden lang gleich oder höher als PN + 8,0 m (= MThw + etwa 1,7 m) und zerschlug die Schutzwerke so nachhaltig, daß man Trischen seinem Schicksal überlassen mußte. „Was sich hier draußen an der äußersten Grenze des Wattenmeeres vollzogen hat, ist bei aller Dramatik

<sup>31)</sup> Vgl. auch FÜLSCHER (1905).

doch nur das einfache Sichtbarwerden der ungebundenen natürlichen Kräfte im Gezeitenbereich der Nordsee... Der Mensch trat mit seinem Werk in das freie Kräftespiel der Natur zu einem Zeitpunkt ein, als sich der Buschsand als Ganzes noch in zügiger Bewegung befand. Das war ein Verstoß gegen die natürliche Ordnung. Der Untergang des Trischenkooges ist nur ein Glied der zwangsläufig zum Ablauf kommenden größeren Entwicklung.“ Daraus folgert WOHLBERG, „daß die technischen Bauwerke des Menschen nur dann Bestand vor dem Meere haben, wenn sie sich sinnvoll im Rahmen der natürlichen Ordnung halten. Jede Entfernung davon, jeder gewaltsame, sich der natürlichen großräumigen Entwicklung hart entgegenstimmende Eingriff aber ist früher oder später zum Erliegen verurteilt. Die modernen Maßnahmen des Küstenschutzes und der Landgewinnung bezeugen, daß diesen Arbeiten nur dann ein dauerhafter Erfolg beschieden ist, wenn das so sehr wandelbare Kräftespiel im Küstenraum mit wissenschaftlicher Gründlichkeit kausal erkannt und die Entwicklungstendenzen gebührend beachtet werden.“

WEINNOLDT, E. und SUHR, H. (1951), Ostsee und Nordsee, Insel Sylt

Nach WEINNOLDT und SUHR haben die Buhnen an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste im letzten Krieg und in den ersten Nachkriegsjahren sehr gelitten. „Zum Teil hat der Verfall der Buhnenwerke den parallel zum Ufer laufenden Küstenströmungen den unmittelbaren Angriff auf die Uferkante und damit den Abbruch ermöglicht (S. 10) ... Auf der Insel Sylt z. B. bestanden vor dem Kriege 140 in die See hineingebaute Buhnen, die dem Zweck dienten, die parallel zum Ufer verlaufenden Küstenströmungen vom Strand fernzuhalten. Sie sind bis auf wenige zerstört worden“ (S. 17).

BURHORN, E. (1951), Ostsee

Über Seebuhnen an Küsten mit schwachen Gezeiten und starker Sanddrift legt BURHORN nachträglich Ergebnisse aus der früheren Preußischen Versuchsanstalt für Wasser- und Schiffbau vor und glaubt wie KELLER (1881/82), SCHULZE (1911), HEISER (1920), Erfahrungen aus dem Flußbuhnenbau verwerten zu können. Die Versuche wurden mit verschiedenen Grundrißformen bei veränderlichen Wasserständen und wechselnden Strandneigungen, Wellenhöhen, Buhnenabständen usw. durchgeführt. Auch bei Abschrägung der Streichlinie wurde ein Fortschreiten des Uferabbruchs festgestellt. Wahrscheinlich sei „am leeseitigen Ende die Gesamtwirkung aus Küstenstrom und Brandung eine andere geworden“.

LÜDERS, K. (1952), Nordsee, Insel Wangerooge

Die Untersuchungen auf Norderney wurden zeitweilig beeinflusst von der günstigen Wirkung, die die Buhne H als Strombuhne in Wangerooge-West auf das Seegat „Harle“ ausgeübt hat.

Der Küstenausschuß Nord- und Ostsee brachte zum Schutz der Insel Norderney in seiner Empfehlung vom 24. August 1950 zum Ausdruck, daß es dringend erforderlich sei, die Uferschutzwerke durch den Bau weiterer Buhnen zu sichern. Dadurch würde eine weitere Abspülung des Strandes noch nicht verhindert, sondern nur vermindert. Die Wiederherstellung eines hochwasserfreien Strandes „als beste Sicherung für die Uferschutzwerke und damit für die Insel (Norderney) läßt sich am schnellsten, sichersten und mit geringsten Kosten durch Aufspülen von rund 1¼ Millionen cbm Sand erreichen (S. 41) ... Zur Erhaltung des Strandes

sind durchschnittlich jährlich etwa 90 000 cbm nachzuspülen.“ Über die Wiederherstellung eines Strandes durch künstliche Zufuhr von Sand hatten HEISER (1920), GAYE und WALTHER (1935) berichtet.

PETERSEN, M. (1952), Ostsee

Ein umfassendes Untersuchungsprogramm und die dabei erzielten Ergebnisse über die Ursachen des Abbruchs und die Möglichkeiten des Schutzes der Steilufer an der Ostseeküste werden beschrieben und begründet. Es wird festgestellt (S. 140):

„Im Bühnenbau sind noch Fragen von grundsätzlicher Bedeutung offen. Weder die Anordnung von Bühnengruppen oder die Länge der Bühnen, der Längsschnitt oder die Grundrißgestaltung, noch die Ausbildung der Querschnitte können als eindeutig geklärt angesprochen werden. Lediglich der landseitige Teil der Bühne, der auf dem trockenen Strand als beweglicher Landanschluß gebaut wird, ist hinreichend erprobt.“ An dem Beispiel der Travemünder Bühnen wurde (S. 141) gezeigt, „daß gelegentlich durch Beseitigung einer nachteilig wirkenden Anlage weitere Schäden behoben werden können. – Bei allen Uferschutzmaßnahmen, die ursprünglich für einen örtlich begrenzten Küstenabschnitt vorgesehen waren, hat sich eine unangenehme Wirkung nicht beheben lassen: Die Lee-Erosion.“ Strandvorspülungen wie vor Norderney waren zur Verbesserung der Strandverhältnisse auch vor Grömitz, Laboe, Glücksburg und Travemünde vorgenommen worden. Verfasser leitet aus den Untersuchungen an der Ostseeküste Vorschläge ähnlich wie WASMUND (1940) dahingehend ab, daß naturähnlich gebaut werden möge, „um das Naturgeschehen am Meeresstrand möglichst wenig zu stören und die aufbauenden Kräfte in ihrer Tätigkeit zu fördern“ (S. 145). Damit solle flächenhafte Verteidigung erreicht werden. „Vor einem im Abbruch liegenden Steilufer, an dem keine gleichgerichtete Sandwanderung stattfindet, dürfte eine Erhöhung und Verbreiterung des Strandes auch mit derartigen Bühnensystemen kaum möglich sein“ (S. 146).

BOMAS, P. (1952), Ostsee

Der polnische Ingenieur BOMAS vergleicht die See- und Strandbühnen an der deutschen Ostseeküste mit den Erfahrungen in Amerika und Rußland. Der Erfolg bliebe meist versagt. Wenn eine Unterbilanz an Material vorhanden sei, dann würde das natürliche Gleichgewicht in den angrenzenden Küstenabschnitten verletzt. Daraus ergäbe sich die Forderung nach Untersuchungen für jeden einzelnen Fall<sup>32)</sup>.

VON BÜLOW, K. (1954), Ostsee

„Keine Küste läßt sich ein für alle Male stabilisieren.“ Die Praxis des Küstenschutzes sei bis heute einseitig, d. h. falsch oder doch zum mindesten unzulänglich orientiert. Aus folgen-

<sup>32)</sup> Fragen der Küstendynamik und des Küstenschutzes an der südlichen Ostsee behandeln BLAU (1954, 1959), BRAND (1955 a und b, 1956), BRESSAU (1957), BRUNS (1956), VON BÜLOW (1952, 1954, 1956, 1958), GRIESEIER (1959), GRIESEIER und VOLLBRECHT (1954, 1956, 1957), HINTZ (1955, 1956, 1957, 1958), KANNENBERG (1958/59), KOLP (1956, 1957), KÖSTER (1955), KRAUSE, R. (1952), LINKE, O. (1952 a und b), MAGENS (1957 a und b), PETERSEN (1954 a und b, 1959), REINEKE (1956), REINHARD (1956), SCHMITZ (1957) VOLLBRECHT (1953 a und b, 1955), WYRTKI (1953), ZSCHIESCHE (1956) und andere. Alle diese Arbeiten stellen wichtige Beiträge für eine objektive Beurteilung der Naturvorgänge im Küstenbereich und der Tätigkeit des Menschen darin dar. Sie sind teils hydrologischer, geographischer, geomorphologischer, teils auch hydrodynamisch-mathematischer, programmatischer und modelltechnischer Art. Einige Erkenntnisse von grundsätzlicher Bedeutung sollen hier mitgeteilt werden.

den Gründen sei es notwendig, nach neuen Methoden im Küstenschutz zu suchen: wegen des mangelnden theoretischen Wissens, der mangelnden Konsequenz in der praktischen Durchführung und der rapiden Zunahme von Gegeneinflüssen. Alle

„verwendeten Mittel wie Bühnenbauten, Strandbefestigungen, Dünenbau und Einrichtung massiver Uferschutzbauten haben uns im großen gesehen noch nicht über das Stadium des Experimentierens hinausgeführt“.

KOLP (1956) spricht von der „Irrmeinung, daß die Strandlinie gehalten werden kann ... Jede Veränderung der Küste ist mit einem Transport oder einer Umlagerung von Material verbunden.“

WYRTKI (1953) übernimmt den Begriff der „physiographischen Einheit“ aus dem Ausland (von MUNK und TRAYLOR im Beach Erosion Board) für ein Gebiet, das einerseits morphologisch klar begrenzt ist, andererseits die drei Zonen der Aufwirbelung von Material, des Transports und der Ablagerung vollständig umfaßt.

#### REINEKE, H. (1955), Ostsee

„Ein Erfahrungsaustausch erscheint im Hinblick auf den praktischen Küstenschutz, der sich ... auf einem bedauernden Tiefstande befindet, dringend geboten. Von dem Verfall der einst mit großem finanziellem Aufwande gebauten schweren Streckelbergmauer auf Usedom bis hin zu der großen Reihe in Auflösung begriffener Seebuhnen entlang der Küste führt eine Kette von unerfüllt gebliebenen Erwartungen, denen nur spärliche dauernde Erfolge für einen wirksamen Küstenschutz gegenüberstehen. Die Ursachen dieses Mißverhältnisses sind einzig und allein darin zu suchen, daß es an zweckentsprechenden Forschungen (!) gefehlt hat ... Wenn schon über den eigentlichen Zweck derartiger Bühnen und Parallelwerke, wie es gelegentliche Diskussionen ergeben haben, keine volle Klarheit besteht, so erst recht nicht über die Bauweisen. Die Lektüre dahingehörender Aufsätze ... läßt immer wieder erkennen, daß hier nicht die klaren Ergebnisse exakter Forschungen, sondern die auf örtliche Beobachtungen gestützten Meinungen der Fachleute den Anspruch auf allgemeine Anwendbarkeit und Übertragbarkeit in die Praxis erheben. Dieser Verfahrensweise sollte ein Ende bereitet und an ihrer Stelle eine systematische Forschungsarbeit über den Nutzen der Quer- und Längswerke für den Küstenschutz begonnen werden...“

#### VOLLBRECHT, K. (1955), Ostsee

Die Erniedrigung des Meeresbodens könnte ohne Hinzuziehung des Phänomens der Wellenreflexion durch die einfache Erklärung eines bestehenden Haushaltsdefizits im Längstransport gedeutet werden.

„Immerhin bliebe es dann aber befremdlich, daß die Vertiefung der Schorre nur gerade im Wirkungsbereich des Bauwerkes beobachtet werden kann, und vor allem ... bleibt die Deutung der Vertiefung als Folge einer Unterbilanz des Längstransportes unbefriedigend, da durch die dichten Bühnen dieser Längstransport auf den betrachteten 30 m Schorrenbreite sicherlich weitestgehend unterbunden ist. Ganz offensichtlich ist daher neben einer möglichen und auch oftmals wahrscheinlichen Wirkung des unausgeglichenen Materiallängstransportes auch noch der durch Reflexionserscheinungen ins Leben gerufene seewärtige Quertransport an der Abtragung der vor dem Bauwerk gelegenen Schorre entscheidend mitverantwortlich.“

## MAGENS, C. (1957), Ostsee

Die Beurteilung der Wirkung von künstlichen Uferschutzmaßnahmen wird nach MAGENS (S. 28) „häufig lediglich vom Standpunkt ihrer Lebensdauer her vorgenommen. Die Frage nach dem Wert oder Unwert muß aber in erster Linie von der Funktion des Bauwerkes her beantwortet werden.“ Die funktionelle Planung habe im Rahmen physiographischer Einheiten zu erfolgen.

Als Ergebnis von Brandungsuntersuchungen und Modellversuchen wird die Erprobung von Sichelbuhnen vorgeschlagen.

## KANNENBERG, E.-G. (1958–1959), Ostsee

„Dort, wo die Entwicklungstendenz der Küste bzw. die Bilanz des Materialhaushalts an der Küste negativ ist, d. h. wo der küstenparallele Abtransport den Antransport übertrifft, hat ein Uferschutz durch Buhnen die Sicherung des Hochwasserschutzes nicht gewährleisten können, ganz gleich, ob es sich um natürliche Strandwälle, Strandwälle mit Deichkappenverstärkung oder auch um Deiche ohne Vorland handelte“ (S. 76).

## LORENZEN, J. M. (1954), Nordsee

In einem Aufsatz „Hundert Jahre Küstenschutz an der Nordsee“ unterteilt LORENZEN die deutsche Nordseeküste in drei charakteristische Abschnitte: 1. Ostfriesischer Raum, 2. Jade-Eider-Raum, 3. Nordfriesischer Raum. Der Abschnitt 1 ist durch die Ostfriesische Inselkette gekennzeichnet, während die innere Deutsche Bucht (Abschnitt 2) von großen Fluß- und Prielsystemen zergliedert ist. Auch ist dort keine Inselkette vorhanden. Hingegen liegen im nördlichen Teil des nordfriesischen Raumes die Inseln Sylt und Amrum schutzbietend vor den Watten und Marschen. „Im Süden sind als Vorposten der freien Marsch- und Wattflächen die Insel Pellworm und die Halligen Hooge und Süderoog vorgelagert“ (S. 22) ...

„Das Thema ‚Bilanz des Buhnenbaues an der Nordsee‘ – nicht der Landgewinnungsbuhnen – ist so schwierig und weitgreifend, daß es nur angedeutet werden kann (S. 26) ... Sowohl nach vielfachen Erfahrungen als auch auf Grund zahlreicher Untersuchungen und Versuche kann eine Buhne im Brandungsbereich eine Erhaltung oder Verbesserung der Strandhöhenlage grundsätzlich nicht zur Folge haben. Wohl aber vermag eine dichte Buhnenreihe, über die Brandungszone weit genug herausgezogen, eine küstenparallele Materialwanderung aufzuhalten und damit den Strand zu verbreitern und zu erhöhen (S. 26). Schließlich setzte sich vom Konstruktiven her die zwar teure, aber in der Unterhaltung billige Stahlbetonspundwand durch.“

(S. 27:) „Es ist festzustellen, daß die Entwicklung des Buhnenbaues weniger nach ihrer Funktion als rein konstruktiv weitergegangen ist.“

Da diese Darstellung inhaltlich etwa mit dem Bilanzbericht der Arbeitsgruppe Küstenschutz im Küstenausschuß Nord- und Ostsee übereinstimmt, sind auch ihre „Allgemeinen Empfehlungen für den deutschen Küstenschutz“ sinnentsprechend abgefaßt.

## HUNDT, C. (1957), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

Die Untersuchungen „über die Ursachen des ständigen Schwindens der Insel Sylt und über Möglichkeiten ihrer Sicherung“, die von HUNDT 1936 bis 1939 durchgeführt wurden, konzentrierten sich auf die Strecke des stärksten Abbruchs am Ellenbogen. „Seit 1865 hat die Preu-

fische Staatsverwaltung mit erheblichen Mitteln versucht, den Abbruch des Weststrandes der Insel Sylt durch den Bau von Stein- und später Eisenbuhnen, sowie der Uferschutzmauer vor Westerland aufzuhalten. Die letzten großen Sturmfluten auf Sylt haben jedoch gezeigt, daß kurze Querwerke allein nicht in der Lage sind, die der Brandung stark ausgesetzte Küste am nordwestlichen Ellenbogen ausreichend zu schützen. Hier wurde daher der Bau des schweren Deckwerkes sofort notwendig“ (S. 5).

LAMPRECHT, H.-O. (1955), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

LAMPRECHT setzte diese Untersuchungen (von Hundt) 1952 bis 1955 fort. Er konnte (1955) nachweisen, daß die größte gemessene Höhenänderung eines Punktes innerhalb von zwei Tagen 2,60 m betrug<sup>33</sup>).

„Bemerkenswert ist weiterhin die Tatsache, daß die mittlere Neigung des Strandes und die Höhenlage des Dünenfußes sich seit 1870 nicht wesentlich geändert haben. Der trockene Strand ist 1 : 17 geneigt, der nasse 1 : 15. Hieraus folgt, daß der Strand und die Düne ein ‚mittleres Profil‘ haben und daß nur die Form dieses Profils stetig nach Osten wandert... Als Ursache sind im wesentlichen die Sturmfluten anzusehen.“

Die Neigung von Sandstränden hatte bereits G. HAGEN (1863) beobachtet und mit 1 : 10 bis 1 : 20 und flacher angegeben.

LAMPRECHT, H.-O. (1957 a), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

LAMPRECHT charakterisiert die bisherigen Arbeiten, auch die nicht veröffentlichten, über den Sylter Buhnenbau dahin, daß sich die Behandlung des Buhnenproblems vorwiegend auf bautechnische Fragen erstreckte.

„Die funktionelle Wirkung wird im allgemeinen nur auf Grund zufälliger Beobachtungen beurteilt. In einigen Fällen kommen die Verfasser zu dem Schluß, daß eine Beeinflussung des Küstenrückgangs durch Buhnen bisher nicht erkennbar ist; in anderen Fällen wird das Gegenteil gefolgert. Ein Beweis der positiven Buhnenwirkung wird in keiner Arbeit geführt.“

LAMPRECHT, H.-O. (1958), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

Wegen der entscheidenden Bedeutung einer möglichst sicheren Beurteilung der Wirkung von Buhnen führte LAMPRECHT ähnlich wie FISCHER (1938) eine Korrelation durch, in der für die letzten achtzig Jahre die mittleren jährlichen Küstenveränderungen in Zeiträumen ohne Buhnen denen in Zeiträumen mit Buhnen gegenübergestellt wurden. Der mittlere Teil von Sylt (etwa von Klappholtal bis Rantum) steht vorwiegend unter Brandungseinfluß. Tidenströmungen haben nur untergeordnete Bedeutung<sup>34</sup>).

„Hier konnte der Uferrückgang durch Buhnen der bisher angewendeten Bauweise nicht erkennbar vermindert werden. – Der Nordteil von Sylt gehört hydrographisch zum Einflußgebiet des Lister Tiefs. Die Wirksamkeit der Buhnen hat hier nach Norden in etwa dem gleichen Maß zugenommen wie der Einfluß der Strömung des Lister Tiefs, d. h. es ist mit Hilfe der Buhnen gelungen, die Tidenströmungen vom Ufer abzudrängen und damit den Abbruch zu verzögern.“

<sup>33</sup>) Vgl. L. FRANZIUS (1884) mit 1 m in mehreren Wochen sowie LÜPKES und SIEMENS (1938) mit bis zu 2,5 m.

<sup>34</sup>) Vgl. auch LÜPKES und SIEMENS (1941).

Für den Südtteil von Sylt kann mit ähnlichen Verhältnissen gerechnet werden“ (S. 81). Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Untersuchungen ist, daß Sylt keine physiographische Einheit darstellt, sondern „eindeutig eine negative Sandbilanz“ aufweist. „In jedem Falle wird ein Aufhalten des Küstenrückganges an einer bestimmten Strecke eine Erosion in Lee dieses Gebietes nach sich ziehen.“

#### RIEDER, K. (1957), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

Aus den Untersuchungen über Küstenschutzprobleme auf Sylt folgert RIEDER, daß Kunstbauten wie z. B. Uferdeckwerke, Buhnen usw. im wesentlichen nur dort vertretbar seien, wo erhebliche Werte zu schützen sind. Das ist auf dem etwa 10 km langen Mittelabschnitt der Fall. Hier muß man versuchen, Bauweisen zu entwickeln, die den Unterwasserstrand entsprechend flächenhaft schützen, aber

„niemand kann für den dauernden Bestand des Strandes und der Kunstbauten zum Schutze der Insel garantieren... Angesichts der sehr verwickelten dynamischen Bedingungen im Kräftehaushalt der Insel Sylt ist der Zeitpunkt einer zusammenfassenden oder gar abschließenden Stellungnahme noch nicht gekommen“ (S. 2).

#### HENSEN, W. (1957)

In Zusammenhang mit den Untersuchungen auf Sylt werden Modellversuche über den Strandabbruch an den Enden von befestigten Küstenstrecken (Lee-Erosion) durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein Problem des Materialhaushalts an dem betroffenen Küstenabschnitt.

„In diesem muß auch in Lee von Buhnenfeldern mit verstärkter Erosion gerechnet werden. ... Der Bau von Seebuhnen ist ein fragliches Mittel zur Sicherung des Vorstrandes, weil diese Bauwerke bei hohen Wasserständen meist unwirksam sind ... Im Hinblick auf die große Unsicherheit, die beim Bau von Seebuhnen in der Praxis immer wieder hingenommen werden muß, ist es sicher lohnend, dieses Problem auch von der modelltechnischen Seite anzufassen; bisher wurde dies allerdings in Deutschland und auch im Auslande nicht so recht gewagt.“ Neuere Erfahrungen würden jedoch den Versuch rechtfertigen.

#### ZITSCHER, F. F. (1957 a), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

„Von der Fülle der Feststellungen und Messungen, die sich mit den Vorgängen in der Brandungszone von Sandküsten befassen, sind Beobachtungen wichtig, wonach der natürliche Strand sich so verändern will, daß ein Maximum an Energie absorbiert und ein Minimum reflektiert wird. Desgleichen ist eine Feststellung aufschlußreich, daß das Gefälle der Küste eine Funktion ihrer Durchlässigkeit ist. Beide Erkenntnisse führen zu dem Gedanken, daß Schutzbauten sich der natürlichen Form des Strandes anpassen oder sie durch entsprechende konstruktive Gestaltung nachzuahmen versuchen sollten.“ Solche Gedanken sind im deutschen Schrifttum nicht zu finden. Es fehlt eine Erläuterung darüber, was der Verfasser unter „Gefälle“ und „Durchlässigkeit“ der Küste versteht. „Diese Feststellungen haben für die konstruktive Anwendung von Asphaltbauweisen bei Küstenschutzwerken Bedeutung... Auch Seebuhnen wirken oft wie Fremdkörper, besonders wenn es sich um lotrechte Wände handelt.“

Auf Seite 19 heißt es: „In vielen Fällen ist die Ursache einer nicht genügenden Lebensdauer der Bauwerke darin zu suchen, daß die bisher verwendeten Baustoffe und Bauweisen zum Teil seewasserempfindlich sind und überwiegend starre Baukörper und Bauwerke ergeben. Die letztgenannte Eigenschaft ist oft die Ursache der Zerstörung von Schutzbauten bei Sturmflutbeanspruchungen. Durch den Baustoff Asphalt werden diese Mängel behoben und vollkommene Konstruktionen geschaffen...“

„Während der vergangenen 80 Jahre wurden dort fast alle Arten von Buhnen herkömmlicher Bauweise angeordnet und haben den Strandrückgang nicht aufhalten können. . . .“

„Um auszuschließen, daß Arbeitsfugen entstehen, die nach einer Überflutung wegen Porosität des Asphalts eine haltbare Verbindung stören, wird während einer Tide das gesamte Bauwerk hergestellt.“

Die Form dieser „neuen“ Flachbuhne ähnelt grundsätzlich der Form, die L. FRANZIUS (1884) baute (vgl. auch GERHARDT, 1900) und über die FÜLSCHER (1905) sein Urteil fällte.

#### BAHR, M. (1955), Nordsee, Insel Helgoland

Das technisch schwierigste Problem auf Helgoland wird „auf die Dauer die Erhaltung der Düne sein. Die Düne ist nicht nur für das Seebad unentbehrlich, sondern ebenso als Schutz der Reede gegen Seegang aus Ost bis Nordost. Um einen Badebetrieb zu ermöglichen und den letzten Rest der Kerndüne vor der Vernichtung zu bewahren, wurde der Südweststrand 1954 mit Sand, der aus dem Flugplatz entnommen werden konnte, künstlich aufgeschüttet. Das kann nur ein Hinhalten des Strandrückganges sein, bis der Abbruch des Dünenhafens, der im Herbst 1954 begonnen wurde, sich auswirkt und wieder eine natürliche Sandzufuhr durch die Strömung sich einstellt. Ob die Beseitigung des Hafens dafür genügt oder ob weitere Schritte nötig sein werden und welcher Art diese sein müssen, kann erst eine langjährige Beobachtung des verwickelten und durch die Marinebauten stark veränderten Sandhaushalts der Düne lehren“<sup>35)</sup>.

#### KRAMER, J. und HOMEIER, H. (1955), Nordsee, Ostfriesische Insel Norderney

Das Ergebnis einer Untersuchung über die Wirkung der bisherigen Schutzmaßnahmen und über die Frage, ob durch eine Erhöhung, Verlängerung oder Vermehrung der Buhnen eine Verbesserung des Strandes von Norderney möglich ist, wird wie folgt dargestellt:

Eine Fortsetzung des Ausbaues des vorhandenen Buhnensystems führt nicht zu einer Verbreiterung des Strandes oberhalb SKN - 2,5 m. „Nur für die Stabilisierung des Inselsockels unterhalb SKN - 2,5 m<sup>36)</sup> hat sich von den vorgenannten Möglichkeiten die Unterwasserverlängerung der Buhnen als wirkungsvoll herausgestellt . . . Zur grundsätzlichen Wirkung der Buhnen für die Stranderhaltung ist festzustellen, daß die stromabweisende Wirkung genügend langer und tief genug hinabgeführter Buhnen zweifelsfrei ist. Dagegen erreicht die bei der Anlage der Buhnen außerdem erwartete Verminderung des Sandverlustes in dem der Brandung ausgesetzten Strandbereich oberhalb SKN - 2,5 m kein solches Ausmaß, daß in einem Sandmangelgebiet ein Strand oberhalb MTnw oder sogar MThw erhalten bleibt. - Auf die sich abschließend ergebende Frage, durch welche Eingriffe ein hochwasserfreier Strand für den Badebetrieb oder zumindest ein genügend breiter, für den Bestand der Inselschutzwerke notwendiger Strand oberhalb MTnw geschaffen werden kann, ist gegenwärtig noch keine abschließende Antwort möglich. Das Ziel einer baulichen Lösung zur Verbesserung der Strandverhältnisse muß sein, die Sandzufuhr im Sandmangelgebiet zu verstärken und den Unterwasserstrand zu verbreitern, auf den sich der Strand oberhalb Tnw stützen kann. Vor allem sind zukünftige Maßnahmen darauf abzustellen, die Ursachen des gegenwärtig für die Strandentwicklung nachteiligen Kräftespiels von Brandung und Strömung zu verändern und nicht nur seine Wirkungen, den stetigen Strandverlust, verhindern zu wollen, was sich bisher erfolglos erwiesen hat.“

<sup>35)</sup> Vgl. BAHR (1938).

<sup>36)</sup> Vgl. GAYE und WALTHER (1935) SKN - 6,00 m.

## PEPER, G. (1955/56), Nordsee, Ostfriesische Insel Norderney

PEPER schildert zunächst die historische Entwicklung der Inselfschutzwerte auf Norderney und die dabei gemachten Erfahrungen. Die Bauweisen werden ausführlich beschrieben. Bühnen sollen die

„Längsströmungen, welche den durch Brandung aufgewühlten Sand fortführen, unterbrechen und bis vor die Bühnenköpfe abdrängen und mindestens bei niedrigen Sturmfluten auch die Brandung schwächen. Außerdem sollen Bühnen den vorhandenen Sand möglichst halten und bei günstigen Verhältnissen neuen Sand zur Ablagerung bringen, sofern überhaupt Aufbaustoffe vorhanden sind.“

Über die entsprechend dem Gutachten des Küstenausschusses Nord- und Ostsee vom 24. August 1950 im Jahre 1951 durchgeführte Strandaufspülung wird ausgeführt: Man war sich klar, „daß der Sand nicht gehalten werden konnte, weil an den Ursachen der Strandabnahme nichts geändert wurde... Der hochwasserfreie Strand wurde im Einflußbereich des Seegats und der kürzeren Bühnen recht bald wieder ein Raub der Brandung und der Sturmfluten, welche ihn teilweise an der steileren Unterniedrigwasserböschung wieder ablagerten.“

Im Bühnenbau seien in den ersten fünfzig Jahren<sup>37)</sup> keine wesentlichen Wandlungen zu verzeichnen. „Die überall angebauten schrägen Böschungen sind eine infolge der Strandabnahme notwendig gewordene Maßnahme“ (S. 194). Die bedeutende Strandabnahme in den dreißiger Jahren habe dazu geführt, „von den schweren Steinbühnen Abstand zu nehmen, da sie bei Einhaltung der üblichen Höhenverhältnisse zu breit und zu teuer geworden wären“ (S. 195). Die neueren Kastenbühnen aus Stahlbetonbohlen, „die dem Wasserangriff große Massen entgegensetzen und kaum Sandschliff aufweisen“, seien den Stahlspundwandbühnen auch an Standfeste überlegen, weil diese bei Sandschliff in wenigen Jahren umfallen können. Nur der landseitige Teil wird mit einer Wand aus Stahlbetonbohlen empfohlen. Es werden geringere Unterhaltungskosten erwartet, zumal die Bühnen „einer möglichen Strandabnahme weitgehend angepaßt sind“.

Nach einer mündlichen Mitteilung von KRAMER haben sich einwandige Stahlbetonbühnen auf Norderney nicht bewährt. Bei einer mittleren Sturmflut ist ein Stück einer solchen Bühne kopflastig geworden und umgekippt, obgleich die einzelnen Pfähle 7 m lang waren und nur 2,5 m frei standen. Eine Verbindung der Bohlen fehlt. Eine Erhöhung der Standfestigkeit könnte durch eine Verholmung und durch beidseitige Sinkstücklagen mit Steinbeschwerung erreicht werden.

## JANSSEN, Th. (1956), Nordsee, Ostfriesische Inseln

JANSSEN begründet den künstlichen Schutz der Ostfriesischen Inseln damit, daß ihre natürliche Veränderlichkeit „die Nutzung der Inseln vor allem als Siedlungsraum für den Menschen immer wieder gefährdet. Ein weiterer Nachteil ist, daß auch die Schiffsstraßen und die Entwässerung des Festlandes durch ihre Veränderlichkeit in Mitleidenschaft gezogen werden... Der Erfolg der angewendeten Baumaßnahmen ist indessen nicht durchgreifend. Einerseits haben die Schutzwerte zweifellos Erfolg gehabt; denn da, wo vor 100 Jahren der Dünenrand festgelegt wurde, da liegt er noch heute. Andererseits hat der Strand vor den Werken an vielen Stellen ständig abgenommen. Die natürliche Entwicklung scheint dort auf einen Beharrungszustand zu gehen, bei dem zwischen den Köpfen der Bühnen eine Wassertiefe von etwa - 2,5 m unter MTnw vorhanden ist, was aber für die Erhaltung der Werke untragbar ist. Bei geradliniger Weiterentwicklung der bisherigen Bauweise ist daher zu befürchten, daß eines Tages ein Punkt erreicht wird, wo sich die Fortsetzung verbietet, zumal schon jetzt die Unterhaltung der Werke sehr aufwendig geworden ist.“ – Parallel mit den theoretischen Untersuchungen über die Grundlagen des Inselfschutzes habe auch die praktische Bauerfahrung neue Wege zu finden versucht. „In alter Denkweise wollte man den Inseln einen zusätzlichen Schutz verleihen. Der Blick war daher auf das zu schützende Objekt gerichtet.“ Die Unterwasserbühnen vor Borkum und die Bühne H von Wangerooge seien über die herkömmliche Bauweise hinausgehende Maßnahmen; „der gewollte Erfolg“ habe sich in beiden Fällen eingestellt.

<sup>37)</sup> 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts.

JANSSEN, Th. und HANSEN, W. (1957), Nordsee, Ostfriesische Inseln

Vorstehende Ausführungen stimmen inhaltlich etwa überein mit dem deutschen Bericht zum XIX. Internationalen Schiffahrtskongreß in London zu unserem Thema. Darin wird außerdem auf die Doppelaufgabe der Buhnen auf den Ostfriesischen Inseln hingewiesen:

„Als Strombuhnen sollen sie die Rinnen, die sich der Insel nähern, vom Inselsockel fernhalten, als Strandbuhnen aber sollen sie den Strand so weit erhalten, daß die Wellen auch bei kleinen Sturmfluten auf ihn auslaufen können und die Strandschutzbauten in ihrem Bestande ungefährdet bleiben. Einschließlich ihrer Vorbauten haben sie ihre Aufgabe als Strombuhnen... voll erfüllt. Als Strandbuhnen dagegen haben sie die Strandabnahme wohl verzögert, aber... nicht verhindert.“ Maße über die Verzögerung werden nicht angegeben.

JANSSEN, Th. (1959), Nordsee, Ostfriesische Inseln

Die Doppelaufgabe der Buhnen unterstreicht JANSSEN noch einmal. Für die Planung des Umbaus der Spiekerooger Strandschutzwerke wäre zuerst die Frage bezüglich Anordnung und Bauart der Buhnen zu prüfen gewesen, „ob es zweckmäßig sei, ein ganz neues Buhnen-system unter Aufgabe des alten zu wählen.“ Dieser Gedanke wurde bald fallengelassen, denn es ergab sich, daß das alte System wasserbautechnisch richtig angelegt war<sup>38</sup>).

Die Buhnen sind mit dreieckigem Querschnitt und scharfem, gratigem Rücken ausgebildet worden. Die überrollenden Wellen sollten dadurch zerteilt werden, so daß erwartet werden kann, daß das Wasser ohne Wirbelbildung nach beiden Seiten abfließt. Über die Bewährung der neuen Buhnenbauweise mit Asphaltverguß (1957 fertiggestellt) etwas zu sagen, sei es noch nicht an der Zeit.

BRAUN, W. (1957), Nordsee, Ostfriesische Insel Borkum

Die hohe Randdüne am Südstrand der Insel Borkum ist in den letzten drei Wintern „in einer Länge von etwa 500 Metern um mehr als 80 Meter, senkrecht zur Strandlinie gemessen, abgebrochen. Die erfolgte Wiederherstellung der Strandbuhnen in diesem Abschnitt ist aber unzureichend, wenn nicht die Wurzeln der Buhnen in ein Dünendeckwerk einbinden können“ (S. 177). Der Bau einer weiteren Unterwasserbuhne X ist geplant<sup>39</sup>). „Die alten, verfallenen einwandigen Strandbuhnen aus Holzpfählen sind zwar in den vergangenen Jahren seit dem letzten Kriege durch neue Stahl- bzw. Stahlbetonbuhnen ersetzt, was aber nicht verhindert hat, daß der Dünenrand bei hohen Wasserständen nahezu ungeschützt dem Brandungsangriff preisgegeben ist.“ Diese Beobachtung finden wir auch für Norderney, Helgoland, Sylt usw. bestätigt. „Eine seit dem Ende der vierziger Jahre beobachtete starke Sandzufuhr aus der Tiefe der See durch das Heranrücken des sogenannten Platjes an die Insel und die Verteilung dieses Sandes um den Westkopf der Insel herum hat jedoch dem gefährdeten Südwest- und Südstrand noch nicht die so sehr nötige Aufsandung gebracht.“ Im Jahre 1935 berichtete HIBBEN noch, daß der Südstrand annähernd in seiner Höhenlage erhalten werden konnte, während EILMANN schon zwei Jahre später schrieb, der Strand habe nach den Oktober-Sturmfluten 1936 an Höhe verloren<sup>40</sup>).

<sup>38</sup>) Es ist eine offene Frage, ob das alte Buhnensystem wirklich wasserbautechnisch, das heißt funktionell richtig angelegt worden ist.

<sup>39</sup>) Vgl. HIBBEN (1935).

<sup>40</sup>) Die Arbeiten von AKKERMANN (1956), HOMEIER (1956), HOMEIER und KRAMER (1957) sind als küstenmorphologische Beiträge für die Beurteilung der älteren und neueren Schutzmaßnahmen zu beachten.

KRAMER, J. (1957 und 1958/59), Nordsee, Ostfriesische Insel Norderney

Die künstliche Wiederherstellung von Stränden durch Strandaufspülung vor Norderney und an ausländischen Küsten werden ausführlich behandelt. Über die Wirkung der Buhnen in Verbindung mit natürlicher Aufsandung durch Anlandung einer größeren Sandplate heißt es:

„Erst nach einer längeren Jahresreihe von Strandbeobachtungen wird entschieden werden können, welcher Anteil der günstigen Entwicklung der Platananlandung und welcher der Buhnenwirkung zuzuweisen ist. Ein Vergleich mit der Strandentwicklung anderer Inseln, wo ähnliche Verhältnisse vorliegen, berechtigt jedoch anzunehmen, daß die Anlandung der Plate ausschlaggebend ist. . . . Die künstliche Wiederherstellung von Stränden ist im Ausland erst nach dem letzten Weltkrieg im größeren Umfange aufgenommen worden.“ In den meisten Fällen wurde die direkte Aufspülung angewendet, sie wirkt sofort. Langsamer dagegen ist die Wirkung der indirekten Ansandung durch Verklappen von Baggersand. „Die Bewertung der beiden Verfahren ist noch schwierig, weil einerseits die Zahl der Anwendungsbeispiele zu klein ist und andererseits die örtlichen topographischen und hydrographischen Verhältnisse von erheblicher Bedeutung für das Verhalten der Strandaufspülung sind . . . In den erörterten Beispielen ist die Wiederherstellung des Strandes häufig mit der Anlage von Buhnen verbunden bzw. sind solche anschließend errichtet worden oder für später geplant. Die Auffassung über die Notwendigkeit von Buhnen ist unterschiedlich . . . Die Bedeutung der Buhnen für die Erhaltung des Strandes läßt sich aus den aufgeführten Beispielen nicht genügend beantworten. Es fehlt vor allem an Beobachtungen des Strandes vor der Auffüllung, außerdem ist die Zeit nachher zu kurz, um verwertbare Ergebnisse zu erhalten.“

Es wird eine fortlaufende künstliche Sandzufuhr zum Westende von Norderney vorgeschlagen, die einen Ausgleich der mangelnden natürlichen Versorgung bringen soll.

Ein solches Verfahren weicht von der herkömmlichen Seebautechnik insofern ab, als die Strandunterhaltung durch fortlaufende Nachspülung einen „Betrieb“ (S. 138) bedingt, durch den ebenfalls ein Bauwerk — eine Sandauffüllung kann als solches bezeichnet werden — geschaffen wird.

ZITSCHER, F. F. (1960), Nordsee, Nordfriesische Insel Sylt

„Durch die Verwendung von Asphalt ist die Konstruktion von Strandbuhnen gelungen, die durch ihre flache Form und ihre widerstandsfähige Bauweise geeignet sind, den in Abbruch liegenden Strand vor Westerland nachhaltig zu schützen.“ Der Gedanke der Flachbuhnen wurde nach L. FRANZIUS (1884) bereits 1861 verwirklicht.

### Zusammenfassung

Die Vorstellungen über die Aufgaben der Seebuhnen sind immer noch sehr unterschiedlich. Sie sollen als Stromabweiser, Stranderhalter und Sandsammler wirken. Daß sie bisher die Aufgabe als Stromabweiser erfüllt haben, wird von mehreren Autoren bestätigt. Den Strandbuhnen als Stranderhalter und Sandsammler blieb der Erfolg bisher jedoch versagt, insbesondere an Küsten mit einer Unterbilanz an Sand. Die Unterbilanz soll in Zukunft — nachdem systematische Beobachtungen von einer versuchsweise angesetzten Maßnahme vorliegen — durch künstliche Sandzufuhr mittels Daueranlage ausgeglichen werden<sup>41)</sup>.

<sup>41)</sup> Wenn auch die Untersuchungen in den Mündungsgebieten der deutschen Tideflüsse im Hinblick auf eine Verbesserung der Wasserstraßen zu den großen Seehäfen nicht unmittelbar zu unserem Buhnenproblem gehören, so sind sie doch in hydrographischer, morphologischer und dynamischer Hinsicht interessant, wie bereits KRÜGER (1911) aufgezeigt hat. Hier sollen nur einige Abhandlungen aufgeführt werden, die sowohl für die Küstenmorphologie als auch für den Küstenbau von Bedeutung waren und noch heute sind: POPPEN (1921), JESSEN (1922), HENSEN (1939/40), GRIPP (1944), NIEBUHR (1952, 1953, 1955).

## IV. Erfahrungen über die Wirkung von Seebuhnen

## 1. Allgemeines

Blicken wir zurück und lesen wir nach, was unser Altmeister G. HAGEN in dem Vorwort zum dritten Teil seines Handbuchs der Wasserbaukunst „Seeufer- und Hafen-Bau“ (1863, S. VII–XIII) hierzu sagt, und vergleichen wir diese immer noch zutreffenden Ausführungen mit der Gegenwart:

„Der Gegensatz zwischen Theorie und Praxis tritt gegenwärtig in der Wasserbaukunst zum großen Nachteil der Wissenschaft und Technik viel schärfer hervor, als er jemals war, und das Mißtrauen, womit man heutigen Tages theoretische Untersuchung auf diesem Gebiete aufnimmt, ist allerdings in betreff der üblichen Theorien nicht unbegründet, es wird aber gewöhnlich mehr durch persönliche, als durch sachliche Rücksichten erweckt und genährt. Wenn der Oekonom, der Arzt oder der Fabrikant wichtige und einflußreiche Erscheinungen durch Versuche und Nachdenken aufzuklären sich bemüht, so findet ein solches Streben allgemeine Anerkennung. Im Wasserbau ist es anders! Als ich mit der Theorie der Wellen mich beschäftigte, deren mächtige und rätselhafte Wirkungen den Hafenbaumeister fortwährend in Anspruch nehmen, bin ich sehr ernsthaft gefragt worden, ob ich wirklich glaube, daß solche Speculation zu einem praktischen Resultate führen könne. – Seit dem ersten Auftreten der Theorie im Wasserbau ist dieselbe gewiß immer von einzelnen zurückgewiesen und verdächtigt worden. Diese Mißachtung ist eine chronische Krankheit, die niemals vollständig aufhören wird, die aber unter gewissen äußeren Einflüssen leicht einen epidemischen Charakter annimmt. Dieses ist gegenwärtig der Fall, und man muß daher durch unbefangene Darlegung des Sachverhältnisses ihr entgegen treten. – ... Die Möglichkeit einer Verbindung der Theorie mit der Praxis stellt indessen der moderne Praktiker entschieden in Abrede. Er theilt die Baumeister in practische und theoretische ein, und je mehr er sich vor dem Verdachte sicher weiß, zu den Letzteren zu gehören, eine umso höhere Stelle nimmt er unter den Ersteren in Anspruch. Er thut dies auch in dem Falle, wenn er jene practischen Geschicklichkeiten gar nicht, oder nur in sehr geringem Maße besitzt. – ... Ihr vermeintlicher practischer Sinn hatte sie der Mühe überhoben, bei Aufstellung der Entwürfe die Verhältnisse näher zu prüfen und den ganzen Fortgang des Baues vorher in Erwägung zu ziehen, durch Unbefangenheit und schnellen Entschluß in jeder Verlegenheit sicherten sie sich aber das früher in sie gesetzte Vertrauen. ‚Wenn Ihr Euch nur selbst vertraut, so traun Euch auch die anderen Seelen‘, sagt Goethe sehr treffend. Der practische Sinn verbietet jedoch, in dieser Beziehung gewisse Grenzen zu überschreiten. Gleichgestellten und Untergebenen gegenüber folgt der Practiker seiner eigenen Auffassung und duldet keinen Widerspruch, dagegen theilt er stets die Ansichten, die in höheren Kreisen sich bereits gebildet haben. – Unbedingt muß er jede fremde und eingehende Beurtheilung von sich fern halten, und dieses gelingt ihm, wenn er dem Gegensatze zwischen Theorie und Praxis in voller Schroffheit Geltung verschafft: wer sich mit Theorie beschäftigt hat, ist für die Praxis unbrauchbar! – ... Wenn man die Bauprojecte auf sorgfältige Erwägung der bisherigen Erfahrungen gründet, so werden freilich beim Hinzutreten neuer Thatsachen die Ansichten sich nach und nach berichtigen, unmöglich können sie aber so wesentlich von einander abweichen, wie die practischen Auffassungen. Außerdem läßt auch die unbefangene und methodische Untersuchung, die von genauen Beobachtungen ausgeht, das erreichbare Ziel richtiger erkennen und führt sicherer zu demselben, als wenn man nur von flüchtigen Auffassungen sich leiten läßt. Solche methodische Untersuchung ist aber nichts Anderes, als die Theorie in der wahren Bedeutung des Wortes.“

Obgleich HAGEN nur die ersten beiden Jahrzehnte des Bühnenbaues verfolgen konnte, finden wir im Vorwort zur „Wasserbaukunst“ hierüber schon folgende Darstellung: „Vorzugsweise sind die Erfolge derjenigen baulichen Anlagen noch sehr unsicher, welche die dabei beabsichtigten Zwecke nicht unmittelbar herbeiführen, die vielmehr das Wasser zu gewissen Wirkungen veranlassen sollen. Hierher gehören beispielsweise die Bühnen. Die Erfahrung hat zwar auch bei ihnen zu manchen Regeln geführt, aber zur klaren Einsicht in ihre Wirkungen und dadurch zur Entscheidung über ihre zweckmäßigste Anordnung ist man noch keineswegs gelangt. Selbst die Frage, unter welchen Verhältnissen das Wasser den Boden angreift, ist bisher nicht genügend beantwortet. Ebensowenig kennt man die Bewegungen, welche diese

Werke bei den verschiedenen Wasserständen veranlassen. Ähnlichen Zweifeln begegnet man in allen Einzelheiten, und der Zusammenhang der ganzen complicierten Erscheinung in der Ausbildung eines Strombettes oder eines Ufers ist noch vollständig dunkel. Der größte Übelstand besteht aber darin, daß dieser Mangel gar nicht erkannt wird, vielmehr die Ansicht verbreitet ist, daß jene Theorien schon so vollständig über Alles Aufschluß geben, wie dieses von Theorien nur erwartet werden kann.“

Wir sehen, wie weit HAGEN seiner Zeit voraus auch Bühnenprobleme zutreffend darzustellen wußte. Auf manchen Teilgebieten sind seitdem erfreuliche Fortschritte erzielt worden, insbesondere seitdem Forschungs-, Untersuchungs- und Vorarbeitenstellen eingerichtet worden sind und Ergebnisse ihrer Untersuchungen vorgelegt haben. Wenn es auch die Aufgabe solcher Stellen ist, alle Vorgänge im Küstenbereich äußerst kritisch zu prüfen, bleibt es bekanntlich nicht aus, daß auch die Bauwerke in diesem Bereich vorteilhaft oder auch nachteilig beurteilt werden müssen. Leider werden aber meist sachlich geäußerte negative Urteile, z. B. über die Wirkung einer Anlage, leicht insofern mißverstanden, als sie die persönlichen Erfahrungen eines Praktikers und damit den Praktiker persönlich treffen.

Einige Verfasser machen Angaben darüber, daß sich die meist von ihnen selbst gebauten Seebuhnen gut bewährt hätten. Wenn auch die Berechtigung zu solchen Aussagen im Hinblick auf die Standfestigkeit des Bauwerks durchaus zugebilligt wird, sollten wir darüber hinaus bemüht sein, die Bewährung im weiteren Sinne, vor allen Dingen die Funktion der Anlage und ihre Wirkung über möglichst lange Zeiträume, zu würdigen und mit objektiven Maßstäben festzuhalten. Ein Bauwerk, das sich als standsicher erwiesen hat, liefert also noch keinen Beweis für seine funktionelle Bewährung! Die Standsicherheit ist vielmehr Voraussetzung dafür, daß eine Anlage überhaupt wirken kann.

## 2. Ergebnisse aus der Durchsicht des Schrifttums

### a) Anlaß für den Bau von Seebuhnen

Der Bau von Seebuhnen wurde in den meisten Fällen unter dem Eindruck von Schäden veranlaßt, die bei Sturmfluten durch die Dynamik der Brandung verursacht waren. Die Schäden entstanden sowohl am Fuß der Dünen und Strandwälle als auch an Längswerken und an den Buhnen selbst; sie zeigten sich als Folge der Lee-Erosion und der gegen den Strand vorrückenden Stromrinnen.

### b) Strombuhnen und Strandbuhnen

Seebuhnen sind Strombuhnen und Strandbuhnen. Beide Arten haben unterschiedliche Funktionen.

Strombuhnen sind stromabweisende Werke. Es ist erwiesen, daß sie diese Aufgabe erfüllen können.

Strandbuhnen sollen den Brandungsstrand erhalten und möglichst verbessern. An manchen Strandabschnitten wird einschränkend erwartet, daß sie den Uferrückgang verzögern. Die Vorstellung über die Aufgabe der Strandbuhnen streuen also von dem nicht nachweisbaren Maß der Verzögerung (Erfolg = 1 v. H. bis 99 v. H.) über die Erhaltung (Erfolg = 100 v. H.) bis zur Verbesserung des Strandes (Erfolg > 100 v. H.).

An den Übergangsstrecken von den durch Ströme und Gaten beeinflussten Stränden zu den reinen Brandungsstränden gehen beide Funktionen ineinander über. Hier kann erst mit

Erfolg eingewirkt werden, wenn auch die Leistungsfähigkeit der Strandbuhnen geklärt ist. Aus dem deutschen Schrifttum ist eine befriedigende Klärung noch nicht zu erkennen. Strom-abweisende Werke wurden fast ebenso gebaut wie diejenigen Anlagen, die zur Erhaltung und Verbesserung des Strandes dienen sollten.

#### c) Bühnenformen

Die Form der Strombuhnen ist verhältnismäßig klar. Es sind möglichst weit in den Strom oder durch den Strom hindurch gebaute Werke mit breitem und flachem Querschnitt, die oft schon im Anfang als Flachbuhnen gebaut wurden. Der landseitige Bereich etwa zwischen dem Niedrigwasser und der Düne ist an manchen Abschnitten den Verhältnissen für Strandbuhnen ähnlich. Durch den in der Regel eintretenden zeitweiligen oder dauernden Strandverlust wurde die Anordnung von seitlichen Banketten zur Erhaltung der Bühne erforderlich.

Mit Strandbuhnen sind außerordentlich viele Versuche in der Natur durchgeführt worden. Über die durchlässige einreihige und doppelreihige Holzpfahlbühne, die Steinkistenbühne und Strauchbühne kam man zur undurchlässigen, massiven Findlingsbühne, der Stahlspundwand- und Eisenbeton-Pfahlbühne und neuerdings zur Flachbühne mit durch Asphalt verkittetem Bruchsteinpackwerk. Durchlässige und undurchlässige Strandbuhnen finden wir auch heute noch auf denselben Küstenstrecken nebeneinander. Die Stahlspundwand- und Eisenbeton-Pfahlbuhnen wurden fast allein aus bautechnischen Gründen entworfen und gebaut.

#### d) Bühnenlänge

Die Länge wurde im Anfang durch die bautechnischen Möglichkeiten bestimmt. Erst als Dampfrahmen zur Verfügung standen, konnten Bühnen in tieferes Wasser vorgetrieben werden. Schon GERMELMANN wandte um 1881 (erwähnt von L. FRANZIUS) das Einspülverfahren an, das sich beim Einbau langer Pfähle (und später Bohlen) durch Einspritzen von Wasser mittels Spüllanzen sehr gut eignete.

Strombuhnen sind mit gutem Erfolg seawärts bis über MTnw hinaus und durch Stromrinnen hindurch gebaut worden.

Bei Strandbuhnen gehen die Ansichten über die Länge der Werke noch weit auseinander. Es werden sowohl kurze, auf den trockenen und nassen Strand beschränkte Längen für ausreichend gehalten als auch im Hinblick auf den hauptsächlichlichen Bereich der Sandwanderung Längen bis über das erste Sandriff hinaus vorgeschlagen. An der Ostseeküste liegt dieses Riff etwa 100 m, an der Nordsee (z. B. Sylt) etwa 300 m von der Uferlinie entfernt. Wenn solche Vorschläge nicht mehr oder nur hier und dort verwirklicht wurden, so vornehmlich wegen der finanziellen Möglichkeiten. Sowohl die Baukosten als auch die Kosten für die Unterhaltung wachsen mit der Länge der Werke erheblich.

#### e) Höhenlage des Bühnenrückens

Auch über die wirksamste Höhenlage des Bühnenrückens herrschen voneinander abweichende Vorstellungen. Einige Autoren vertreten den Standpunkt, der Bühnenrücken müsse waagrecht verlaufen, andere halten eine geringe Mindesthöhe über der derzeitigen Strandlage

für richtig, wieder andere bauten die Bühnen so hoch über den Strand hinaus, wie sie sich den Endzustand bei sandfangender Wirkung der Bühnen wünschten. Neuerdings gehen Vorschläge dahin, die Bauwerke so zu konstruieren, daß sie dem Gefälle des Strandes bei Veränderungen desselben folgen sollen. Dies ist jedoch nur in der abwärtigen Richtung möglich. In Zeiten stärkeren Sandanfalls versanden solche Bühnen.

#### f) Bühnengruppen, Lee-Erosion und Abstand der Bühnen

Überall, wo Seebühnen gebaut wurden, blieb es nicht bei einer Bühne, weil sehr bald erkannt wurde, daß immer mehrere notwendig sind, um einen Strand zu „schützen“, zu „erhalten“ oder den Abbruch zu „verlangsamen“. Immer wurden in Lee der Brandungsströmung neue Schäden festgestellt, so daß die Gruppen stets verlängert werden mußten. Dieser Gedanke wurde folgerichtig bis zum „Totalitätssystem“ geführt, d. h., die gesamte Küste müsse mit Bühnen bebaut werden (HANSEN 1938). Wenn wir jedoch die natürlichen Verhältnisse des Sandhaushalts berücksichtigen, muß ein derartiges Verfahren ohne Einschränkung abgelehnt werden, sowohl aus funktionellen als auch aus finanziellen Gründen.

In einer Reihe von Untersuchungen darüber, wie der Lee-Erosion begegnet werden kann, ist bisher keine befriedigende Lösung gefunden worden. Dieses Problem spielt sowohl beim Abschluß einer Gruppe von Strombühnen als auch bei allen Strandbühnen eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Innerhalb einer Bühnengruppe ist der Abstand der einzelnen Werke zueinander ganz verschieden gewählt worden; er schwankt zwischen der ein- bis dreifachen Länge der Bühnen, ohne daß ein System zu erkennen ist. Da die Längen im Laufe der Entwicklung gegenüber den ersten Plänen meist recht erheblich vergrößert wurden, kann aus diesem Grunde kein bestimmtes Verhältnis zwischen Länge und Abstand aus den vorliegenden bautechnischen Erfahrungen abgeleitet werden.

#### g) Streichlinie

Mehrere Autoren halten es für richtig, die Bühnenköpfe einer Bühnengruppe in eine zügige Linie, in die Streichlinie, zu legen. Soweit es sich um Strombühnen handelt, wird diese Ansicht recht einheitlich bejaht. Wenn wir jedoch die Unterwasserbühnen von Borkum und Norderney betrachten, dann wird hier von der vorherrschenden Ansicht abgewichen, ohne daß Nachteile funktioneller Art zu erkennen gewesen wären.

Die Streichlinie bei Strandbühnen wird von einem Teil auch der neueren Autoren für richtig gehalten, während andere der Streichlinie keine Bedeutung beimessen; viele gehen bei ihren Darstellungen gar nicht auf diese Frage ein.

Die Gründe, die im Flußbau zu zügigen Streichlinien führten, liegen in der Notwendigkeit, den Fluß beiderseitig so einzuengen, daß eine möglichst gleichmäßige Wasserführung, insbesondere für die Schifffahrt, erzielt wird. Am Strand haben wir es immer nur mit einem Ufer zu tun. Die Strömungen wechseln Richtung und Stärke; sie entfalten im Zusammenwirken mit der Brandung schon bei kleinen Stromgeschwindigkeiten beachtliche Transportleistungen, nachdem die Brandung den Sand in Suspension gebracht hat.

Die Bedeutung einer Streichlinie für Strandbühnen wird zweifelhaft, wenn es sich um verhältnismäßig kurze Bühnen handelt, die nicht bis zum Riff hinausreichen, wo der Sandtransport hauptsächlich stattfindet.

#### h) Baustoffe

Für den Bau von Seebuhnen sind mannigfache Baustoffe verwendet worden.

**Holz:** Pfähle, Holme, Bohlen der verfügbaren Baumarten, Buschwerk (gefährdet durch die Bohrmuschel).

**Natur-Steine.**

**Stahl:** aus Spundwandbohlen zusammengesetzte ein- oder mehrwandige Buhnen; Verbindungselement verschiedener Bauteile (gefährdet durch Rostbildung und Sandschliff).

**Beton:** seit Beginn des 20. Jahrhunderts zunächst versuchsweise, neuerdings auch planmäßig verwendet.

**Asphalt:** seit einigen Jahren beim Bau von Seebuhnen gebraucht.

Wenn ein Baustoff den anderen nach und nach abgelöst hat, liegt das an der Lebensdauer der Stoffe, die beeinflußt wird durch wechselnde Feuchtigkeiten, Sonnenbestrahlungen, Temperaturen, Brandungsstöße, Brandungsströmungen, Höhenveränderungen des Strandes, durch Sandschliff, Eisgang und durch die Holzbohrmuschel.

Die Lebensdauer des Stahls und des Stahlbetons bei Seebuhnen beträgt im allgemeinen nur zehn bis zwanzig Jahre.

Holz kann schon nach zwei bis drei Jahren zerstört sein, wenn es in Gegenden mit starkem Befall durch Bohrmuscheln oder andere Holzschädlinge verwendet wird. Ohne diese Schädlinge kann die Lebensdauer mehrere Jahrzehnte erreichen.

Natursteine sind unbegrenzt haltbar. Sie werden als Belastungselemente in Verbindung mit Buschunterlagen oder zum Abstützen von steilen Wänden eingebaut.

Über die Lebensdauer von Asphalt im Buhnenbau an der Küste schon heute eine zutreffende Aussage machen zu wollen, erscheint nach den bisherigen Erfahrungen und Enttäuschungen mit anderen Baustoffen verfrüht.

Die Lebensdauer eines Bauwerkes ist maßgebend für die Kosten, die für die Unterhaltung aufgewendet werden müssen.

#### i) Künstliche Sandzufuhr

Als jüngster Zweig des Küstenbaues kann die künstliche Sandzufuhr in Gebieten mit einer Unterbilanz im Sandhaushalt angesehen werden, obgleich man schon vor Jahrzehnten sowohl an der Ostsee als auch an der Nordsee Baggermassen mit gutem Erfolg vor solchen Stränden verklappt hatte. Über Erfahrungen zu berichten, dürfte es auch für diese Maßnahmen noch nicht an der Zeit sein. Die Ursachen der Unterbilanz werden auch durch reichliche künstliche Sandzufuhr zwar nicht beseitigt. Der Sand hat jedoch den großen Vorteil gegenüber allen anderen Baustoffen, daß er sich wie der vorher dort vorhandene Sand natürlich verhält. Ob eine künstliche Sandzufuhr vertretbar ist, bleibt vor allen Dingen eine Frage der Wirtschaftlichkeit. Fördermengen und Förderlängen gehen ausschlaggebend in die Berechnung ein.

#### j) Kosten

Über die Kosten für den Bau und die Unterhaltung von Strandschutzbauten finden wir im deutschen Schrifttum nur eine einzige Mitteilung durch HIBBEN (1935) für Borkum. Bis 1916 betragen die Kosten für Unterhaltung der Küstenschutzanlagen und für die Beseitigung von Sturmflutschäden 42 v. H. der gesamten Ausgaben für Neu- und Ergänzungsbauten. Es wird

aber schon darauf hingewiesen, „daß letztere im gewissen Sinne auch als Unterhaltungskosten gewertet werden können“. Die Richtigkeit dieses Hinweises hat sich bestätigt; denn nach einer nicht veröffentlichten Darstellung für eine Tagung der Wasserbaubeamten auf Borkum lag das Verhältnis der Kosten für Unterhaltungsarbeiten zu den Kosten für Neubauten bis 1957 so, daß für Unterhaltungsarbeiten etwa 25 v. H. mehr ausgegeben werden mußten als für Neubauten. Diese Angaben für Borkum dürfen nicht verallgemeinert werden. Dennoch gestatten sie einen Einblick in die Größenordnung der Kostenanteile, die auch für Seebuhnen gelten dürften.

Die Neubaukosten für eine Strandbuhne sind so hoch, daß das Verfahren einer künstlichen Sandzufuhr mit Rohrleitungen unter bestimmten Voraussetzungen durchaus wettbewerbsfähig sein kann. Die Kosten fordern auch heute wieder die Frage nach der Grenze des Vertretbaren heraus. FÜLSCHER sah sich als verantwortlicher Referent in der Zentralverwaltung schon 1905 veranlaßt, die Kostenfrage zu prüfen.

## V. Folgerungen

### Messen und untersuchen!

Die komplexen Vorgänge an sandigen Küsten mit den bisher verfügbaren Mitteln vollständig zu klären und für alle Fälle richtig zu deuten, war noch nicht möglich. Aus der Tatsache aber, daß das Schrifttum über die Wirkung von Strandbuhnen mit so zahlreichen Annahmen und Behauptungen belastet ist, geht hervor, daß diese durch Maß und Zahl zu belegen oder zu entkräften sind — eine Notwendigkeit, die heute allgemein anerkannt wird und wegen der sehr hohen Bau- und Unterhaltungskosten nachdrücklich gefordert werden muß. Es ist eindeutig klar geworden, daß nur durch planmäßig angesetzte Messungen und systematische Untersuchungen nach dem Vorbild von G. HAGEN eine einigermaßen zutreffende Beurteilung der Verhältnisse möglich ist. Außer den unumgänglichen Messungen in der Natur sollten theoretisch-hydrodynamische Untersuchungen und das Messen und Beobachten im Modellversuch gefördert werden. Neue Meßgeräte sind zu entwickeln. Gute Ansätze zeichnen sich bereits ab.

Wenn man die Entwicklungstendenzen an der Küste über Jahrzehnte systematisch verfolgt, lassen sich offensichtliche Fehlinvestitionen vermeiden. Die Insel Trischen hätte nicht bedeiht und mit Uferschutzwerken befestigt werden dürfen, weil die Neigung der natürlichen Entwicklung zu einer Zerstörung führen mußte. Auch hätte man bei laufender Überwachung den Bau der Strandschutzanlagen z. B. auf den Ostfriesischen Inseln Juist und Wangerooge abwarten sollen, weil die natürliche Entwicklung zu einer Versandung der Schutzwerke führen mußte. Andererseits kann manche Enttäuschung auf dem bautechnischen Gebiet erspart bleiben, wenn Berichte kritisch abgefaßt und auch Fehler mitgeteilt werden.

Betrachten wir die Entwicklung im Ausland, so können wir ganz allgemein feststellen, daß überall dort, wo eine Brandung vor sandigen Küsten vorhanden ist, auch dieselben Probleme vorliegen und daß in allen betroffenen Küstenländern mehr oder weniger intensiv an der Lösung eines funktionell einwandfreien Verfahrens zum Schutze der Küsten gearbeitet wird. Daß die Ansichten über die Wirkung von Seebuhnen im Sinne von Strandbuhnen auch im Ausland noch weit voneinander abweichen, geht unter anderem aus neueren holländischen Arbeiten hervor, wo den Buhnen einerseits eine strandstabilisierende Wirkung und andererseits auch keine nennenswerte Wirkung zugesprochen wird. Die Neigung zur Sandvorspülung setzt sich anscheinend durch.

Eine enge, sinnvolle Zusammenarbeit der Wissenschaftler und Praktiker im Sinne unseres Altmeisters G. HAGEN erscheint notwendiger denn je, um Doppelarbeit vermeiden, Untersuchungsergebnisse diskutieren, offene Fragen klar erkennen und deren Bearbeitung in Angriff nehmen zu können. Der Küstenausschuß Nord- und Ostsee stellt hierfür eine geeignete Einrichtung dar und bietet eine Möglichkeit zum fruchtbaren Gedankenaustausch mit dem Ziel, planmäßige Untersuchungen anzuregen.

Es ist weiter erforderlich, daß die beim Küstenausschuß Nord- und Ostsee geführte Dokumentation des gesamten in- und ausländischen Schrifttums über das Küstengebiet gefördert wird. Dem einzelnen Bearbeiter eines Problems wie des hier behandelten bleibt das Quellenmaterial zum großen Teil verschlossen, weil die Zeit für eine derartige Sucharbeit dem einzelnen nicht mehr zur Verfügung steht.

Das Gebot der Stunde verlangt auf dem Gebiet der Küstenforschung und des Küstenbaues ein Zusammengehen aller beteiligten Disziplinen; erst wenn das geschieht, werden sich die physikalischen, technischen und wirtschaftlichen Grundlagen für das Schaffen von funktionell richtigen und bautechnisch einwandfreien Küstenschutzwerken finden lassen.

## VI. Schriftenverzeichnis

Wegen der Bedeutung für eine vollständige Dokumentation ist das Schriftenverzeichnis so ausführlich zusammengestellt worden.

### 1. Verzeichnis des Schrifttums über Seebuhnen:

Nicht alle hier aufgeführten Arbeiten wurden besprochen; dies bedeutet jedoch keine Wertung.

- AGATZ, A.: Seeverkehrswasserbau, III. Seebau, B. Landerhaltung. In SCHLEICHER: Taschenbuch für Bauingenieure, S. 1080—1083, 1949.
- BACHUS, E.: Durchlässige Buhnen in Amerika. Bauing. 20, H. 13/14, S. 181, 1939.
- BACKHAUS, H.: Die Entwicklung der ostfriesischen Inseln in geschichtlicher, geomorphologischer, hydrodynamischer und seebautechnischer Hinsicht. Diss. Jb. Hafenbautechn. Ges., 18, 1939/40.
- BAENSCH: Die Sturmflut vom 12./13. November 1872 an den Ostseeküsten des Preussischen Staates. Z. Bauwesen, S. 155—220, 1875.
- BAHR, M.: Die Veränderungen der Helgoländer Düne und des umgebenden Seegebietes. Diss. Jb. Hafenbautechn. Ges., 17, 1938.
- BAHR, M.: Helgoland, Geschichte seiner Entstehung und Erhaltung seiner Beziehungen zur Schifffahrt und seines Hafens. Jb. Nordfries. Ver., 30, S. 203—218, 1955.
- BAHR, M. und POPPE: Der Neubau der Ostbake auf der Düne von Helgoland. Zbl. Bauverw., 58, H. 28, S. 755—762, 1938.
- BLAU, E.: Modellversuche mit beweglicher Sohle im See- und Seehafenbau ohne Tideströmungen. Wasserwirtsch. — Wassertechn., 4, H. 10, S. 355—360, 1954.
- BLAU, E.: Die modellmäßige Untersuchung der Versandung von Hafeneinfahrten. Wasserwirtsch. — Wassertechn., 9, H. 6, S. 244—251, 1959.
- BÖSENBERG, H.: Die Verwendung von Bitumen im Wasserbau. Asphalt und Teer, 34, H. 45, S. 903, 1934.
- BOMAS, P.: Unterwasserlängswerke zum Schutze der Küste vor Erosion. Wasserwirtsch. — Wassertechn., 2, H. 5, 1952.
- BRAUN, W.: Bau eines schweren Dünendeckwerkes in Asphalt-Basaltbauweise auf der Insel Borkum. Bitumen, 8/9, S. 176—182, 1957.
- BRUNS, E.: Einige Gedanken zur Frage der Erforschung der Küstendynamik und der Modell-

- versuche für seebauliche Küstenschutzmaßnahmen. Wasserwirtsch. — Wassertechn., H. 12, S. 387—390, 1956.
- BÜLOW, K. VON: Aktuelle Fragen zum Küstenschutz. Wasserwirtsch. — Wassertechn., 2, H. 9, 1952.
- BÜLOW, K. VON: Allgemeine Küstendynamik und Küstenschutz an der südlichen Ostsee zwischen Trave und Swine. Z. Geologie, 10, Beiheft, 1954.
- BÜLOW, K. VON: Wo steht der Küstenschutz? Wasserwirtsch. — Wassertechn., 6, H. 8, S. 231 bis 233, 1956.
- BÜLOW, K. VON: Der Einsatz biologischer Hilfen im Küstenschutz. Wasserwirtsch. — Wassertechn., 8, H. 2, S. 54—63, 1958.
- BURHORN, E.: Seebuhnen an Küsten mit schwachen Gezeiten und starker Sanddrift. Planen und Bauen, 5, H. 3, S. 57—62, 1951.
- COEN CAGLI: Verteidigung der Küsten gegen das Meer an Küsten mit und ohne vorwiegende Sinkstoffführung. XV. Int. Schifffahrtskongr. Venedig, 1931.
- EHRENBERGER, R.: Modellversuche über Strömungserscheinungen in Bühnenfeldern. Z. Österr. Ing. u. Arch. Ver., H. 47 und 48, 1925.
- EILMANN: Die Sturmflutschäden an der ostfriesischen Küste im Herbst und Winter 1936. Bauing., 18, S. 197—203, 1937.
- ENGELS, H.: Untersuchungen über die Wirkungen der Strömungen auf sandigem Boden unter dem Einfluß von Querbauten. Z. Bauwesen, S. 450—468, 1904.
- ENGELS, H.: Steile oder flache Bühnenköpfe. Z. Bauwesen, S. 673—678, 1906.
- ENGELS, H.: Ufer- und Küstenschutzbauten nach der de Muraltischen Bauart. Zbl. Bauverw., 91, S. 562—564, 1911.
- ENGELS, H.: Handbuch des Wasserbaues, Bd. I, 5. Teil: Schutz des Landes gegen das Meer. S. 689—725, 1914.
- ENGELS, H.: Wasserbau und Wasserwirtschaft, XI Seebau, E. Uferschutzwerke. In FOERSTER, M.: Taschenbuch für Bauing., II, 5. Aufl., 1928.
- FISCHER, O.: Einfluß der Schutzbauten auf den Abbruch der Sylter Westküste. Zbl. Bauverw., 58, H. 23, S. 603—606, 1938.
- FRANZIUS, L.: Wasserbau am Meere und in Strommündungen. In FRANZIUS, L. und SONNE, E.: Handbuch der Ing. Wissenschaften, III. Bd., 3. Abt., 1884.
- FRANZIUS, O.: Der Verkehrswasserbau. Berlin 1927.
- FÜLSCHER: Über Schutzbauten zur Erhaltung der ost- und nordfriesischen Inseln. Berlin 1905.
- GÄHRS, J.: Die Arbeiten der Reichswasserstraßenverwaltung. Bautechn., 1926—1938.
- GAYE, J.: Entwicklung und Erhaltung der ostfriesischen Inseln. Zbl. Bauverw., 54/22, 1934. Dtsch. Wasserwirtsch., 30, H. 2, S. 21—27 und 52—55, 1935.
- GAYE, J. u. WALTHER, FR.: Die Wanderung der Sandriffe vor den ostfriesischen Inseln. Bautechn., 13, H. 41, S. 555—567, 1935.
- GERHARDT, P.: Handbuch des deutschen Dünenbaus. Berlin 1900.
- GERHARDT, P.: Die Befestigung der Ostküste bei Kranz. Z. Bauwesen, S. 95—102, 1906.
- GERMELMANN: Schutzvorkehrungen an der preußischen und pommerschen Ostseeküste. Zbl. Bauverw., 26, S. 185, 1908.
- GRAESSNER: Uferschutz und Seeedeiche. In SYMPHER: Die Wasserwirtschaft Deutschlands und ihre neuen Aufgaben, Bd. I, 1921.
- HAGEN, G.: Handbuch der Wasserbaukunst. Seeufer- und Hafengebäude, 3. Teil, I. u. II. Bd., 1863.
- HAGEN, L.: Reisebericht über einige Ströme Frankreichs. Z. Bauwesen, S. 106—136, 1881/83.
- HANSEN, A.: Küstenschutz an der Ostsee. Bautechn., 16, H. 4, 1938.
- HEISER, H.: Über die zweckmäßigste Anordnung der äußeren Hafendämme von Seehäfen an sandiger Küste. Z. Bauwesen, S. 677—776, 1920.
- HEISER, H.: Der Rückgang der deutschen Ostseeküste. Bautechn., 1925.
- HEISER, H.: Uferschutzbau an der deutschen Ostseeküste. Bautechn., H. 53, 1927.
- HEISER, H.: Die Verteidigung der Küsten gegen das Meer an Küsten mit und ohne vorwiegende Sinkstoffführung. Bautechn., 1932.

- HEISER, H.: Landerhaltung und Landgewinnung an der deutschen Nordseeküste. Bautechn., 11, H. 13, 1933.
- HENSEN, W.: Modellversuche über den Wellenaufwurf an Seedeichen im Wattengebiet. Mitt. Hannov. Versuchsanst., H. 5, S. 123—165, 1954.
- HENSEN, W.: Modellversuche über den Strandabbruch an den Enden von befestigten Küstenstrecken (Lee-Erosion). Mitt. Hannov. Versuchsanst., H. 10, S. 86—119, 1957.
- HIBBEN, J.-A.: Die Schutzbauten auf der Insel Borkum. Diss. Bautechn., 13, H. 53, 1935.
- HOECH, TH.: Die Entwicklung der Pfahlbuhnen im Bezirk des Hafenaufbauamtes Kolberg. Z. Verb. dtsh. Arch. u. Ing. Ver., 1917.
- HORN, A. VON: Versuch einer Geologie der ostfriesischen Marschen. Emden 1862.
- HORN, A. VON: Zur Befestigung der Nordseeküste. Zbl. Bauverw., Bd. 19, S. 401, 1899.
- HUNDT, CL.: Die Abbruchursachen an der Nordwestküste des Ellenbogens auf Sylt. Die Küste, 6, H. 2, S. 3—38, 1957.
- JANSSEN, TH.: Inselschutz an Ostfrieslands Küste. Hansa, 93, H. 44/45, S. 2108—2110, 1956.
- JANSSEN, TH.: Buhnen mit Asphaltverguß im ostfriesischen Küstenraum. Bitumen, H. 3, 1959.
- JANSSEN, TH. u. HANSEN, W.: Maßnahmen zur Festlegung und Erhaltung der Schwemmseln an der südlichen deutschen Nordseeküste sowie Grundsätzliches über den Einfluß der Strömungen und Wasserstände in der deutschen Bucht auf die Küstengestaltung. Dtsch. Ber. XIX. Int. Schiffahrtskongr., London 1957.
- KANNENBERG, E.-G.: Schutz und Entwässerung der Niederungsgebiete an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. Die Küste, 7, S. 47—106, 1958/59.
- KELLER, H.: Studien über die Gestaltung der Sandküsten und die Anlage der Seehäfen im Sandgebiet. Z. Bauwesen, Bd. 31, S. 190—210, 301—318, 411—422; Bd. 32, S. 19—36, 161—180, 1881/82.
- KLOSS: Asphaltbauweisen im Bühnenbau. Bitumen, H. 2, S. 25, 1952. Wasser u. Boden, 4, H. 3, S. 52—56, 1952.
- KOLP, O.: Was geschieht zum Schutze unserer Ostseeküste? Wasserwirtsch. — Wassertechn., 6, H. 8, S. 229—231, 1956.
- KOLP, O.: Die nördliche Heide Mecklenburgs. Berlin 1957.
- KRAMER, J.: Probleme des Insel- und Küstenschutzes. Ber. westdtsh. Wasserwirtschaftsverb., S. 115—133, 1956 b.
- KRAMER, J.: Künstliche Wiederherstellung von Stränden unter besonderer Berücksichtigung der Strandaufspülung Norderney 1951—1952. Jber. Forschungsst. Norderney, Bd. IX, S. 107—139, 1957.
- KRAMER, J.: Die Strandaufspülung Norderney 1951—1952 und ein Plan zu ihrer Fortführung. Die Küste, 7, S. 107—139, 1958/59.
- KRAMER, J. und HOMEIER, H.: Die Auswirkung der Inselschutzwerke auf die Strandentwicklung im Westteil von Norderney. Jber. Forschungsst. Norderney, Bd. VI, S. 15—38, 1955.
- KRANZ: Die Arbeiten und Bauten auf den Ostfriesischen Inseln von Borkum bis Spiekeroog. Jb. Hafenaufbau. Ges., 12, 174—180, 1930—1931.
- KRAUSE, E.: Beitrag zur Frage der Häfen an sinkstoffführenden Küsten. Bautechn., 13, H. 41, S. 568—578, 1935.
- KRESSNER, B.: Modellversuche über die Wirkung der Strömungen und Brandungswellen auf einen sandigen Meeresstrand und die zweckmäßige Anlage von Strandbuhnen. Bautechn., H. 25, S. 374—386, 1928.
- KREY, H. D.: Über die Schutzbauten zur Erhaltung der ost- und nordfriesischen Inseln. Zbl. Bauverw., S. 343—346, 1906.
- KRÜGER, W.: Meer und Küste bei Wangeroog und die Kräfte, die auf die Gestaltung einwirken. Diss. Z. Bauwesen, 1911.
- KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE. ARBEITSGRUPPE KÜSTENSCHUTZ: Gutachtliche Stellungnahme zu den Untersuchungen über die Ursachen der Abbrucherscheinungen am West- und Nordstrand der Insel Norderney sowie zu den zum Schutz der Insel vorgeschlagenen seebautechnischen Maßnahmen. Die Küste, 1, H. 1, S. 27—42, 1952.
- KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE. ARBEITSGRUPPE KÜSTENSCHUTZ: Allgemeine Empfehlungen für den deutschen Küstenschutz. Die Küste, 4, S. 52—61, 1955.

- LAMPRECHT, H.-O.: Brandung und Uferveränderungen an der Westküste von Sylt. Diss. Mitt. Hannov. Versuchsanst., H. 8, S. 80—136, 1955.
- LAMPRECHT, H.-O.: Uferveränderungen und Küstenschutz auf Sylt. Die Küste, 6, H. 2, S. 39 bis 93, 1957 a.
- LAMPRECHT, H.-O.: Wirkungsweise von Küstenschutzbauwerken auf Sylt. Wasserwirtsch., 47, Nr. 5, 1957 b.
- LAMPRECHT, H.-O.: Dünenschutzwerke auf Sylt. Bautechn., 35, H. 1, S. 16—20, 1958.
- LEOPOLD, E.: Hochwasserschutz und Küstensicherung. In: Hütte III, 28. Aufl., S. 1076—1082, Berlin 1956.
- LEPPIK, E.: Flußmündungen mit Barrenbildung an der baltischen Ostseeküste. Z. Bauwesen, H. 1—6, 1927.
- LEPPIK, E.: Verteidigung der Küsten gegen das Meer an Küsten mit oder ohne vorwiegende Sinkstofführung. Dtsch. Ber. XV. Int. Schifffahrtskongr., 1931.
- LINKE, O.: Miesmuscheln als Buhenschutz. Natur und Volk, 70 (5), 1940.
- LORENZEN, J. M.: Planung und Forschung im Gebiet der Schleswig-Holsteinischen Westküste. Westküste, 1, H. 1, 1938.
- LORENZEN, J. M.: Vorarbeiten für Seebauten. Jb. Hafenbautechn. Ges., 1939/40.
- LORENZEN, J. M.: Hundert Jahre Küstenschutz an der Nordsee. Die Küste, 3, H. 1/2, S. 18—32, 1954.
- LÜDERS, K.: Die Wirkung der Buhne H in Wangeroooge-West auf das Seegat „Harle“. Die Küste, 1, H. 1, S. 21—26, 1952.
- LÜPKES, H. und SIEMENS, H.: Uferschutzbauten vor Westerland. Zbl. Bauverw., S. 446—453, 1938.
- LÜPKES, H. und SIEMENS, H.: Planung und Stand der Maßnahmen zur Sicherung des Ellenbogens von Sylt. Westküste, 2, H. 2/3, 1940.
- LÜPKES, H. und SIEMENS, H.: Erfahrungen mit Stahlbuhnen auf der Insel Sylt. Bautechn., H. 46/47, 1941.
- MAGENS, Cl.: Küstenforschungen im Raum Fehmarn-Nordwagrien. Die Küste, 6, H. 1, S. 4—39, 1957 a.
- MAGENS, Cl.: Brandungsuntersuchungen an den Küsten von Fehmarn und Nordwagrien. Die Küste, 6, H. 1, S. 40—63, 1957 b.
- MAGENS, Cl.: Seegang und Brandung als Grundlage für Planung und Entwurf im Seebau und Küstenschutz. Mitt. Hannov. Versuchsanst., H. 14, 1958.
- MÜLLER, Fr. und FISCHER, O.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. II. Die Inseln. Bd. 5: Amrum, 1937. Bd. 7: Sylt, 1938.
- MUSSET, M.: Untersuchung über die Einwirkung der Form der Molen auf Küstenströmung und Sandwanderung vor den Hafeneinfahrten. Z. Bauwesen, S. 105—116, 1920.
- MUSSET, M.: Weitere Untersuchungen über die Entwicklung der Form der Molen auf Küstenströmung und Sandwanderung. Z. Bauwesen, S. 340—350, 1922.
- NIESE: Maßnahmen zur Beseitigung der Sturmflutschäden vom 30./31. Dezember 1904 an den Außenküsten des Regierungsbezirks Stralsund. Z. Bauwesen, 60, 1910.
- OTTMANN: Gotthilf Hagen, der Altmeister der Wasserbaukunst. Berlin 1934.
- o. V.: Uferschutzwerke auf den Ostfriesischen Inseln. Z. Bauwesen, 32, S. 525—534, 1882.
- o. V.: Bauwissenschaftliche Versuche in den Jahren 1902—1903. Zbl. Bauverw., 71, S. 444, 1904.
- o. V.: Bauwissenschaftliche Versuche im Jahre 1904. Zbl. Bauverw., S. 21—23, 1906.
- o. V.: Das Brodtener Steilufer. Ursachen des Abbruchs, Möglichkeiten der Sicherung. Mitt. Geogr. u. Naturhist. Mus. Lübeck, H. 44, S. 145—195, 1953.
- o. V.: XVIII. Internationaler Schifffahrtskongreß. Neue Entwürfe von Molen mit senkrechten Wänden und von geböschten Bauwerken, die a) zum Schutz der Häfen, b) zum Schutz der Küsten dienen. Wasserwirtsch., 43, Nr. 3, S. 346—349, 1954.
- PEPER, G.: Die Entstehung und Entwicklung der Inselnchutzwerke auf Norderney mit besonderer Berücksichtigung der Bauten der letzten Jahre. N. Arch. Nieders., 8, H. 3, S. 175—196, 1955/56.
- PETERS, A. G.: Bericht über die Verwendung von Asphalt beim Bau der Buhnen vor dem Delfland (Holland). Polytechn. tijdschr., H. 49/50, 1946.

- PETERS, A. G.: Asphaltbuhnen in USA. Baumasch. u. Bautechn., 3, H. 11, S. 337, 1956.
- PETERSEN, M.: Abbruch und Schutz der Steilufer an der Ostseeküste — Samland bis Schleswig-Holstein. Diss. Die Küste, 1, H. 2, 1952.
- PFEIFFER: Die Arbeiten an der Schleswig-Holsteinischen Westküste seit 1933. Westküste, 1, H. 1, 1938.
- PLENER: Bemerkungen über die ostfriesischen Inseln in geognostischer und hydrotechnischer Beziehung. Hannov. Z. Arch. u. Ing. Ver., 1856.
- POPPE, Fr., Uferschutzarbeiten an der Ostseeküste vom Darß bis Hiddensee. Bautechn., 20, H. 54/56, 1942.
- PRESS, H.: Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Hamburg 1958.
- PRESS, H.: Kulturlanderhaltung und Kulturlandgewinnung. Berlin und Hamburg 1959.
- PROETEL, H.: See- und Seehafenbau. Handbibl. f. Bauing. III: Wasserbau, Bd. 2, 1921.
- REINEKE, H.: Was erwartet die Wasserwirtschaft von der Küstenforschung? Wasserwirtsch. — Wassertechn., H. 8, S. 249—250, 1955.
- REINEKE, H.: Aus den Arbeiten des Küstenausschusses Ost. Die Küste, 5, S. 1—8, 1956.
- REINHARD, H.: Küstenveränderungen und Küstenschutz der Insel Hiddensee. Berlin 1956.
- RIEDER, K.: Folgerungen aus Untersuchungen über Küstenschutzprobleme auf Sylt. Die Küste, 6, H. 2, 1957.
- RIEDER, K. und SUHR, H.: Wasserwirtschaft zwischen Nord- und Ostsee. 2. Folge 1948—1958, Kiel 1958.
- RÖHNISCH: Wasserbauwerke (Buhnen, Dämme, Deiche und Kanalböschungen) in Bitumenbauweise. Bitumen, 15, H. 9/10, 1953.
- SCHELTEN: Die Strandschutzwerke auf den ostfriesischen Inseln und ihr Verhalten bei den letzten größeren Sturmfluten. Z. Bauwesen, S. 259—276, 1896.
- SCHELTEN und ROLOFF: Geschichte der Strandschutzbauten auf der Insel Baltrum nebst Bemerkungen über die Ostfriesischen Inseln und deren Befestigungen. Berlin 1903.
- SCHMIDT, R.: Inselschutz vor der deutschen Nordseeküste. In: Werdendes Land am Meer, S. 71—105, Berlin 1937.
- SCHMIDT, R. und HEISER H.: Verteidigung der Küsten gegen das Meer an Küsten mit oder ohne vorwiegende Sinkstoffführung. XV. Intern. Schiffahrtskongr. 1931.
- SCHMITZ, H. P.: Küstenschutz und wissenschaftliche Grundlagenforschung. Wasserwirtsch. — Wassertechn., 7, H. 2, S. 64—74; H. 3, S. 104—107, 1957.
- SCHULZE, F. W. O.: Seehafenbau. Bd. I. Berlin 1911.
- SCHUMACHER, W.: Der menschliche Eingriff in die Entwicklung der Ostfriesischen Inseln seit 1850. Abh. Naturw. Ver. Bremen, 30, H. 1/2, 1937.
- TEUSCHL: Erfahrungen bei Küstenschutzbauten. Zbl. Bauverw., S. 101—111, 1940.
- THIERRY, G. de: Verteidigung der Küsten gegen das Meer an Küsten mit und ohne vorwiegende Sinkstoffführung. XV. Intern. Schiffahrtskongr. 1931.
- THILO, R. und KURZAK, G.: Die Ursachen der Abbrucherscheinungen am West- und Nordweststrand der Insel Norderney. Die Küste, 1, H. 1, 1952.
- TOLLE, A.: Strandschutzwerke der Insel Norderney. Z. Arch. u. Ing. Ver. Hannover, S. 311, 1864.
- VOLLBRECHT, K.: Theoretische Betrachtungen zur Anlage von Küstenschutzbauten an gezeitenfreien Rand- und Nebenmeeren. Wasserwirtsch. — Wassertechn., 3, H. 6, 1953 b.
- VOLLBRECHT, K.: Strandabtragung durch Wellenreflexion an steilwandigen Küstenschutzbauten. Wasserwirtsch. — Wassertechn., H. 8, S. 251—257, 333—339, 1955.
- WALTHER, F.: Die Gezeiten und Meeresströmungen im Norderneyer Seegat. Bautechn., 12, H. 13, S. 141—153, 1934.
- WASMUND, E.: Angriff, Aufbau und Verteidigung der Küste. Zbl. Bauverw., H. 33, 1940.
- WEINNOLDT, E. und SUHR, H.: Wasserwirtschaft zwischen Nord- und Ostsee. Kiel 1951.
- WINKEL, R.: Die Buhnenwirkung. Bautechn., H. 27, S. 395—397, 1928.
- WOHLENBERG, E.: Entstehung und Untergang der Insel Trischen. Mitt. Geogr. Ges. Hamburg XLIX, S. 158—187, 1950.
- ZITSCHER, F.-F.: Möglichkeiten und Grenzen in der konstruktiven Anwendung von Asphaltbauweisen bei Küstenschutzwerken. Diss. Mitt. Hannov. Versuchsanst., 12, 1957 a.

- ZITSCHER, F.-F.: Schutz des Weststrandes der Insel Sylt durch Flachbuhnen. Bitumen, H. 8/9, S. 190, 1957 b.
- ZITSCHER, F.-F.: Schutz des Weststrandes der Insel Sylt durch Flachbuhnen. Wasser u. Boden 9, S. 300—302, 1960.
- ZSCHIESCHE, O.: Die Zweckmäßigkeit von Modellversuchen für seebauliche Maßnahmen an Häfen, in Seewasserstraßen und für den Küstenschutz. Wasserwirtsch. — Wassertechn., H. 12, S. 383—386, 1956.
- ZYCHLINSKI: Uferschutzbau an der deutschen Ostseeküste. Bautechn., S. 523—528, 1931.

## 2. Verzeichnis küstenmorphologischer Schriften:

- AKKERMANN, M.: Die Umlagerungen des Sandes im Seegebiet vor Norderney und auf der Insel. Jber. 1955 Forschungsst. Norderney, Bd. VII, 1956.
- BACKHAUS, H.: Die natürliche Entwicklung der ostfriesischen Inseln. Abh. Naturw. Ver. Bremen XXX, H. 1/2, 1937.
- BACKHAUS, H.: Die ostfriesischen Inseln und ihre Entwicklung. Ein Beitrag zu den Problemen der Küstenbildung im südlichen Nordseegebiet. Prov.-Inst. Landesplanung u. Niedersächs. Landes- u. Volkstumsforsch., R. A I, 12, 1943.
- BRAND, G.: Sedimentpetrographische Untersuchungen zum Erkennen der Sandwanderungsvorgänge am Strand, im Flachwasser und dem daran anschließenden Seegebiet. Meyniana, 4, S. 86—110, 1955 a.
- BRAND, G.: Neuzeitliche Veränderungen der Ostseeküste vor der Kolberger Heide. Meyniana, 4, S. 112—116, 1955 b.
- BRAND, G.: Riffsanduntersuchungen als Beitrag zu den Fragen der Riffentstehung und der Wasserbewegung innerhalb der Brandungszone. Meyniana, 5, S. 87—91, 1956.
- BRESSAU, S.: Abrasion, Transport und Sedimentation in der Beltsee. Die Küste, 6, H. 1, S. 64—102, 1957.
- CHRISTIANSEN, W. u. PURPS, H.: Die Pflanzenwelt des Brodtener Ufers. Die Küste, 1, H. 2, S. 95—99, 1952.
- DILLO, H.-G.: Sandwanderung in Tideflüssen. Mitt. Hannov. Versuchsanst., H. 17, S. 135—253, 1960.
- GEIB, K. W.: Meeresgeologische Untersuchungen im Bereich der ostpommerschen Küste von Stolpmünde bis zur ehemaligen deutsch-polnischen Grenze. Geol. Meere u. Binnengew., Bd. 7, H. 1, 1944.
- GRIESSEIER, H.: Über die Verwendung von Luminoforen beim Studium litoraler Materialbewegungen. Acta Hydrophys., VI, H. 1, 1959.
- GRIESSEIER, H. u. VOLLBRECHT, K.: Untersuchungs- und Beobachtungsergebnisse über einige Gesetzmäßigkeiten im litoralen Geschehen. Acta Hydrophys., II, H. 3, S. 85—139, 1954.
- GRIESSEIER, H. u. VOLLBRECHT, K.: Über einige neue Gesichtspunkte in der Küstenforschung. Forsch. und Fortschr., 29, H. 1/2, S. 5—12, 1955.
- GRIESSEIER, H. u. VOLLBRECHT, K.: Über die Unmöglichkeit einer wohldefinierten naturähnlichen Abbildung wellenbedingter Vorgänge im Litoral durch Küstenmodelle. Wasserwirtsch. — Wassertechn., H. 8, S. 247—257, 1956.
- GRIESSEIER, H. u. VOLLBRECHT, K.: Zur Problematik der modellmäßigen Darstellung litoraler Prozesse. Mitt. Hannov. Versuchsanst., H. 11, S. 234—261, 1957.
- GRIPP, K.: Entstehung und künftige Entwicklung der Deutschen Bucht. Arch. Dtsch. Seewarte, 63, Nr. 2, 1944.
- HENSEN, W.: Die Entwicklung der Fahrwasserhältnisse in der Außenelbe. Diss. Jb. Hafentechn. Ges., 18, 1939/40.
- HINTZ, R. A.: Die Entwicklung der Schleimündung. Meyniana, 4, S. 66, 1955.
- HINTZ, R. A.: Sedimentpetrographische und diluvialgeologische Untersuchungen im Küstenbereich des Landes Angeln (Schleswig-Holstein). Meyniana, 6, 1957.

- HINTZ, R. A.: Die Strandwälle im Gebiet der Kolberger Heide und die Entstehung des Laboer Sandes. *Meyniana*, 6, S. 127, 1958.
- HOMEIER, H.: Die Entwicklung des Westteils von Langeoog mit Beginn des 18. Jahrhunderts. *Jber. Forschungsst. Norderney*, Bd. VII, S. 38—68, 1956.
- HOMEIER, H. und KRAMER, J.: Verlagerung der Platen im Riffbogen von Norderney und ihre Anlandung an den Strand. *Jber. Forschungsst. Norderney*, Bd. VIII, S. 37—60, 1957.
- JANSSEN, TH.: Über die Kräfte, die die ostfriesischen Inseln, insbesondere den östlichen Strand der Insel Spiekeroog, gestalten. *Diss. Schweidnitz* 1933.
- JANSSEN, TH.: Theorie der Inselbildung an der ostfriesischen Nordseeküste. 1936.
- JANSSEN, TH.: Die neuere Entwicklung des Seegebietes vor Borkum. *Abh. Naturw. Ver. Bremen*, S. 253—261, 1937.
- JESSEN, O.: Die Verlegung der Flußmündungen und Gezeitentiefs an der festländischen Nordseeküste in jung-alluvialer Zeit. *Stuttgart* 1922.
- KANNENBERG, E.-G.: Die Steilufer der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste. *Diss. Schr. Geogr. Inst. Univ. Kiel*, 1951.
- KÖRNER, B.: Die Sinkstoffe der Küstengewässer. *Die Küste*, 4, S. 5—51, 1955.
- KÖSTER, R.: Die Morphologie der Strandwall-Landschaften und die erdgeschichtliche Entwicklung der Küsten Ostwagriens und Fehmarns. *Meyniana*, 4, S. 52—65, 1955.
- KRAMER, J.: Die Forschungsstelle Norderney. *Wasser u. Boden*, 12, S. 401—406, 1956 a.
- KRAUSE, R.: Bedeutung und Verwendung biologischer Forschungen im Küstenwasserbau. *Wasserwirtschaft*, 42, H. 11, S. 348—349, 1952.
- KRÜGER, W.: Die Jade, das Fahrwasser Wilhelmshavens, ihre Entstehung und ihr Zustand. *Jb. Hafenbautechn. Ges.*, 4, S. 268—284, 1921.
- KRÜGER, W.: Die Entwicklung der Harlebucht und ihr Einfluß auf die Außenjade. *Jb. Hafenbautechn. Ges.*, 16, 1937. *Abh. Naturw. Ver. Bremen XXX*, H. 1/2, S. 197—208, 1937 a.
- KRÜGER, W.: Riffwanderung vor Wangeroog. *Jb. Hafenbautechn. Ges.*, 16, 1937. *Abh. Naturw. Ver. Bremen XXX*, H. 1/2, S. 243—252, 1937 b.
- LEPPIK, E.: Zur Frage der Sinkstoff-Geschiebeführung an Meeresküsten. *VI. Balt. Hydrol. Konf.*, I, 11 B, 1938.
- LINKE, O.: Die biologischen Grundlagen des Dünen-schutzes auf den ostfriesischen Inseln. *Wasserwirtschaft*, 42, H. 11, S. 350—353, 1952.
- LINKE, O.: Bericht über die Riff- und Sandwanderungsuntersuchungen am Nordstrand von Norderney. *Jber. Forschungsst. Norderney*, Bd. IV, 1952.
- LORENZEN, J. M.: Aufgaben und Wege der Wattenmeerforschung. *Landw. Wasserbau*, 2, Nr. 1, S. 41—48, 1941.
- LÜDERS, K.: Entstehung und Aufbau von Großrücken mit Schillbedeckung in Flut und Ebberichtern der Außenjade. *Senkenbergiana*, 11, Nr. 3, S. 123—142, 1929.
- LÜDERS, K.: Die Sedimente der Nordsee. *N. Arch. Nieders.*, H. 16, 1930.
- LÜDERS, K.: Sediment und Strömung. *Senkenbergiana*, 14, Nr. 6, 1932.
- LÜDERS, K.: Sandwanderung. *Bautechn.*, 1935 a.
- LÜDERS, K.: Grundsätzliches über die Beziehung zwischen Gezeitenstrom einerseits und Wandermaterial und Sedimenten andererseits. *Ann. Hydr.*, 63, 1935 b.
- LÜDERS, K.: Die Entstehung der ostfriesischen Inseln und der Einfluß der Dünenbildung auf den geologischen Aufbau der ostfriesischen Küste. In: *Probleme der Küstenforschung im südl. Nordseegebiet*, Bd. 5, 1953.
- LÜDERS, K.: Allgemeine Bemerkungen zum Bilanzbericht „Wasserbauliche Hydrometrie“. *Die Küste*, 3, H. 1/2, S. 67—69, 1954.
- NIEBUHR, W.: Über die neuere Entwicklung der Außenems und ihre vermutlichen Ursachen. *Die Küste*, 1, H. 1, S. 43—62, 1952.
- NIEBUHR, W.: Bemerkenswerte Veränderungen am Großen Vogelsand in der Außenelbe seit der Jahrhundertwende. *Die Küste*, 2, H. 2, S. 157—159, 1953.
- NIEBUHR, W.: Beobachtungen über den Sandtransport in der unteren Ems. *Die Küste*, 4, S. 67—92, 1955.

- OTTO, W.: Sedimentpetrographische Untersuchungen an der Küste der inneren Lübecker Bucht. Die Küste, 1, H. 2, S. 45—54, 1952.
- PETERSEN, M.: Das Hochwasser vom 4. Januar 1954 an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. Wasser u. Boden, H. 2, 1954 a.
- PETERSEN, M.: Über die Grundlagen zur Bemessung der schleswig-holsteinischen Landesschutzdeiche. Die Küste, 3, H. 1/2, S. 153—180, 1954 b.
- PETERSEN, M.: Die topographische Wattkarte und ihre Bedeutung für den Küstenschutz. Wasserwirtsch., 49, Nr. 3, 1959.
- POPPE, H.: Die Sandbänke an der Küste der Deutschen Bucht der Nordsee. Ann. Hydrogr., 40, H. 6—8, 1912.
- REINEKE, H. und BLAU, E.: Fördert die gegenwärtige Struktur des Küstenausschusses den wirtschaftlich-technischen Fortschritt? Wasserwirtsch. — Wassertechn., H. 8, S. 261—262, 1956.
- REINHARD, H.: Der Bock. Entwicklung einer Sandbank zur neuen Ostseeinsel. Peterm. Mitt. 1953.
- SCHMITZ, H. P.: Kritische Betrachtungen zur modellmäßigen Ermittlung von Strömungen und Sedimenttransporten in Küstenabschnitten gezeitenfreier Meere. Wasserwirtsch. — Wassertechn., 6, H. 8, 1956.
- TIEDEMANN, B. u. SEIFERT, R.: Über das Wandern des Sandes im Küstensaum des Samlandes. Z. Bauwesen, H. 8, 1930.
- VALENTIN, H.: Die Küsten der Erde. Gotha 1952.
- VÖLPEL, F.: Das Verhalten weitwandernder Flachseesande in der südlichen Nordsee. Dtsch. Hydrogr. Z., 12, H. 2, S. 64—76, 1959.
- VOLLBRECHT, K.: Zur Küstendynamik gezeitenfreier Meere. Wasserwirtsch. — Wassertechn., 3, H. 1, 1953 a.
- WALTHER, F.: Naturforschung und Seewasserbau. Zbl. Bauverw., S. 788—792, 1940.
- WALTHER, F.: Grundlagen für die Entwicklung der Meeresströmungen. Wasserwirtsch., 40, H. 1, S. 1—9; H. 2, S. 44—51, 1949.
- WIRTZ, D.: Die Beziehungen zwischen submariner Abtragung und Sandwanderung an der Küste Pommerns. Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg, H. 18, 1949.
- WYRTKI, C.: Die Bilanz des Längstransportes in der Brandungszone. Dtsch. Hydrogr. Z., 6, H. 2, S. 65—76, 1953.