

Abteilung II — Seeschifffahrt

Mitteilung 3

Anlandungen in Küstengewässern, Flußmündungen, Fahrrinnen, den Tidebecken, Dockhäfen und Seekanälen. — Maßnahmen, um sie zu verringern. — Neue Methoden zum Messen der Tiefen, der Strömungen, der Wellen, von Ebbe und Flut und der Bewegungen der festen Stoffe in offener See und in den Flußmündungen.

Von Dr.-Ing. Theodor J a n s s e n, Regierungsbaurat,
Vorstand des Wasser- und Schifffahrtsamtes Norden,
Dr. Walter H a n s e n, Oberregierungsrat
beim Deutschen Hydrographischen Institut, Hamburg.

T h e m a : „Maßnahmen zur Festlegung und Erhaltung der Schwemminseln an der südlichen deutschen Nordseeküste sowie Grundsätzliches über den Einfluß der Strömungen und Wasserstände in der Deutschen Bucht auf die Küstengestaltung.“

Zusammenfassung:

A. Maßnahmen zur Erhaltung der Schwemminseln an der südlichen deutschen Nordseeküste.

Die ostfriesischen Schwemminseln an der südlichen deutschen Nordseeküste bestehen aus feinem Seesand, der vom Meer fortwährend an der Küste entlang bewegt wird. Das Meer baut die Inseln aus dem Sand auf und verändert sie ständig. Die Beweglichkeit der Inseln ist für die Schifffahrt, die Wohnbarkeit der Inseln und die Entwässerung des Festlandes gleich ungünstig. Der Mensch ist daher bemüht, sie durch künstliche Maßnahmen festzulegen.

Die in der Regel angewendeten Inselnchutzwerke bestehen aus Dünenchutzmauern gegen Wellenschlag und Buhnen gegen Strandabnahme. Die Bauten sind mit der Zeit immer teurer geworden, ohne daß ein durchschlagender Erfolg erreicht werden konnte. Da sich die ungünstige Entwicklung fortsetzt, muß nach neuen Wegen im Inselnchutz gesucht werden.

Ist man in der Vergangenheit empirisch vorgegangen und hat man nur die reine Bauerfahrung als Lehrmeisterin gelten lassen, so hat sich seit einiger Zeit die Erkenntnis Bahn gebrochen, daß auch theoretische Erkenntnisse verwertet werden müssen und daß man von den wirkenden Naturkräften auszugehen hat. Mit dem Ziel der Erforschung der für den Inselnchutz auf den ostfriesischen Nordseeinseln wichtigen Naturkräften arbeitet seit 1937 eine für diesen Zweck gegründete Forschungsstelle auf Norderney.

Tastend sind schon seit etwa zwei Jahrzehnten Versuche unternommen worden, über die alte Bauweise hinausgehend durch weiter ins Seegebiet hinein vorgestreckte Bauwerke die Wasserkräfte zu beeinflussen, noch bevor sie die Inseln erreicht haben. Es sind zu nennen: die Unterwasserbuhnen I—IV auf Borkum und die verlängerte Buhne H auf Wangerooge. Beide Baumaßnahmen haben sich bewährt, sind aber einmalige Lösungen, wie sie von Fall zu Fall geplant werden können.

Schließlich sind auch Wege für den Inselnchutz vorgeschlagen worden, die sich ganz von der althergebrachten Bauweise lösen. Da das Naturgeschehen im Küstenbereich, wozu auch das Entstehen und die Veränderung der Inseln gehören, gesetzmäßig abläuft, kann auch an Stellen, die nicht unmittelbar mit der Insel zusammenhängen, auf den Schutz der Insel Einfluß genommen werden. Hierzu bieten sich besonders die Wattengebiete an. Es werden zwei Planungen dieser Art besprochen.

Das Ergebnis der Untersuchung ist, daß die klassische Bauweise zur Zeit noch maßgebend ist. In bestimmten Fällen wird man auch einzelne vorgestreckte Bauwerke planen. Vorgeschlagene völlig neue Wege sind noch nicht gegangen worden. Die Verwirklichung derartiger Pläne setzt ein gutes Maß von Vertrauen in die neuen Gedanken

und eine gewisse Zeit des Reifens voraus. Zum Schluß wird der Hoffnung Ausdruck gegeben, daß auch für den Inselfchutz auf lange Sicht ein brauchbares Verfahren gefunden werden wird.

B. Grundsätzliches über den Einfluß der Strömungen und Wasserstände in der Deutschen Bucht auf die Küstengestaltung.

Die Unsymmetrie der Gezeitenströme in der Deutschen Bucht kann Anlaß geben zu einem resultierenden Bodenmaterialtransport. An drei Beobachtungsstationen wird die Unsymmetrie erläutert. Die theoretisch sich aus hydrodynamischen Rechnungen ergebenden Stromgeschwindigkeiten für einen rechteckigen und trichterförmigen Kanal werden besprochen. Außerdem wird ein Priel-Wattsystem behandelt. Die Ergebnisse können bei der Planung von Seewasserbauten Verwendung finden, um prinzipiell eine Vorstellung von den zu erwartenden Sandumlagerungen zu erhalten.

Gliederung:		Seite
	A Maßnahmen zur Erhaltung der Schwemmsandinseln an der südlichen deutschen Nordseeküste	259
	B Grundsätzliches über den Einfluß der Strömungen und Wasserstände in der Deutschen Bucht auf die Küstengestaltung	270

A) Maßnahmen zur Festlegung und Erhaltung der Schwemmsandinseln an der südlichen deutschen Nordseeküste

1.

Die Inseln an der südlichen deutschen Nordseeküste: Borkum, Memmert, Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog, Spiekeroog und Wangeroog (Bild 1), auch Ostfriesische Inseln genannt, sind Sandablagerungen, Schwemmsandinseln, vor einer flachen Marschenküste. Während aber die Küste aus relativ festem Ton aufgebaut ist, bestehen sie — wie die Sandbänke, Riffe und Platen vor den Seegaten und Flußmündungen der südlichen Nordseeküste — aus ganz feinem, leicht beweglichem Seesand.

Dieses Material, als Sandkorn betrachtet, wandert unter dem Einfluß von Wasserkräften ständig in einem schmalen Gürtel an der Seeseite der Inselkette von Westen nach Osten entlang. Dabei bilden sich zusammenhängende Ablagerungen, wie Riffe und Platen. Auch die Inseln selbst sind nichts anderes als solche Ablagerungen, wenn an ihrem Aufbau auch Wind und Vegetation mitwirken; sie sind ganz junge, selbständige Bildungen des Meeres.

Die genannten Ablagerungen haben also eine Doppelnatur. Einmal stellen sie in dem fortdauernden Sandstrom relativ beharrliche Formen dar, doch werden auch sie ständig umgebildet. Dies trifft in erster Linie für die langgestreckten, an den Nordseiten der Inseln befindlichen untermeerischen Brandungswälle — auch Riffe genannt — und für die größeren, im Grundriß verschieden geformten Platen — auch Sandbänke genannt —, die sich im Bereich der Mündungsarme der Flüsse und Seegaten befinden, zu. Aber auch bei den ostfriesischen Inseln ist es so. Sie sind zwar in ihrem gesamten Bestande so dauerhaft, daß sie als Siedlungsraum von den Menschen genutzt werden können. Im einzelnen werden sie aber doch wieder fortwährend umgestaltet. — Ihre Ähnlichkeit untereinander nach Form und Lage läßt dabei das Wirken gleicher Naturkräfte bei ihrer Entstehung, Erhaltung und Umbildung erkennen.

Die Veränderlichkeit aller Sandablagerungen ist für die Schifffahrt, die Entwässerung des Festlandes und für das Siedeln der Menschen auf den Inseln gleich ungünstig: Mit den wandernden Sänden verlagern sich die zwi-

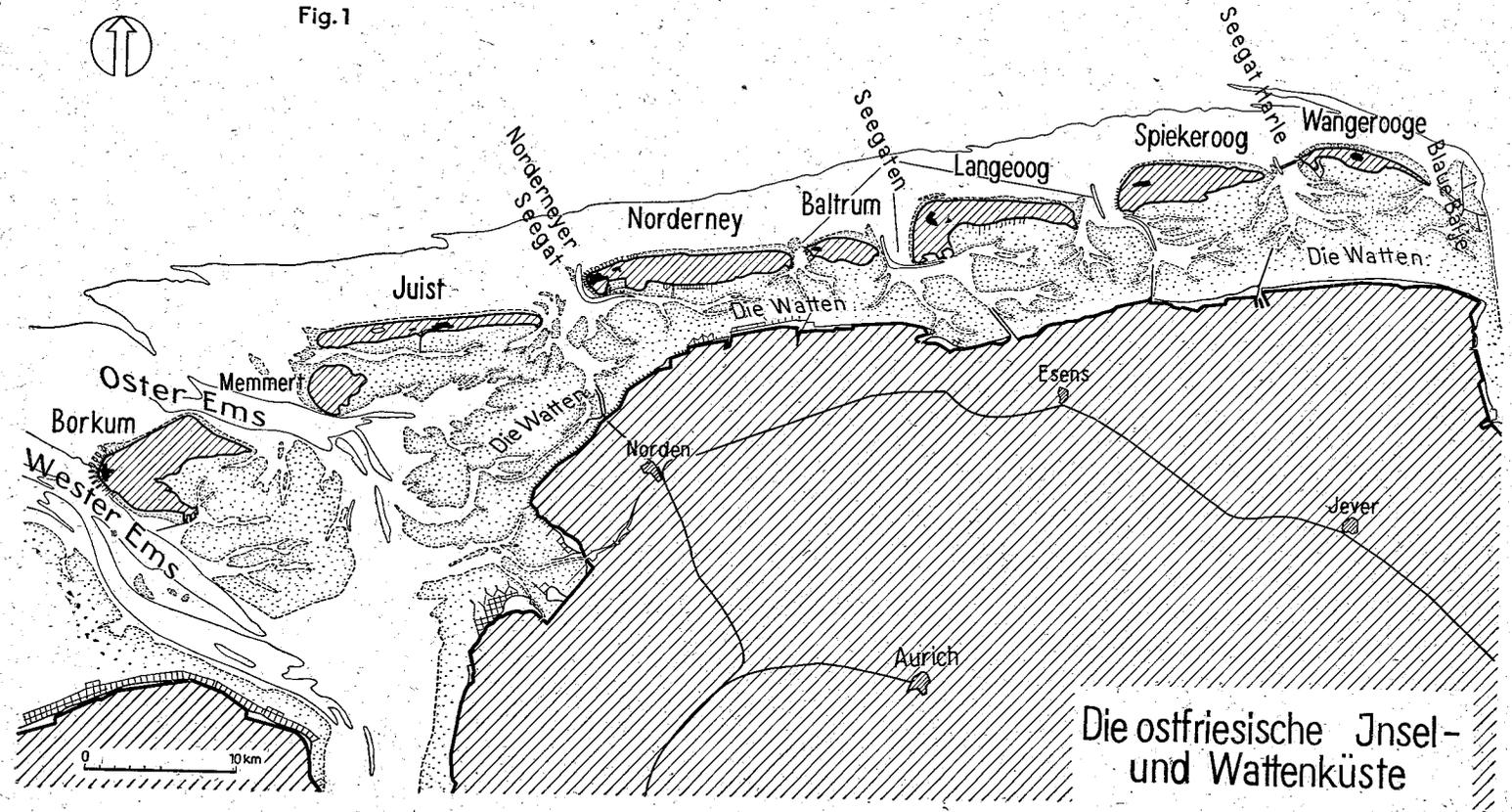


Fig.1

Fig.1

Bild 1 Die Schwemmseln vor der südlichen deutschen Nordseeküste

schen ihnen liegenden, von der Schifffahrt genutzten Rinnen, so daß eine ständige Überwachung der Fahrwasser und ein immer wiederholtes Verlegen der Seezeichen erforderlich ist; das an bestimmten Punkten zusammengeführte Niederschlagswasser der Marschenküste, durch „Siele“ ins Meer geleitet, hat infolge der veränderlichen Sandablagerungen mit Vorflutwierigkeiten zu kämpfen; endlich haben in vergangenen Zeiten die Menschen auf den Inseln immer wieder ihre Wohnstätten verlegen müssen, weil das Meer den Boden an einer Stelle wegnahm und an anderer Stelle wieder anlagerte.

Die Bemühungen um die Festlegung und Erhaltung der Inseln mit einfachen Mitteln ist schon alt. Im ganzen hat sich ihre Fläche in historischer Zeit auch vergrößert. Doch blieb die Veränderlichkeit und sie ist die Ursache für die planmäßigen künstlichen Festlegungsmaßnahmen, dem Bau der „Schutzwerke“, vor allem an den Westenden der Ostfriesischen Inseln.

2.

Der Bau der Schutzwerke begann auf Borkum 1869, auf Juist 1913, auf Norderney 1857, auf Baltrum 1873, auf Spiekeroog 1873 und auf Wangerooge 1874.

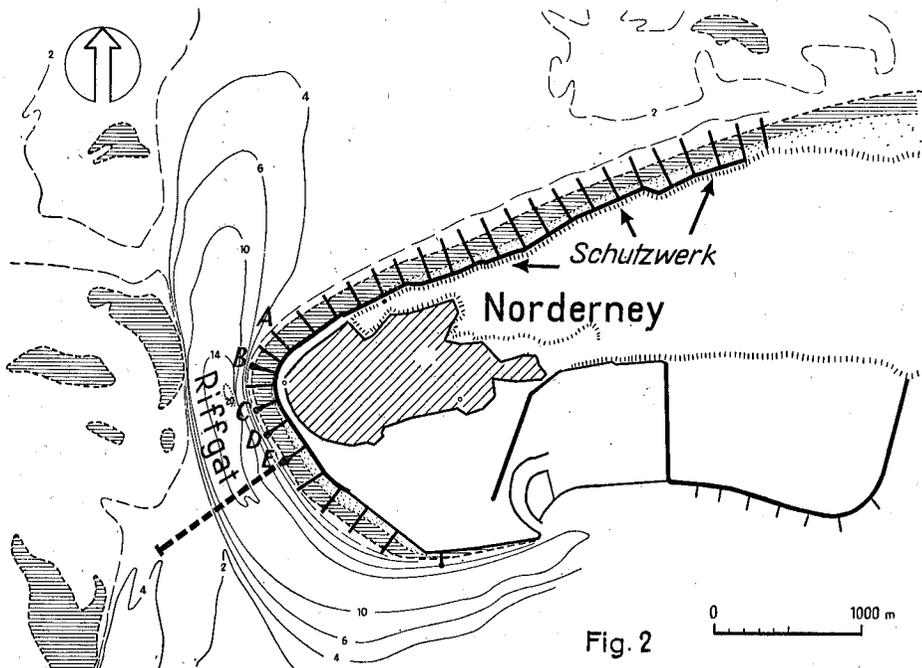


Bild 2 Das Westende der Insel Norderney mit dem Schutzwerk. Wassertiefen in m unter Seekartennull

Die auf Juist errichteten Bauten gerieten bald völlig unter Sand; sie hatten nur vorübergehend als Schutzwerk Bedeutung. Ohne Schutzbauten blieben Memmert und Langeoog. Es werden daher nur betrachtet Borkum, Norderney, Baltrum, Spiekeroog und Wangerooge.

Als Schutzbauten sind auf den genannten Inseln Werke errichtet, die aus zwei Grundelementen bestehen:

- a) Dünen-schutz-mauern parallel zum Ufer und zum Schutze des Dünenfußes gegen Wellenschlag,
- b) im Grundriß senkrecht dazu gerichtete Bühnen zur Fernhaltung von Stromrinnen und zur Erhaltung des Strandes.

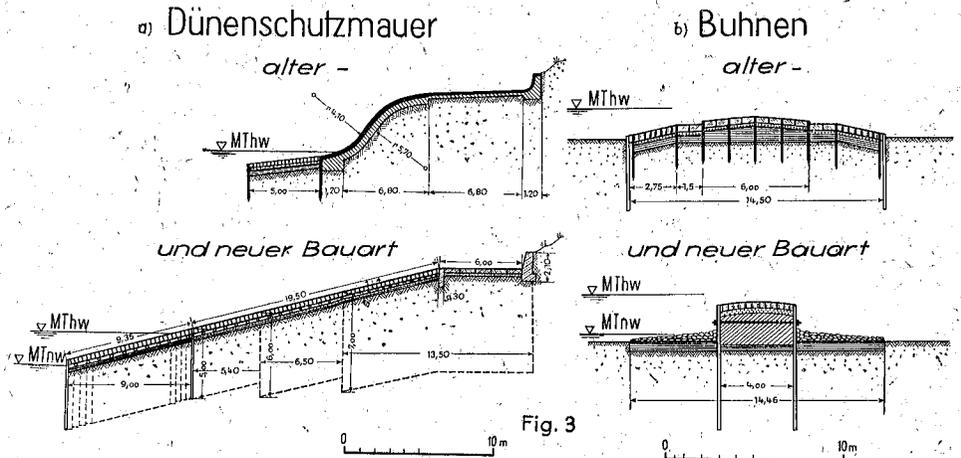


Bild 3 Querschnitte von Schutzwerkbauten auf den Ostfriesischen Inseln

Die Werke zu a) (Bild 3 a) erreichen in neuester Ausbildung Grundrißbreiten von 35 m und Aufrisshöhen von 8,8 m. Die Bühnen (Bild 3 b) haben eine Länge von meist 150—200 m, sind aber auch 400 m lang gebaut worden und besitzen stellenweise Breiten von mehr als 20 m.

Das ausgedehnteste Schutzwerk hat die Insel Norderney; Dünen-schutz-mauer sowohl wie die Gesamtheit der Bühnen besitzen je eine Länge von mehr als 6 km. (Bild 2)

Die großen Abmessungen der einzelnen Bauten und der ganzen Schutzwerke waren nicht von Anfang an vorhanden. Vielmehr fing man mit sehr schwachen und kleinen Bauwerken an und erst als die Erfahrung lehrte, daß sie nicht genügten, wurden die Schutzwerke nach und nach immer stärker ausgebildet.

Diese hier als Insel-schutz in „klassischer Bauweise“ bezeichneten Maßnahmen werden auch heute noch in der Hauptsache angewendet. Die Bauweise nähert sich aber aus zwei Gründen einem kritischen Punkt:

1. Die allein für die Unterhaltung der Schutzwerke aufgewendeten Mittel steigen mit der Zeit immer mehr an. Die jährlichen Unterhaltungskosten betragen z. B. im Mittel der Jahre 1953—1955 für Borkum 450 000 DM, für Norderney 239 000 DM, für Baltrum 105 000 DM, für Spiekeroog 62 000 DM und für Wangerooge 167 000 DM, zusammen also jährlich mehr als 1 Million DM.

2. Der Erfolg der angewendeten Baumaßnahmen ist nicht durchgreifend und endgültig. Einerseits haben die Schutzwerke zweifellos Erfolg gehabt, denn da, wo vor rund 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 gradliniger Weiterentwicklung der klassischen Bauweise muß aus beiden Gründen ein Punkt erreicht werden, wo sich die Fortsetzung verbietet, zumal schon jetzt die Unterhaltung nicht überall mit dem Verfall Schritt hält.

Über die Bedeutung der klassischen Bauweise, die heute noch unentbehrlich ist, werden im Abschnitt 4 weitere Angaben gemacht. An dieser Stelle soll nur noch einer besonderen Schutzmaßnahme zur Sicherung eines bereits gefährdeten Werkes gedacht werden, der sogenannten *Strandaufspülung* in Norderney.

Der Strand im Westen und Nordwesten der Insel hatte vor 1950 soweit abgenommen, daß der vorerwähnte „kritische Punkt“ dort erreicht war. Um dem Übelstand abzuhelpen, wurden 1950 und 1951 rd. 2 000 000 m³ Sand um den ganzen Westkopf der Insel im Spülverfahren aufgebracht. Es wurde hier der Sand als zum Schutzwerk gehörender Baustoff aufgefaßt, der, nachdem die See den Strand abgetragen hatte, künstlich wieder ersetzt wurde.

Diese Maßnahme sollte bewußt aufschiebende Wirkung haben. Der aufgespülte hochwasserfreie Strand wurde dann auch seit 1951 schnell wieder abgetragen. Unter Wasser, auf dem sogenannten Vorstrand, lagerte er aber länger, und noch heute ist eine günstige Nachwirkung insofern festzustellen, als die Angriffe der See, da die Brandungswellen sich bei der kleinen Wassertiefe nicht so voll entwickeln können, herabgemindert werden. Der Erfolg ist aber nicht sehr nachhaltig, und in Zukunft wird voraussichtlich nur in ganz besonderen Notfällen zu einer Aufspülung geschritten werden.

3.

Die Notwendigkeit, die klassische Bauweise an geeigneten Stellen durch neue Methoden abzulösen ist schon lange erkannt. Man sah ein, daß, wenn der künstliche Inselfchutz mit der Aufwendung geringster Mittel betrieben werden soll, man nicht allein von den aus der Erfahrung entwickelten Baumaßnahmen, sondern mehr von wirkenden Naturkräften auszugehen habe. Diese gilt es im Sinne des Wasserbauingenieurs zu lenken. Wenn die Naturkräfte zweckmäßig beeinflußt werden sollen, dann muß man sie aber zunächst ihrer Art und Größe nach richtig erkennen. Mit der Zielsetzung der Erforschung dieser Kräfte ist — von anderen Bestrebungen abgesehen — die Forschungsstelle Norderney schon vor einer Reihe von Jahren gegründet worden.

Da wird zunächst die Entwicklungsgeschichte der Küste erforscht, weil es bestimmte Naturkräfte gibt, die nicht unmittelbar zu messen sind, sondern sich erst an ihren Wirkungen ablesen lassen. Vergleicht man den älteren Zustand des Küstengebiets mit dem neueren, dann erkennt man die inzwischen eingetretene Änderung und kann auf die Kräfte, die die Änderung bewirkt haben, zurückschließen. Da gibt es z. B. über Jahrzehnte und Jahrhunderte gehende „säkulare“ Vorgänge, wie beispielsweise Küstensenkungen, kosmisch bedingte Änderungen der Gezeiten und Großklimaschwankungen. Um sie zu erfassen, werden auch die Ergebnisse der Vorgeschichte und der Geschichte, soweit sie Schlüsse auf die Küstenumbildung zulassen, gesammelt.

Kurzfristige Veränderungen im Küstenbereich der Inseln werden durch wiederholte Peilungen erfaßt. Mittelbare Schlüsse auf die Entwicklungstendenz läßt auch das Studium der Biologie des Küstengebiets zu.

Unmittelbar werden Wind- und Wasserkräfte gemessen, letztere mittels Strommesser und anderer z. T. neu entwickelter hydrometrischer Geräte. Neben der Messung versucht man auch, das Naturgeschehen rechnerisch zu erfassen.

Insgesamt haben derartige Untersuchungen bereits ein gutes Bild des in den Brennpunkten vor sich gehenden Naturgeschehens gegeben, so daß Nutz- anwendungen für den praktischen Seebau daraus gezogen werden konnten.

4.

Parallel mit dieser Entwicklung versuchte auch die praktische Bauerschaft neue Wege über die klassische Bauweise hinaus zu finden. In alter Denk- weise wollte man den Inseln einen zusätzlichen Schutz verleihen. Der Blick war daher auf das zu schützende Objekt gerichtet.

Als bezeichnend für die klassische Bauweise kann der von einer aus- geglichenen „Streichlinie“, d. h. der Verbindungslinie der Bühnenköpfe umschlossene Widerstandskörper der Insel, gelten. An der Streichlinie sollen alle Bühnenköpfe gleiche Höhe, die aus baulichen Gründen ein wenig über dem mittleren Niedrigwasserstand liegen muß, haben. Die Bühnen sollen vom Kopf nach der Wurzel alle gleichmäßig — dem natürlichen Anstieg des Strandes entsprechend etwa in der Neigung 1 : 70 — ansteigen. Sie enden an der Strand- schutzmauer, die das eigentliche Inselmassiv gegen das Eindringen von Wasser schützt.

Der Angriff des Meeres auf diesen geschlossenen Widerstandskörper der Inseln ist aber an allen Punkten durchaus nicht gleichmäßig. Im Westen der Insel Norderney z. B. drängt seit langem eine tiefe Rinne, das Riffgat, dicht an das Schutzwerk heran. In den 90er Jahren waren dort Tiefen bis zu 28 m

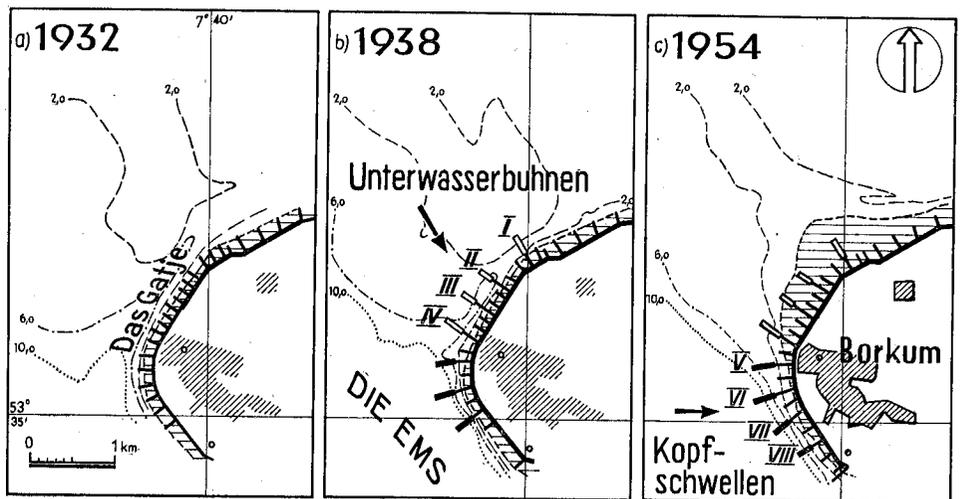


Fig. 4

Bild 4 Die Wirkung der Unterwasserbühnen I—IV auf dem Nordwestrand der Insel Borkum. Kopfschwellen V—VIII

unter MTnw unmittelbar vor den Bühnenköpfen, das Schutzwerk und die Insel selbst gefährdend, vorhanden, und auf Borkum bereitete das seit Jahrzehnten zu beobachtende Heranlegen der tiefen Westerems an den Südwestteil der Insel große Sorge. Genau im Westen der Insel kam die 10 m Tiefenlinie in 100 Jahren 1500 m näher an die Insel heran. An beiden Stellen wehrte man die Gefahr durch kräftigen Ausbau einiger Bühnenköpfe ab, indem sie durch Unterwasserschwellen verstärkt wurden. Um die Jahrhundertwende wurden die Bühnen B, C, D und E auf Norderney (Bild 2) und 1937—47 die Bühnen V, VI, VII und VIII (nicht zu verwechseln mit den Bühnen I—IV!) auf Borkum (Bild 4 c) derart ausgebaut. — Der örtliche Erfolg war unverkennbar: in Norderney verflachten sich die größten Tiefen um einige Meter und legten sich von der Insel weg. Seit dem Bau der Schwellen veränderte sich der Inselsockel unterhalb der 2,5 m Tiefenlinie nicht mehr wesentlich, und in Borkum hörte das Herannahen der tiefen Ems sofort auf.

Die Bühnen auf den ostfriesischen Nordseeinseln haben eine Doppelaufgabe: als *Strombühnen* sollen sie die Rinnen, die sich der Insel nähern, vom Inselsockel fernhalten, als *Strandbühnen* aber sollen sie den Strand soweit 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 *Strombühnen* auch an den erwähnten beiden kritischen Punkten voll erfüllt. Als *Strandbühnen* dagegen haben sie die Strandabnahme wohl verzögert, aber, wie bereits eingangs (Abschnitt 2) erwähnt, nicht verhindert. Die Inselsockel oberhalb der 2,5 m Tiefenlinie werden an gefährdeten Punkten auch bei dem Vorhandensein der Schutzwerke klassischer Bauweise langsam abgebaut.

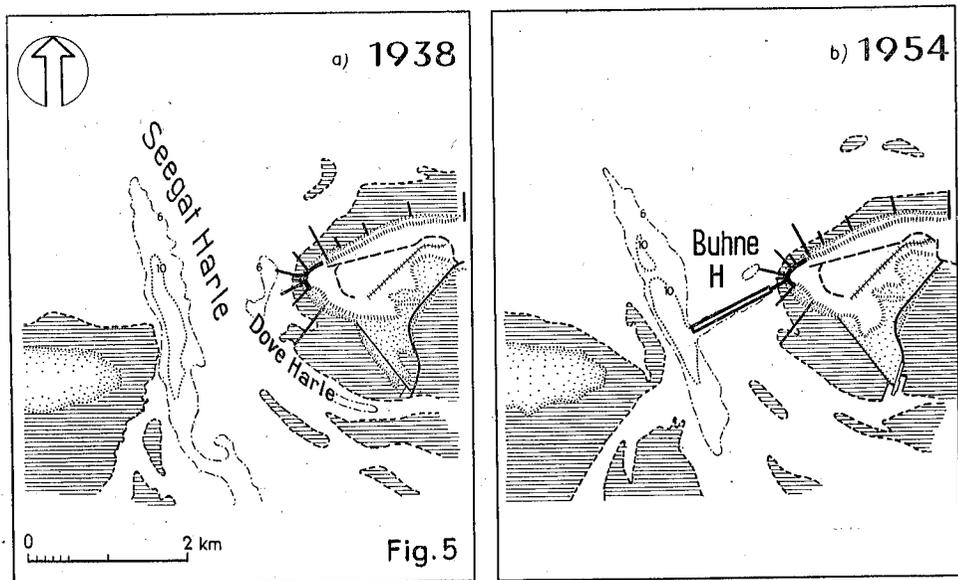


Fig. 5

Bild 5 Die Wirkung der Bühne H im Westen der Insel Wangerooge auf das Seegat Harle

Einen wesentlichen Schritt über die klassische Bauweise hinaus bilden folgende zwei Baumaßnahmen insofern, als sie den geschlossenen Verteidigungskörper der Inseln verlassen und den Seeraum unmittelbar vor den Bühnen an geeigneten Punkten in einem für den Inselfchutz günstigen Sinne zu beeinflussen suchen:

- a) der Bau der vier „Unterwasserbühnen“ I—IV auf Borkum und
- b) der Bau der verlängerten Bühne H auf Wangerooge in das Seegat Harle hinein (Bild 4 und 5).

Zu a): Eine größere Plate näherte sich in den 30er Jahren dem Nordweststrand von Borkum und drängte dabei eine tiefe Rinne, das Gatje, an das Schutzwerk und die Insel — diese gefährdend — heran. Es wurden zunächst Bühnenverlängerungen mit dem Ziel geplant und begonnen, das Gatje von der Insel abzudrängen. Die Weiterentwicklung ging aber klar dahin, das Gatje durch stromhindernde, grundschwellenartige „Unterwasserbühnen“ zu durchbauen, dadurch die Durchströmung der Rinne zu erschweren und damit das Heranlegen der Plate an den Strand zu erleichtern. So wurden 1933—1935 die vier Unterwasserbühnen I—IV mit Längen von 250 bis 450 m und einer Kronenhöhe von ca. 0,5 m unter MTnw über die Streichlinie des alten Systems hinaus vorgestreckt. Wie Bild 4 zeigt, ist die gewollte Entwicklung eingetreten, wobei unentschieden bleiben mag, ob, da die freie, natürliche Entwicklung in die gleiche Richtung drängte, der Bau der Unterwasserbühnen die alleinige Ursache dafür gewesen ist.

Zu b): Auf Wangerooge würde eine strandnahe Nebenrinne im Seegat Harle, die „Dove Harle“, in den 30er Jahren immer tiefer und der Insel gefährlicher. Ihre ungünstige weitere Entwicklung wurde auch für den Fall, daß die im Osten der Insel Wangerooge geplante Durchdämmung der „Blauen Balje“ durchgeführt werden sollte, befürchtet. Als Gegen- und Vorbeugungsmaßnahme wurde deshalb 1938—1940 die Bühne H des alten Bühnensystems um 1170 m geradlinig verlängert und dabei die „Dove Harle“ durchbaut. Zunächst mit einer Kronenhöhe von + 2,80 m MTnw geplant, verblieb es aber bei einem Ausbau bis zur Höhe der MTnw-Linie. Trotzdem war der Erfolg eindeutig. Die Weiterentwicklung der „Doven Harle“ wurde unterbunden und die Hauptrinne des Seegats verschwenkte in eine für die Inselhaltung günstige Nordwestrichtung (Bild 5).

Haben sich diese Maßnahmen auch bewährt, so können ähnliche Werke doch nicht allgemein angewendet werden. Sie sind nur in besonders gelagerten Fällen am Platze und müssen von Fall zu Fall den örtlichen Gegebenheiten entsprechend geplant werden.

In diesem Zusammenhang muß ein Vorschlag erwähnt werden, der die schlechten Norderneyer Strandverhältnisse durch ein dem Punkt b) ähnliches Bauwerk verbessern will.

Nach dem Plan soll eine Verlängerung der Bühne E des alten Systems um 1000 m eine völlige Verlagerung der sehr tiefen Seegatrinne im Westen der Insel Norderney erreichen (vgl. Bild 2). Wegen der verwickelten Kräfteverhältnisse im Norderneyer Seegat kann das ganze hier vorliegende Problem nicht mit wenigen Worten dargestellt werden. Andeutungsweise (vgl. Bild 2) sei gesagt, daß die Sände im westlichen Teil des Seegats breitflächig, besonders aber nördlich des geplanten Bauwerks, nach Osten gegen die Insel Norderney drücken, das Riffgat vor sich herschiebend. Diese Entwicklung soll dadurch in andere Bahnen gelenkt werden, daß das Riffgat nach Westen hin verschoben

wird. Mit dem geplanten Bauwerk kann dies zweifellos an einem Punkt geschehen, doch fragt es sich, ob der punktförmige Eingriff für das Erreichen des angestrebten Zieles ausreicht. Das große Risiko für das Gelingen des Planes, die besonders hohen Kosten eines solchen Bauwerks, das eine Kronenhöhe von + 1,20 m MTnw erhalten soll, und die Möglichkeit, zwischen mehreren Plänen für die Änderung der Verhältnisse auf Norderney wählen zu können, haben bisher den Plan nicht verwirklichen lassen.

5.

Die im vorhergehenden Abschnitt behandelten Bestrebungen stellten Versuche dar, über die klassische Bauweise hinauszukommen. Wollte diese den Schwemminseln ein erhöhtes Widerstandsvermögen gegen die angreifenden Naturkräfte geben, so werden durch die neuen Baumaßnahmen die Naturkräfte schon beeinflusst, bevor sie den Inselkörper erreichen. Sie lehnen sich dabei aber immer noch an das alte Schutzwerk an.

Nun gibt es aber schließlich auch Planungen, die den Inselchutz völlig getrennt von dem zu schützenden Objekt betreiben wollen. Die Naturkräfte sollen an anderer Stelle so beeinflusst werden, daß das Ziel des Inselchutzes einfacher und wirtschaftlicher erreicht wird. Dieses Bestreben beruht auf der Erkenntnis, daß die Inseln nicht regellos auf- und abgebaut werden, sondern daß ein fein abgewogenes, gesetzmäßiges Kräftespiel besteht, in dem die Gezeitenströmungen eine Hauptrolle spielen:

Die Wassermenge, die bei jeder Tide die Watten füllt, die Art des Ein- und Ausströmens durch die Seegaten, die Durchwanderung des Sandes quer durch die Ausmündungen der Seegaten, die Lage und die Ausdehnung der Inseln und ähnliche Größen stehen untereinander in einem gesetzlichen Verhältnis, das allerdings wegen der komplexen Verhältnisse sehr kompliziert gelagert ist. Die Konfiguration der ostfriesischen Inselkette steht in Übereinstimmung mit den an die Küste heran- und von der Küste ablaufenden Gezeiten, wobei die zwischen dem Festland und den Inseln gelegenen Watten einen wichtigen Faktor darstellen. Die in west-östlicher Richtung anlaufende Flut strömt in der Nähe der ostfriesischen Küste, die Richtung ändernd, in die Watten ein, kommt dort zum Stehen und fließt bei Ebbe im entgegengesetzten Sinne wieder ab. Indem dies — zeitlich ein wenig gegeneinander versetzt — in allen Seegaten geschieht, entstehen Strömungen, die die einzelnen Inseln in der vorhandenen, einander ähnlichen Form aus dem an der Küste bewegten Seesand entstehen lassen. Dabei sind die Watten selbst auch starken Veränderungen durch die wirkenden Naturkräfte unterworfen. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge führte zu dem Gedanken, durch die Beeinflussung des Gezeitenablaufs auf den Watten auch die Anlagerung des Sandes an die Insel und damit den Inselchutz in die Hand zu bekommen.

Zwei Planungen dieser Art sind in Bild 6 angedeutet.

a) Durch Dammbauten in das Wattenmeer, wie sie z. B. in Bild 6 durch stark ausgezogene Linien dargestellt sind und wobei jede Linie 1—5 eine Lösung für sich darstellt, sollen die Aufnahmeräume für das Tidewasser so verändert werden, daß die Stoßrichtung der aus den Watten abfließenden Ebbe dem westlichen Inselkopf von Norderney die nötige Entlastung bringt.

Der schon etwas ältere Gedanke, der dieser Planung zugrunde liegt, beruht auf der unsymmetrischen Lage der Watträume, in die das Tidewasser fließt

und aus denen es wieder ausströmt, zu den Seegaten. Auf Bild 6 ist der zum Norderneyer Seegat gehörige Wattraum z. B. durch zwei —.—.— Linien abgegrenzt. Die durch diese Linien bezeichneten Höhenrücken, an denen sich das Wasser aus zwei benachbarten Seegaten auf dem Watt trifft, also die Wasserscheiden zwischen zwei Watträumen, sind bei allen Inseln stark gegen das östliche Ende der Insel verschoben. So ist in der Regel der östliche Wattenanteil eines Seegats größer als der westliche. Folgt indessen eine kleine Insel auf eine große, so können sich diese Verhältnisse auch umkehren. Je nachdem nun der westliche oder östliche Anteil überwiegt, hat der für die Sandverfrachtung

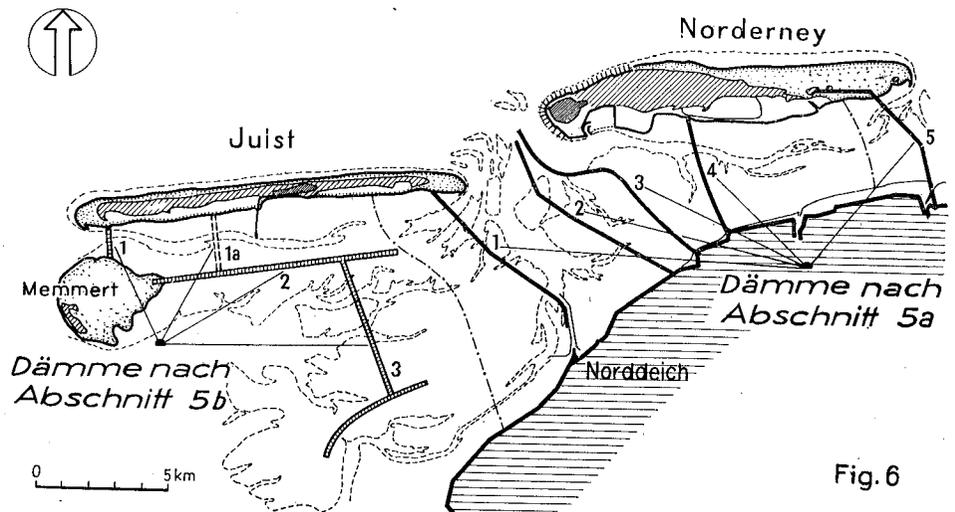


Fig. 6

Bild 6 Geplante Dammeinbauten in das Watt zur Beeinflussung der Gestaltung der Insel Norderney

hier maßgebende Ebbstrom des Seegats eine mehr östliche oder westliche Richtung, d. h. er drängt im ersteren Falle an den ohnehin durch Wind und Brandung besonders angegriffenen Westrand der Insel heran oder setzt im letzteren Falle von ihm ab.

b) Dammeinbauten südlich der Insel Juist sollen zunächst eine Wasservertriftung über das Juister Watt verhindern und dadurch den Wasser- und Sandhaushalt des Norderneyer Seegats normalisieren. Weiter soll auch das Durchströmen des Norderneyer Seegats mehr nach der Westseite verlagert werden. Beide Ziele aber sollen im Endeffekt dem Wiederaufbau des Weststrandes von Norderney dienen.

Die Wirkung soll erreicht werden durch die in Bild 6 gestrichelt gezeichneten vier Dämme, und zwar ist dabei folgender Grundgedanke bestimmend gewesen.

Das Norderneyer Seegat zeichnet sich durch ein Überwiegen der Ebbe über die Flut aus. Es strömt mehr Wasser aus dem Gat nach See als umgekehrt, und das kann bei besonderen Wetterlagen soweit gehen, daß nur noch ausströmendes Wasser (bei Ebbe und Flut!) vorhanden ist. Das ist möglich, weil über das Watt südlich von Juist Wasser von Westen her nachdrängt. Die in Bild 6 dort eingezeichnete —.—.— Linie stellt also keine immer festliegende Wasserscheide dar, und es ist auch bekannt, daß der die Wasserscheide kennzeichnende Höhenrücken mit der Zeit östlich gewandert ist und noch wandert.

Mit dem nicht ausgeglichenen Ein- und Ausströmen des Wassers im Seegat hängt es nun zusammen, daß der an der Küste bewegte Sand das Seegat nicht im Bogen umwandert, sondern auf einer ausgedehnten vom östlichen Ende der Insel Juist aus in nordöstlicher Richtung sich erstreckenden Sandbarre sich ablagert. Diese Sandbarre ist das maßgebende Hindernis, das die Strömungen an den Kopf der Insel Norderney drängt und weiter eine erwünschte Rinnenbildung im Westteil des Norderneyer Seegats verhindert.

Die Wasservertriftung über das Juister Watt soll durch die Dämme 2, 3 und 4 unterbunden werden und die Dämme 1 und 2 sollen einer Rinnenbildung im westlichen Teil des Seegats dienen.

Die Schwierigkeit der Planung liegt darin, daß die Auswirkung derartiger Einbauten nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden kann. Denkbar sind zwei Wege, um sich im voraus Klarheit über den Erfolg entworfenen Korrekturwerke zu verschaffen, und zwar einmal durch Modellversuche, wie sie z. B. im Falle a) durchgeführt wurden und zum anderen durch Gezeitenberechnungen, wie sie im Falle b) mit Erfolg angewendet werden konnten.

Bei Modellversuchen kann ein größeres Seegebiet mit verwickelten Strömungsverhältnissen und beweglicher Sohle nicht mit hinreichender Naturähnlichkeit hergestellt und betrieben werden. Ein Versuch wurde für den Fall a) 1935—1940 in der Preußischen Versuchsanstalt für Wasser- Erd- und Schiffbau in Berlin durchgeführt mit dem Ziel, die Möglichkeiten für den Schutz der Insel Norderney zu untersuchen. In Bild 6 sind fünf untersuchte Dammprojekte (stark ausgezogen) dargestellt. War sich auch die Versuchsanstalt klar darüber, daß aus den Modellversuchen nur erkannt werden könnte, ob überhaupt Ansätze zur Ausbildung neuer Rinnen nach dem Einbau von Dämmen vorhanden seien, so waren die von ihr erarbeiteten Hinweise letzten Endes doch so unsicher, daß bisher keine praktischen Folgerungen aus den Ergebnissen gezogen worden sind.

Große Fortschritte hat andererseits in letzter Zeit die Kenntnis der numerischen Ermittlung der Gezeiten in flachen Gewässern gemacht. Für ein Teilprojekt des Falles b) ist eine derartige Berechnung durchgeführt worden. Das Teilprojekt umfaßt nur die beiden Dämme 2 und 1 a (1 a ist ein Hilfsdamm, der errichtet werden soll, bevor 1 gebaut ist, um die Umbildung der Watts langsam vor sich gehen zu lassen, und der später wieder entfernt werden soll). Für dieses Teilobjekt konnten die zukünftigen Gezeitenwerte an den Dämmen ermittelt werden, und es konnten weiterhin Einblicke in die zu erwartende stärkere Durchströmung des westlichen Teiles des Norderneyer Seegats gewonnen werden. Die Ergebnisse lassen einen Erfolg der Planung erhoffen.

Der Hauptmangel dieser Methode liegt aber in der Bedingung, daß eine Berechnung nur für einen bestimmten Zustand des Untergrundes durchgeführt werden kann. Die durch geplante Einbauten hervorgerufenen morphologischen Veränderungen müssen vorher abgeschätzt werden, und erst für einen angenommenen Zwischen- oder Endzustand lassen sich die zukünftigen Gezeitenverhältnisse errechnen. Die in den Rechenmethoden liegenden Möglichkeiten werden im übrigen im Teil B dieser Arbeit behandelt.

6.

Die Methoden der klassischen Bauweise sind heute noch für große Erweiterungs- und Neubauplanungen allein maßgebend und sie werden an geeigneter Stelle auch in Zukunft unentbehrlich sein. Darüber hinaus wird man auch, wenn die örtlichen Umstände es erfordern und zulassen, an bestimmten Punkten der

Inselküste vorgestreckte Werke nach Abschnitt 4 entwerfen. Noch nicht ausgeführt sind bisher an der ostfriesischen Küste Bauten nach der zuletzt dargestellten neuen Baumethode. Es muß schon ein großes Maß von Vertrauen in die Richtigkeit dieser neuen Gedanken vorhanden sein, wenn sie zur Durchführung gelangen sollen. Die Gedanken leuchten zwar ein, doch sind Weg und Ziel noch zu ungewohnt. Ein Argument spricht aber sehr für sie, nämlich der Umstand, daß Bauten der neuen Methode in Bau und Unterhaltung weit billiger als die der alten Methode sein würden. Es ist durchaus denkbar, daß auf dem neuen Weg ein tragbarer dauernder Inselfchutz gefunden werden kann.

B. Grundsätzliches über den Einfluß der Strömungen und Wasserstände in der Deutschen Bucht auf die Küstengestaltung

Naturgemäß bieten Küstengewässer mannigfache Probleme, die das Interesse der Ozeanographie und des Wasserbaus zu erregen vermögen. Im folgenden soll einiges über den Einfluß der Wasserbewegungen in der Deutschen Bucht auf die Küstengestalt gesprochen werden. Bevor die Ursachen der Bewegungen betrachtet werden, sei zunächst einiges über die Verknüpfung zwischen Bewegungsvorgängen und Bodengestalt gesagt.

Das besondere Anliegen der dynamischen Ozeanographie ist es, die Bewegungsvorgänge im Meere zu erforschen. Diese Aufgabe läßt sich folgendermaßen formulieren, wenn, um etwas bestimmtes vor Augen zu haben, ein eindimensionales Gebiet, etwa eine lange schmale Bucht oder eine Flußmündung, betrachtet wird: Sind die Wasserstände am seeseitigen Ende und der Zufluß am landseitigen Ende (Oberwasser) ebenso wie die Tiefenverteilung des Gebietes bekannt, dann besteht die Aufgabe darin, Wasserstände und Stromgeschwindigkeiten für einen beliebigen Punkt des Gebietes zu ermitteln. Das geschieht in der Weise, daß mit Hilfe der hydrodynamischen Gleichungen Beziehungen zwischen den genannten Größen abgeleitet und numerisch ausgewertet werden. Die aufzuwendende Rechenarbeit ist recht beträchtlich; in jüngster Zeit ist für derartige Aufgaben mit gutem Erfolg der elektronische Rechenautomat BESK in Stockholm verwendet worden.

Daß die Tiefenverteilung von großem Einfluß auf die Bewegungsvorgänge in dem betrachteten Gebiet ist, leuchtet ohne weiteres ein und wird sofort veranschaulicht, wenn etwa die Wirkung einer umfangreichen Sandbarre betrachtet wird. Der Vorteil der oben genannten Rechenverfahren liegt darin, daß quantitative Angaben über die Stromgeschwindigkeiten und Wasserstände erhalten werden, des weiteren aber auch darin, daß nicht nur in der Natur vorhandene Zustände reproduziert, sondern auch Planungen und grundsätzliche Fragestellungen behandelt werden können. Besteht das Bett des betrachteten Meeresgebietes aus widerstandsfähigem Material, etwa anstehendem Gestein, dann bleibt die Morphologie ungeändert, sofern nicht durch die Strömungen von außen Material in das Gebiet hineintransportiert wird.

In der Deutschen Bucht ist der Meeresboden überwiegend aus Sanden verschiedener Korngrößen aufgebaut. Überschreitet die Geschwindigkeit des strömenden Wassers einen Grenzwert, der von der Geschwindigkeit abhängt, dann nimmt die Strömung das Material vom Boden auf und der Transport beginnt. In entsprechender Weise wird das Material wieder abgelagert, wenn die Geschwindigkeit unter einen kritischen Grenzwert absinkt. Zur Zeit sind noch keine erprobten Ansätze vorhanden, die quantitative Beziehungen zwischen

Stromgeschwindigkeit und Sandtransport liefern. Rein qualitativ läßt sich sagen, daß der Verhältniswert Sandtransport zu Stromgeschwindigkeit nicht konstant ist, sondern mit der Geschwindigkeit ansteigt. Hieraus können aber bereits wichtige Schlüsse über die zu erwartenden Änderungen der Morphologie gezogen werden.

Da es in der Deutschen Bucht durchaus die Regel ist, daß die Stromgeschwindigkeiten die Grenzhgeschwindigkeit überschreiten, so findet überall Materialtransport statt und Gebiete, die der Abtragung unterliegen, wechseln mit Gebieten, in denen Anlandung stattfindet.

Aus dem Vorstehenden ist zu entnehmen, daß der Materialtransport entscheidend durch die Stromgeschwindigkeit beeinflusst wird. Es folgen nun einige Bemerkungen über den Charakter der Strömungen.

Strömungen und Wasserstandsänderungen in der Deutschen Bucht werden durch folgende Ursachen bedingt: 1. Gezeiten, 2. Wind, 3. Dichteunterschiede (Süßwasserzufuhr).

Die Wasserbewegungen in der Deutschen Bucht sind vornehmlich gezeitenbedingt. Das Steigen und Fallen des Meeresspiegels ist verknüpft mit land- und seewärts gerichteten horizontalen Bewegungen (Flut- und Ebbstrom). Beobachtungen der Ströme in der Deutschen Bucht zeigen, daß die Dauer des Flutstroms im allgemeinen kürzer ist als die Dauer des Ebbstroms, die maximale Geschwindigkeit des Flutstroms dagegen größer als die maximale Ebbstromgeschwindigkeit. Diese Asymmetrie des Gezeitenstroms ist um so ausgeprägter, je größer das Verhältnis Tidenhub dividiert durch Wassertiefe wird. Auf den Watten kann der Tidenhub gleich der Wassertiefe sein. Dementsprechend zeigen die Strombeobachtungen eine von See nach Land zunehmende Asymmetrie der Gezeitenströme; in den Wasserständen ist ebenfalls eine Asymmetrie festzustellen, die aber im allgemeinen nicht so ausgeprägt hervortritt.

Auch Wind und Oberwasser nehmen Einfluß auf den zeitlichen Verlauf der Gezeitenströme. Während der Wind, je nach Richtung und Stärke, die Asymmetrie der Ströme sowohl verstärken als auch abschwächen kann, wirkt das Oberwasser in den Flußmündungen naturgemäß ebbstromverstärkend und flutstromschwächend. Es liegen Beobachtungen vor, bei denen die Flutstromgeschwindigkeit größer, die maximale Ebbstromgeschwindigkeit kleiner als die Grenzhgeschwindigkeit sind, bei der Bodenmaterial in Bewegung kommt. In solchen Fällen kann das Bodenmaterial nur in Richtung des Flutstroms transportiert werden, d. h. aber, das betrachtete Gebiet unterliegt einer dauernden Verlandung. Somit gewinnt der zeitliche Verlauf der Gezeitenströme eine besondere Bedeutung für den Materialtransport. Vollkommen symmetrischer Gezeitenstrom — etwa als rein harmonische Schwingung — liefert für Flut- und Ebbstrom gleichen, aber entgegengesetzt gerichteten Materialtransport. Das heißt, in einer vollen Gezeitenperiode wird ebensoviel Material land- wie seewärts transportiert, so daß effektiv kein Sandtransport stattfindet und die Morphologie im Mittel erhalten bleibt.

Tatsächlich zeigen die Beobachtungen, daß die Gezeitenströme in der Deutschen Bucht nicht symmetrisch sind, wie schon erwähnt. Die Verstärkung des maximalen Flutstroms gegenüber dem maximalen Ebbstrom nimmt von See her nach Land hin zu; in den Gezeitenflüssen wie Elbe, Weser usw. tritt dagegen, bedingt durch den Oberwasserzufluß, eine Umkehrung ein. Gezeitenbeobachtungen auf Station A in Bild 7 zeigen diesen Übergang recht deutlich. In den Bildern sind die gemessenen Stromgeschwindigkeiten und Richtungen

über der Zeit aufgetragen. Die am weitesten seewärts gelegene Station gibt Stromgeschwindigkeiten, die von einer harmonischen Kurve nur wenig abweichen. Auf der zweiten, weiter landwärts gelegenen Station B überwiegt der maximale Flut- den Ebbstrom, und die Messungen auf der Küstenstation C

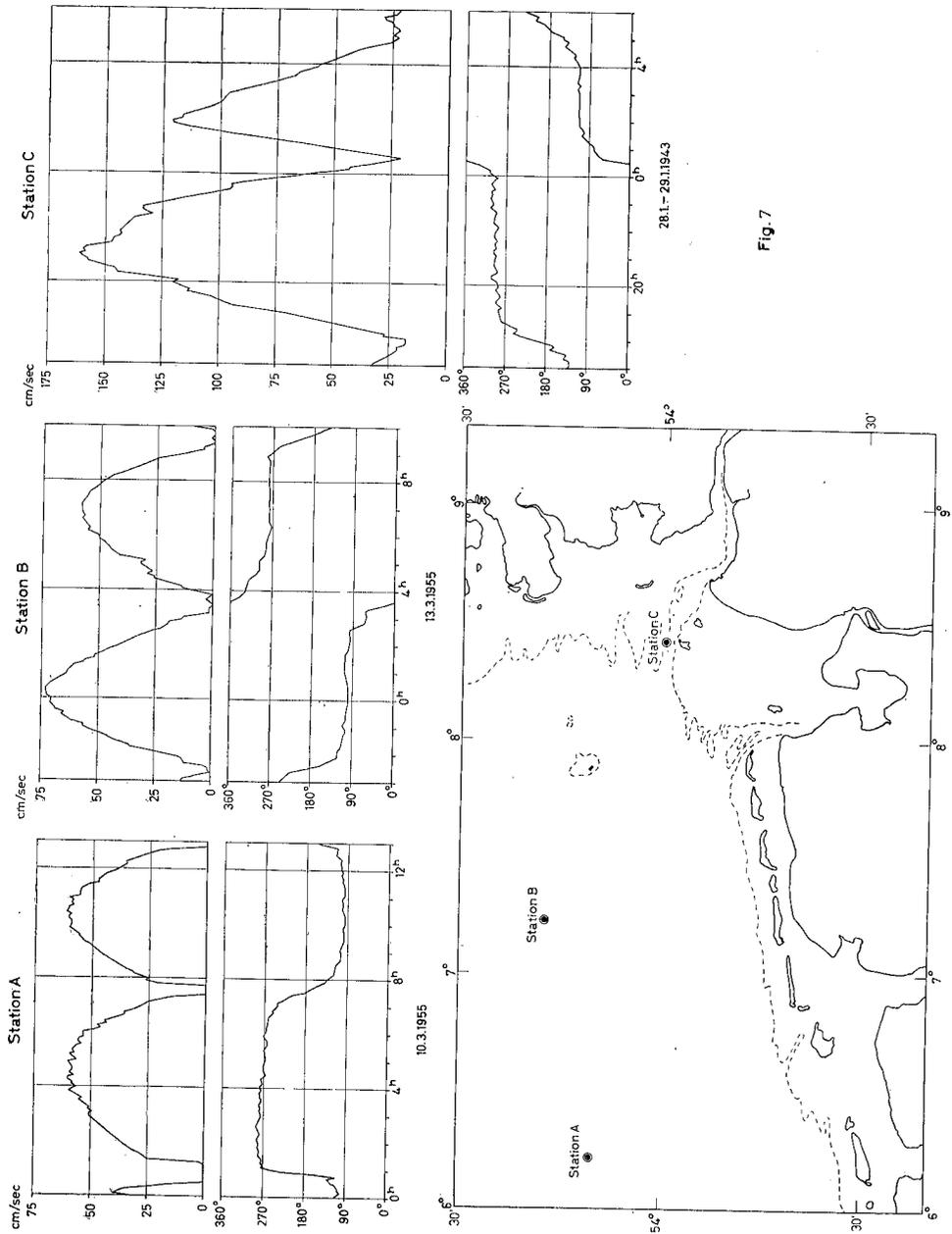


Fig. 7

Bild 7 Strombeobachtungen in der Deutschen Bucht

geben umgekehrt eine maximale Ebbstromgeschwindigkeit, die deutlich größer als die Flutstromgeschwindigkeit ist. Auf die Einzelheiten dieser Beobachtungen soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Im Anschluß an die obigen Ausführungen über den Zusammenhang zwischen Strom und Materialtransport kann gesagt werden, daß dort, wo der maximale Flutstrom stärker ist als der maximale Ebbstrom, die Möglichkeit zu einem landwärts gerichteten Materialtransport besteht; dort, wo der maximale Ebbstrom stärker ist als der maximale Flutstrom, kann das Material seewärts transportiert werden. Die Vorgänge sind insgesamt betrachtet recht komplex und in ihren Einzelheiten heute noch nicht zu übersehen. Dagegen läßt sich in einfachen Fällen der Einfluß der Morphologie auf die Struktur der Stromgeschwindigkeit quantitativ ermitteln, und daraus können Schlußfolgerungen bezüglich des Transportes gezogen werden.

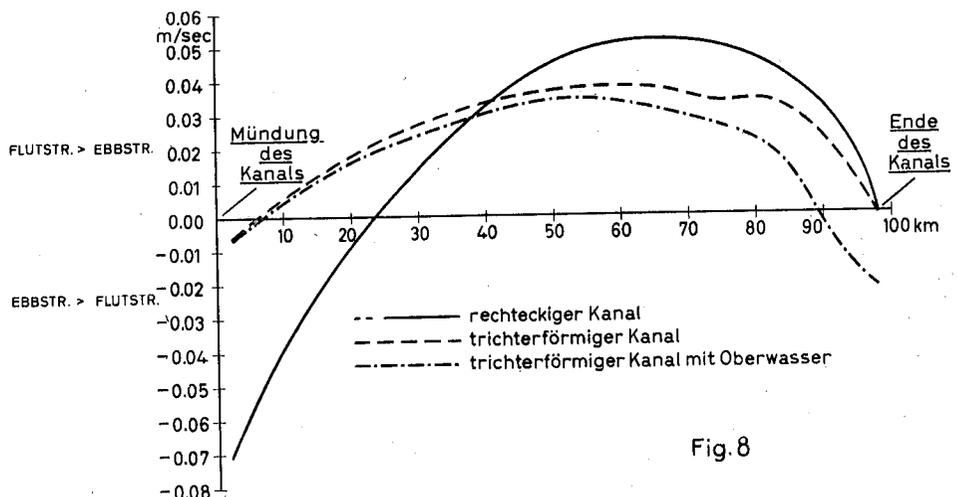
Im folgenden sollen einige der Ergebnisse besprochen werden, die bei der Untersuchung von geometrisch einfach gestalteten Gebieten ermittelt werden. Es sind dies die Gezeitenströme in folgenden Gebieten:

1. Rechteckiger Kanal, konstante Breite und Tiefe, seeseitig Wasserstand Sinusfunktion der Zeit, landseitig geschlossen, kein Oberwasserzufluß.
2. Trichterförmiger Kanal, bis auf die linear abnehmende Breite identisch mit dem Kanal unter 1.
3. Kanal wie unter 2., nur Oberwasserzufluß.

In den Rechnungen wurden folgende Abmessungen zugrunde gelegt: Länge 98 km, mittlere Wassertiefe 11 m, Tidenhub am Eingang 2 m, Breite 20 km bzw. 0,4 km, Oberwasser im dritten Beispiel 276 m³/sec.

Diese Rechnungen sind, wie oben bereits erwähnt, recht umfangreich; Vereinfachungen sind nicht möglich, da die Ergebnisse, die hier interessieren, wesentlich mit der komplizierten Struktur der zugrunde liegenden Gleichungen verknüpft sind.

In Bild 8 sind über die Kanallänge die Differenzen zwischen dem maximalen



Differenzen der maximalen Flut- gegen die maximalen Ebbströme

Bild 8 Differenzen zwischen maximalen Flut- und Ebbströmen

Flut- und dem maximalen Ebbstrom aufgetragen. Ist das Maximum des Flutstroms größer als das des Ebbstroms, sind die Differenzen positiv, im entgegengesetzten Fall negativ aufgetragen. Den obigen Überlegungen gemäß sind positive Differenzen Voraussetzung für landwärts, negative Differenzen für seewärts gerichteten Transport von Bodenmaterial.

Bild 8 zeigt die stärkste Änderung der Differenzen für den rechteckigen Kanal. Während von der Mündung bis etwa 23 km landwärts Tendenzen zur Ausräumung bestehen, ist in dem restlichen Teil des Gebietes mit Anlandung zu rechnen. Daraus ist zu schließen, daß im mündungsnahen Teil des Gebietes Querschnittsvergrößerungen, im übrigen Teil Querschnittsverringerungen zu erwarten sind. Ein rechteckiges Gebiet ist demnach morphologisch nicht im Gleichgewicht, sondern die Gezeitenströme trachten die Morphologie in der Weise umzugestalten, daß ein trichterförmiger Kanal entsteht. Derartige Trichterformen werden bei Flüssen, die in Gezeitenmeere münden, beobachtet.

Das zweite Beispiel gibt die Differenzen der Extremwerte der Stromgeschwindigkeiten für einen trichterförmigen Kanal. Ausräumung ist nur in den ersten Kilometern in der Nachbarschaft der Mündung zu erwarten; im überwiegenden Teil des Kanals besteht Tendenz zu landwärts gerichtetem Materialtransport, allerdings, und das ist bemerkenswert, überwiegt die maximale Flutstromgeschwindigkeit die maximale Ebbstromgeschwindigkeit nicht so stark wie im Fall des rechteckigen Kanals, woraus gefolgert wird, daß die Tendenz zur Verlandung im trichterförmigen Kanal nicht mehr so groß ist wie im rechteckigen Kanal.

Das dritte Beispiel bezieht sich wieder auf die gleiche Trichterform, nur findet jetzt ein Oberwasserzufluß statt. Die Differenzen der Extremwerte der Stromgeschwindigkeiten sind überall geringer als in den vorgenannten zwei Beispielen, die Verlandungstendenz ist als Folge der Oberwasserzugabe überall verringert worden. Das Oberwasser bewirkt auf einer Strecke von rund 10 km vom landseitigen Ende des Kanals ab gerechnet sogar eine Umkehr des Vorzeichens der Differenzen, d. h. hier ist mit einer seewärtigen Transportrichtung von Bodenmaterial zu rechnen. Eine Erhöhung des Oberwasserzuflusses dehnt dieses Ausräumungsgebiet weiter seewärts aus. Anders formuliert lautet das Ergebnis: Zu jeder Oberwassermenge eines in ein Gezeitenmeer mündenden Flusses bildet sich ein Mündungstrichter aus, dessen Dimensionen von der Oberwassermenge abhängen. Dieses Gleichgewicht ist somit nicht stabil, sondern steht in funktionaler Abhängigkeit von der Morphologie, den Gezeiten und den Oberwassermengen. Wird eine dieser Faktoren geändert, dann kann das vorhandene Gleichgewicht erheblich gestört und eine Entwicklung eingeleitet werden, die zur Ausbildung einer neuen Gleichgewichtslage führt. Diese neue Lage wird dann erreicht sein, wenn die genannten Größen wieder aufeinander abgestimmt sind.

Es gibt aber noch andere Faktoren, die dieses Gleichgewicht stören können, das sind auf der einen Seite natürliche Vorgänge wie Sturmfluten, auf der anderen Seite bauliche Maßnahmen des Ingenieurwasserbaues. Während die Sturmfluten kaum beeinflusst werden können, besteht von seiten des Wasserbauingenieurs das Bestreben, die Maßnahme so zu dosieren, daß mit einem Minimum an Aufwand das erstrebte Ziel erreicht wird, und zwar in der Weise, daß damit ein Gleichgewichtszustand verknüpft wird. Derartige Überlegungen werden dann angestellt, wenn es sich um den Bau eines Sperrdammes in einem Gezeitenfluß handelt; der Ort der Sperrstelle muß so gewählt werden, daß das

Fährwasser nach Fertigstellung möglichst ohne Baggerungen offengehalten werden kann. Ähnliche Probleme treten auf, wenn es sich um die Vertiefung einer Fahrrinne handelt, um auch großen Schiffen den Zugang zu einem Hafen zu ermöglichen. Allerdings läßt sich, wie aus dem Vorstehenden erkennbar ist, das Fährwasser eines Gezeitenflusses nicht beliebig vertiefen. Hieraus ergeben sich wichtige Folgerungen für die Maximalgröße von Seeschiffen, für die derartige Häfen erreichbar sein sollen. Diese Fragestellungen gehören aber bereits in das Gebiet des praktischen Wasserbaus. Hier interessiert vor allem das Ergebnis, daß trichterförmige Mündungen von Gezeitenflüssen bei einer vorgegebenen Oberwassermenge dadurch gekennzeichnet sind, daß sie eine gewisse Stabilität gegenüber anderen Mündungsformen besitzen.

Neben den Mündungen der Gezeitenflüsse spielen in der Deutschen Bucht die Priele und die Wattengebiete eine wesentliche Rolle. Die Wattengebiete sind dadurch charakterisiert, daß sie bei Niedrigwasser trockenfallen oder nur sehr geringe Wassertiefen besitzen und bei Hochwasser überflutet sind. Diese im Gezeitenrhythmus vor sich gehende Be- und Entwässerung der Watten erfolgt durch die Gezeitentiefs oder Priele. Während die Watten vornehmlich horizontal ausgedehnte Flächen mit nur geringer morphologischer Struktur darstellen, besitzen die Priele den Charakter mehr oder weniger tief in das Watt eingeschnittener Kanäle. Es ist zu erwarten, daß zwischen den Abmessungen eines Wattgebietes und des dazugehörigen Priels bestimmte Zusammenhänge bestehen. Wird etwa das Nordfriesische Wattenmeer betrachtet, so fällt auf, daß — von örtlichen Änderungen geringeren Ausmaßes abgesehen — über längere Zeit die großräumige Struktur dieses Gebietes nur geringe Änderungen erfahren hat.

Anders liegen die Verhältnisse im Dithmarscher Watt, das nach den heutigen Kenntnissen einen dauernden Zuwachs erfährt. Die Ursache hierfür liegt vermutlich darin, daß dieses Gebiet das Zentrum der Konvergenz der Sandmaterialtransporte in der Deutschen Bucht ist. Diese Vermutung wird gestützt durch die Tatsache, daß die großen Achsen der Gezeitenströme dorthin zusammenlaufen.

Die Bewegungsvorgänge können für geometrisch einfache Priel-Wattsysteme numerisch ermittelt werden. In Bild 9 sind für ein rechteckiges Wattgebiet mit einem dazugehörigen Prielkanal die Stromgeschwindigkeiten ermittelt worden. Es wurden die Fälle A und B durchgerechnet. Im Fall A handelt es sich um ein relativ hohes Watt, im Fall B um eine Bucht, deren Wassertiefe konstant ist. Hier interessiert der zeitliche Verlauf der Stromgeschwindigkeit an der Übergangsstelle vom Kanal in das Watt oder in die Bucht, die in Bild 9 mit der Nummer 5 bezeichnet ist.

Für den Fall A ist die maximale Flutstromgeschwindigkeit deutlich geringer als die maximale Ebbstromgeschwindigkeit; daraus wird zu schließen sein, daß das Watt keine Aufhöhung, sondern im Gegenteil eine Abtragung erfährt. Aus dem Verlauf der Geschwindigkeitskurve für den Fall B ist demgegenüber zu entnehmen, daß die maximale Flutstromgeschwindigkeit die maximale Ebbstromgeschwindigkeit überwiegt, so daß hier mit einem Materialtransport buchteinwärts zu rechnen ist und dementsprechend eine Anlandung stattfinden wird.

Diese Beispiele, die zwei Extremfälle behandeln — hohes Watt und Bucht — deuten darauf hin, daß, gesteuert durch die Hydrodynamik der Bewegungs-

Gezeitenstrom im Priel - Watt

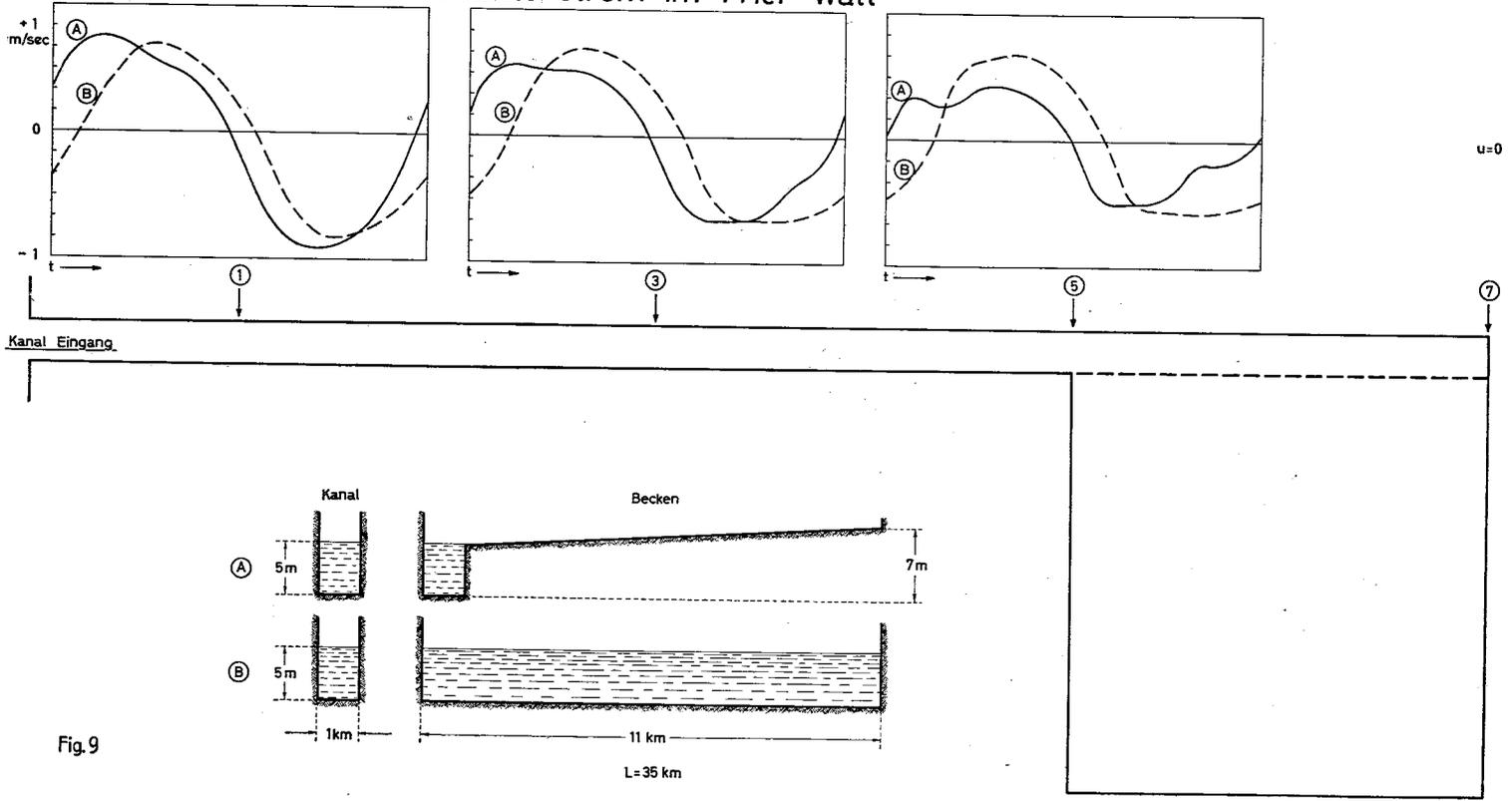


Fig.9

Bild 9 Stromgeschwindigkeiten in einem Priel-Wattsystem

vorgänge, die Höhenlage in den Wattengebieten um eine Gleichgewichtslage pendelt. Wird das Watt sehr hoch, dann tritt ein seewärtiger Materialtransport ein, der das Watt abbaut. Mit zunehmendem Abbau erfolgt eine Änderung der Stromgeschwindigkeitsverteilung in der Weise, daß bei hinreichend weit fortgeschrittener Ausräumung des Watts die maximale Flutstromgeschwindigkeit größer als die maximale Ebbstromgeschwindigkeit wird, und damit beginnt wieder der Anlandungsprozeß.

Das Pendeln der Höhenlage des Watts um eine Gleichgewichtslage ist bedingt durch die Verknüpfung der Stromgeschwindigkeiten mit der Geometrie des Gebietes. Wird diese Geometrie geändert, dann muß mit Störungen dieses Gleichgewichts gerechnet werden, die gegebenenfalls weitreichende Umgestaltungen hervorbringen.

Außer den genannten dynamisch-numerischen Untersuchungen wurden Modellversuche im Franzius-Institut der Technischen Hochschule Hannover durchgeführt, die ebenfalls diesen charakteristischen Zusammenhang zwischen den Stromgeschwindigkeiten und der Geometrie des Meeresgebietes deutlich erkennen lassen.

Eine quantitative Auswertung dieser Überlegungen kann für die praktische Arbeit der Landgewinnung erfolgen.