

# Die Ursachen der Abbrucherscheinungen am West- und Nordweststrand der Insel Norderney\*)

Von Rudolf Thilo und Günther Kurzak

Vorbemerkungen . . . . .	1
Die Bedeutung des Strandes von Norderney . . . . .	2
1. Die Untersuchungen bis zum Jahre 1949 . . . . .	3
2. Die Untersuchungen des Jahres 1949 . . . . .	5
3. Die morphologischen Veränderungen des Norderneyer Seegats und des Strandes . . . . .	5
4. Die Gezeiten und das Gefälle . . . . .	7
5. Die Wassermengenverteilung . . . . .	9
6. Die Sandwanderung . . . . .	12
7. Die Schlechtwetterlage . . . . .	12
8. Das Kräfteverhältnis im Norderneyer Seegat . . . . .	12
Die Beurteilung der wesentlichen seebautechnischen Maßnahmen zum Schutze der Insel Norderney . . . . .	17
1. Der Damm K 4 . . . . .	17
2. Der Damm Juist-Festland . . . . .	18
3. Der Damm Norderney-Steinplate . . . . .	19
4. Der Damm Juist-Nord . . . . .	19
5. Verlängerung der Insel Norderney um 4 km nach Westen . . . . .	19
Zusammenfassung . . . . .	20
Schriftenverzeichnis . . . . .	20

## A. Vorbemerkungen

Die fast vollständige Zerstörung von rund 450 m Strandschutzmauer am Nordweststrand der Insel Norderney vom Januar bis März 1949 gaben dem Niedersächsischen Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Abteilung Wasserwirtschaft, Veranlassung, die Forschungsstelle Norderney mit ihren wissenschaftlichen Mitarbeitern Drs. LINKE, DECHEND und KRAUSE beauftragen, die Strömungs- und Sandwanderungsverhältnisse im Norderneyer Seegat so eingehend zu untersuchen, daß hinreichend begründete Vorschläge für notwendige, zweckmäßige und wirtschaftlich vertretbare seebautechnische Maßnahmen aus diesen Untersuchungen entwickelt werden können, die eine Wiedergewinnung und Erhaltung des Strandes ermöglichen (Abb. 1).

Es sind zwar bereits seit über fünfzig Jahren zahlreiche Untersuchungen angestellt worden, das Problem zu lösen, doch haben sie bisher noch nicht ausgereicht, um die verschiedenen Vorschläge für Großbaumaßnahmen, die in jedem Falle mit einem erheblichen Kostenaufwand verbunden sind, hinsichtlich ihrer Wirkung und ihres Erfolges mit genügender Sicherheit zu beurteilen.

Der Aufgabenstellung nach mußten sich die im Jahre 1949 zur Ergänzung der früher durchgeführten Messungen und Untersuchungen in erster Linie auf die Frage nach den Möglichkeiten der Erhaltung und möglichst natürlichen Wiederaufhöhung des West- und Nordweststrandes von Norderney richten. Da ein Sandstrand sich erfahrungsgemäß nur dann aufrecht erhält oder gar wieder aufhört, wenn er durch natürliche Sandzufuhr von See her ständig "ernährt" wird, mußte sich die Untersuchungsarbeit im wesentlichen darauf erstrecken, die seebautechnischen Maßnahmen herauszufinden, die in der Lage sind, die strandaufbauenden

\*) Auszug aus dem Bericht des Wasser- und Schiffsamtes Norden, Forschungsstelle Norderney.

Naturkräfte zu fördern und so zu lenken, daß der jetzt weit im Osten liegende Sandanlandungspunkt bereits an den West- und Nordweststrand der Insel vorverlegt wird.

Die Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit von nur einem Jahr für die sehr umfangreichen Untersuchungen machte es notwendig, die Arbeiten nur auf das engere Einflußgebiet des Norderneyer Seegats zu beschränken. Die Untersuchungen haben aber ausgereicht, entscheidende Erkenntnisse zu gewinnen. Es bleibt jedoch trotzdem unbedingt notwendig, die Untersuchungen auch auf das weiter entfernt liegende Gebiet auszudehnen, um erkennen zu können, inwieweit noch andere Ursachen und Zusammenhänge auf das Gebiet des Norderneyer Seegats von Einfluß sein können.

## B. Die Bedeutung des Strandes von Norderney

Die ostfriesische Inselkette ist geologisch ein verhältnismäßig junges Gebilde und war im Laufe der Zeit ständigen Veränderungen unterworfen. Über ihre Entwicklung hat bereits GAYE (1) eingehende Ausführungen gemacht. Hervorzuheben ist, daß die aktiven Veränderungskräfte in den Strömungen der freien See, der Wattengebiete und besonders in denen der Seegaten zu suchen sind, die ihrerseits die Sandwanderungsverhältnisse bestimmen.

Norderney ist als Teil aus der Insel Buise entstanden, die sich im 15. Jahrhundert etwa noch bis zur Mitte der Insel Juist erstreckte. Erst als etwa um 1800 Buise untergegangen war und sich die heutige Gestalt des Seegats herauszubilden begann, kam Norderney unter verstärkten Angriff. Die ersten größeren Abbrüche traten am West- und Nordweststrand etwa um 1823 auf und sind seitdem nicht zur Ruhe gekommen. Seit 1857 ist das Westende der Insel, nachdem leichtere Bauwerke immer wieder zerstört worden waren, durch schwere Strandschutzwerke geschützt, die inzwischen immer mehr erweitert und verstärkt worden sind. Heute beträgt die Länge der Strandschutzmauer rund 5400 m und die Gesamtlänge der 20 Bühnen rund 4800 m. Der Gesamtkostenaufwand ohne Berücksichtigung der Geldwertänderung im Laufe der letzten neunzig Jahre beläuft sich bereits auf 12 Millionen Mark.

Infolge des Unterganges der Insel Buise hat sich für Norderney eine sehr ungünstige Lage gegenüber der Insel Juist ergeben. Der Südstrand von Norderney liegt etwa 600 m nördlicher als der Nordstrand von Juist, so daß Norderney wie ein Strompfeiler in dem von Westen auflaufenden Flutstrom steht.

Die Veränderungen im Gebiet des Norderneyer Seegats im Anschluß an den Untergang von Buise zeigen sich auch im geologischen Aufbau dieses Gebietes. Während westlich der tiefen Rinne des Seegats und des Busetiefs die Sände und Riffe aus feinem Seesand bis zum Geschiebemergel in 10 bis 15 m Tiefe bestehen, sind sie östlich davon noch von Torfen, Schlick und Tonen überlagert. So besteht auch die Insel Norderney aus einem Material, das stärkeren Angriffen durch Strömung und Wellen einen wesentlichen Widerstand nicht entgegenzusetzen vermag. Erst durch den Bau der Strandschutzwerke ist der weiteren Verlagerung des Seegats nach Osten Einhalt geboten und die Insel festgelegt worden. Ein Preisgeben der Bauwerke würde den weiteren Abbruch sofort wieder auslösen. Jede Veränderung der Lage des Seegats nach Osten ist aber heute unerwünscht. Sie würde unabsehbare Folgen für Küstenschutz, Verkehr, Entwässerung und Landgewinnung im Wattengebiet und an der Festlandsküste zur Folge haben. Die Stadt Norderney würde aufgegeben werden müssen. Eine Verlegung des Ortes mit rund 7000 Einwohnern ist aber heute nicht mehr ohne weiteres möglich.

Daher muß das Ziel aller Untersuchungen sein, die Strandschutzwerke mit einem möglichst geringen Kostenaufwand weiterhin zu erhalten. Der beste Schutz ist ein natürlicher Strand, der von See her dauernd selbständig „genährt“ wird, um den ständig arbeitenden Abbruchkräften die nötige Gegenwirkung bieten zu können. Der natürliche hochwasserfreie Strand vor den Strandschutzwerken erfüllt zwei Aufgaben:

- a) Er bildet für die Dünen und Strandschutzwerke das wellenbrechende Vorland und beugt somit der Gefahr einer Unterspülung der Bauwerke vor.
- b) Er dient der Inselgemeinde als Badestrand und bildet so die Grundlage ihrer wirtschaftlichen Existenz.

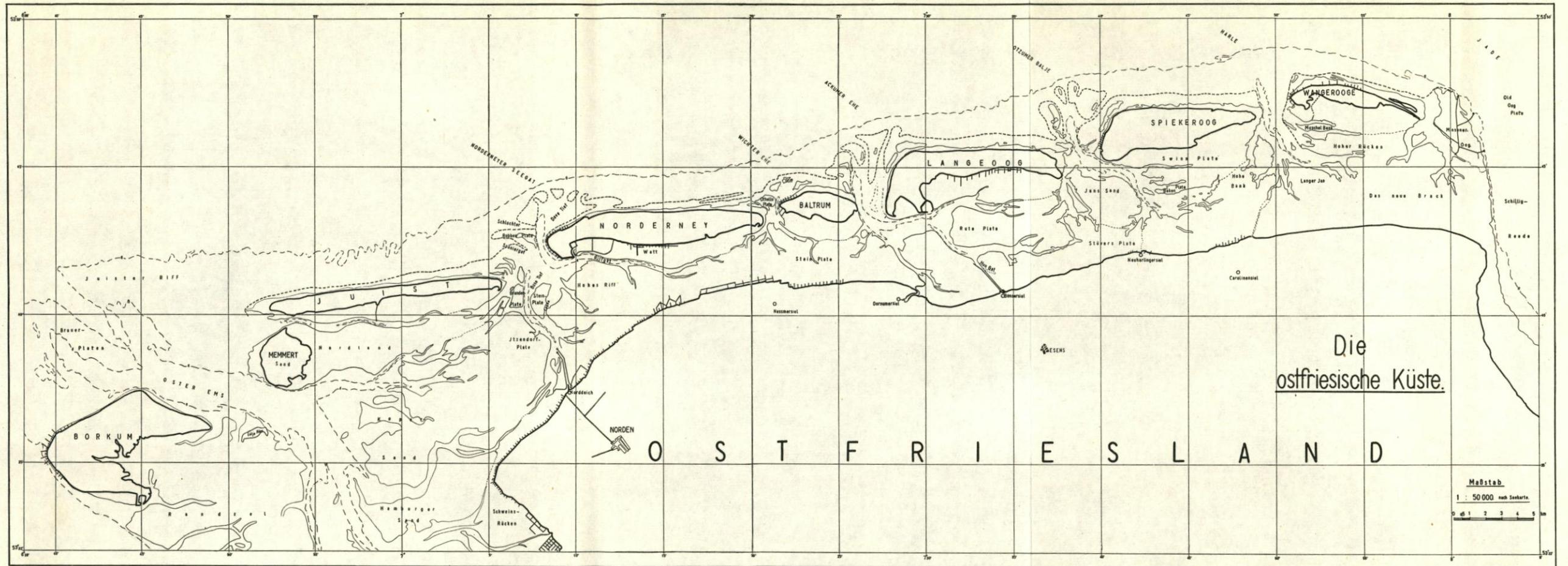


Abb. 1. Die ostfriesische Küste mit den vorgelagerten Inseln

### 1. Die Untersuchungen bis zum Jahre 1949

Die ständigen Strandabbrüche am West- und Nordweststrand von Norderney gaben schon frühzeitig Veranlassung, die Strömungs- und Sandwanderungsverhältnisse im Norderneyer Seegat zu untersuchen, um Wege zu finden, durch welche die Tendenz der Ostwärts-wanderung des Seegats zum Stillstand gebracht oder gar rückläufig gemacht werden könnte.

Die ersten Untersuchungen, über deren Ergebnisse noch Unterlagen bestehen, sind im Jahre 1897 durch den Wasserbau-Inspektor GARSCHINA ausgeführt worden. Er kam zu dem Ergebnis, daß die Ursachen für das Heranwandern der Rinne an Norderney

in dem ungünstigen Größenverhältnis der Einzugsgebiete des Busetiefs und des Riffgats, in der Wasservertriftung über das Juister Watt durch den Windeinfluß, in der hierdurch verursachten Ablenkung der Strömung des Riffgats nach Norden und infolge des stärkeren Ausflusses aus dem Busetief sowie in den größeren Ebbgeschwindigkeiten im Seegat gegenüber den Flutgeschwindigkeiten zu suchen sind.

Die Sandwanderung in dem Sinne, wie wir sie heute verstehen, hat er noch nicht erkannt. Den Aufbau der Riffe westlich von Norderney führte er auf die durch die vorherrschenden Westwinde vertrifteten Sandmengen der Insel Juist zurück.

Er folgerte daraus, daß eine Verlegung der tiefen Seegatrinnen nach Westen nicht möglich sei und Norderney nur durch Erhaltung und weiteren Ausbau der Strandschutzwerke gehalten werden könnte.

Erst bei den Untersuchungen des Jahres 1920 durch Regierungsbaumeister WEISE wurde die Entstehung des Riffgürtels um Norderney auf die Sandwanderung, wie wir sie heute verstehen, zurückgeführt. Im übrigen führte er auch auf Grund von Peilkartenvergleichen und theoretischen Überlegungen die Ursachen der Bildung des Norderneyer Seegats auf die verschiedene Größe der Einzugsgebiete des Busetiefs und Riffgats zurück und kam zu dem Schluß, daß eine günstigere Entwicklung des Seegats durch eine künstliche Verschiebung der Wattwasserscheiden des Juister und Norderneyer Wattes nach Osten durch Dammbauten zu erreichen sein müßte. Wenn außerdem das Riffgat durch Buhnen nach Süden abgedrängt würde, müßte sich die tiefe Rinne nach Westen entwickeln.

Im Jahre 1927 wurden die Professoren Geheimrat DE THIERRY, Berlin und FRANZIUS, Hannover von der Gemeinde Norderney aufgefordert, ein Gutachten über die Sicherung der Insel Norderney und die Wiedergewinnung des Badestrandes abzugeben. Auf Grund von historischen Unterlagen und Seekartenvergleichen sahen sie im Spanier Gat die alte Ausmündung des Busetiefs und in der Robbenplate die alte Insel Buise. Da sie der Ansicht waren, daß das Spanier Gat wieder zum Durchbrechen neige, schlugen sie vor, das Gat zu einer tiefen Rinne von 10 m Tiefe und 200 m Breite auf 2,5 km Länge auszubaggern, um damit die Natur zu unterstützen und die tiefe Rinne des Seegats nach Westen abzulenken. Um aber das auch von ihnen vorausgesagte Wiederumschwenken der Rinne in die heutige Lage zu verhindern, sahen sie es für notwendig an, das Nordufer der neuen Rinne, die Robbenplate, zu befestigen, um so die alte Insel Buise wieder neu zu schaffen. Außerdem sollte die tiefe Seegatrinne durch Buhnen verbaut werden.

Abgesehen davon, daß sich der Ausbaggerung des Spanier Gats sehr große technische Schwierigkeiten entgegenstellen würden, da es sich um eins der schwersten Brandungsgebiete um Norderney handelt, können die Annahmen der beiden Gutachter heute nicht mehr als richtig anerkannt werden. Nach den neuesten historischen Untersuchungen hat das Seegat in früheren Jahrhunderten anders ausgesehen als heute. Das Spanier Gat ist nicht in der Form, wie es die Gutachter sahen, die Mündung des Busetiefs gewesen; die Robbenplate war eine Sandbank, die westlich der Insel Buise gelegen hat und mit dem Tief nach Osten auf die heutige Lage gewandert ist. Eine Neigung des Spanier Gats, sich von selbst auszuwaschen, besteht nicht. Die aus den Seekarten herausgelesene Vertiefung ist vielmehr auf die Ungenauigkeit der alten Peilungen zurückzuführen.

Dieses Gutachten gab 1930 Regierungsbaurat GAYE und Regierungsbaumeister WALTHER Veranlassung, das Norderneyer Seegat eingehend zu untersuchen. Die Ergebnisse sind in der Bautechnik (2) und (3) veröffentlicht. Sie sind im wesentlichen folgende:

1. Der Scheitel der Flutwelle schreitet in freier See von Westen nach Osten fort. In der Nähe der Inseln wird er gehemmt und nach Südwesten zurückgebogen, so daß ein Wellenfortschritt von Nordwesten nach Südosten eintritt. In die Seegaten tritt die Welle in südöstlicher Richtung ein und verzweigt sich nach Osten, Süden und Westen.
2. Die Wattwasserscheiden bilden keine strengen Grenzen für die Gezeiten und Strömungen.
3. Im Norderneyer Seegat herrscht bei Flut ein Quergefälle nach Südwesten, bei Ebbe nach Nordosten geneigt.
4. Die größten Stromgeschwindigkeiten im Seegat treten unter Voraussetzung gleichen Tidehubs bei mittleren Sturmfluten (etwa 1 m über MThw) auf und nicht bei hohen Sturmfluten (etwa 2,5 m über MThw).
5. Bei stärkeren westlichen Winden wurden ähnliche Strömungen im Seegat wie bei Schönwetter angenommen.
6. Die Lage der tiefen Rinne im Seegat ist bedingt durch das ungünstige Verhältnis der Einzugsgebiete von Busetief mit Legde und Riffgat. Bei ablaufendem Wasser drängen die großen Wassermengen des Busetiefs die kleineren des Riffgats an die Insel Norderney heran.
7. In das Norderneyer Seegat dringt der Flutstrom durch die Flutgaten (Spanier Gat, Schluchter und Legde) ein, in denen der Flutstrom überwiegt, während der Ebbstrom durch die Ebbgaten (Busetief, Riffgat, Seegat und Dovetief) austritt, in denen der Ebbstrom überwiegt.
8. Die riffbildenden Kräfte sind Strömung und Brandung.
9. Die Sände wandern an der Seeseite der Insel Juist von Westen nach Osten, wandern dann nach Osten durch das westliche Seegat bis zum Busetief und nach Nordosten über die Robbenplate bis zu den Nordwestgründen. Von dort wandern sie nach Osten bis an die Insel Norderney.
10. Durch die Strandschutzwerke von Norderney ist der Inselsockel gehalten. Der hochwasserfreie Strand jedoch wird von der Brandung abgetragen.

Aus diesen Untersuchungen zogen GAYE-WALTHER folgende Schlüsse.

Maßgebend für die Ausbildung des Norderneyer Seegats sind:

1. die Gezeitenwelle,
2. die Grundriß- und Oberflächengestaltung des Wattes und des Seegats,
3. die wasserführenden Querschnitte des Seegats.

Die Angriffe auf das Westende von Norderney werden durch folgende Kräfte hervorgerufen:

1. Der Flutstrom baut zusammen mit der Brandung die Riffe auf.
2. Die Wassermassen des Busetiefs und der Legde überwiegen die des Riffgats und drängen den Ebbstrom an das Westende der Insel.
3. Die Riffe werden durch den Ebbstrom weit nach Norden hinausgetragen, so daß sie erst in großer Entfernung vom Westende wieder die Insel Norderney erreichen können.
4. Das nach Osten geneigte Quergefälle bei Ebbe begünstigt das Herandrängen des Stroms an die Insel.
5. Der Ebbstrom kann unter diesen Umständen im Riffgürtel ohne besondere Maßnahmen niemals allein eine tiefe Stromrinne in nordwestlicher Richtung offenhalten.

Es muß also erwähnt werden, daß GAYE und WALTHER zwar die Brandung als Kraft benannten, aber hier nicht in dem Maße in Rechnung gestellt haben, wie es ihr zukommt.

Die Ergebnisse wurden in einem Modellversuch nachgeprüft, der in den Jahren 1935—40 von der Preussischen Versuchsanstalt für Wasser-, Erd- und Schiffbau in Berlin durchgeführt wurde mit dem Ziel, alle Möglichkeiten für den Schutz von Norderney zu untersuchen. Das Modell umfaßte das Gebiet von der Mitte der Insel Juist bis zum Westende von Langeoog und reichte im Süden bis zur Festlandsküste und im Norden bis etwa 5 km nördlich von Norderney. In dem Abschnitt des engeren Norderneyer Seegats war auf eng begrenztem Raum zeitweise eine bewegliche Sohle aus Bernsteingrus eingebracht. Im übrigen bestand die Sohle aus aufgerauhtem Beton. Es wurden im allgemeinen nur die Oberflächenströmungen bei mittlerer Tide und Schönwetterlage untersucht. Nicht dargestellt wurden der Windeinfluß, die Brandung und die Sandwanderung. Das Modell zeigte insofern eine wesentliche Abweichung gegenüber der Natur, als die Stromrichtungen im Seegat um 30 Grad nach Westen gedreht waren. Es wirkte sich hier nach Ansicht der Versuchsanstalt die in zu geringer Entfernung liegende nördliche Begrenzungswand des Modells auf die Strömungsgeschwindigkeiten und die Form der Sände aus. Im Spanier Gat und über den westlichen Riffen waren die

Geschwindigkeiten größer, die Robbenplate wurde abgeflacht und die Barre zwischen Busetief und Spanier Gat eingebnet.

Trotz dieser Abweichungen stand die Versuchsanstalt auf dem Standpunkt, daß die Modellergebnisse für eine Beurteilung der Wirkung von Dammbauten zur grundlegenden Veränderung der Strömungen im Norderneyer Seegat insoweit verwendet werden könnten, als zu erkennen sei, daß überhaupt der Ansatz zur Bildung neuer Rinnen nach dem Einbau von Dämmen und den dadurch veränderten Strömungsverhältnissen vorhanden sei.

In dem Modell wurden 25 verschiedene Dämme untersucht. Von ihnen hat sich der Damm K 4 als der zweckmäßigste herausgestellt, nachdem andere bessere Dämme aus verkehrstechnischen und militärischen Gründen ausgeschieden worden waren. Der Damm K 4 im Modell ging von der äußersten Westspitze der Insel Norderney aus, kreuzte das Seegat an der tiefsten Stelle und lief auf der Robbenplate aus. Er sollte eine Gesamtlänge von 1400 m erhalten. An seiner Südseite bildete sich in Nordwestrichtung eine tiefe Rinne. Am Nordweststrand entstanden gute Anlandungsmöglichkeiten. Wie sich allerdings die Sandwanderung auf die Beständigkeit der Lage der Rinne, besonders am Kopf des Dammes, auswirken würde, war zunächst nicht zu erkennen.

## 2. Die Untersuchungen des Jahres 1949

Als im Frühjahr 1949 die schweren Sturmflutschäden an den Strandschutzwerken von Norderney aufgetreten waren, erhob sich die Frage, ob die bisherigen Untersuchungen ausreichten, um die Wirkung des Dammes K 4 so eindeutig beurteilen zu können, daß man es wagen könnte, den Damm mit seinen sehr hohen Baukosten von rund 15—20 Mill. DM herzustellen und damit die Insel Norderney endgültig zu schützen. Die Forschungsstelle Norderney verneinte dieses und hielt es für notwendig, noch folgende grundlegende Zweifel an der Beurteilung der bisher vorliegenden Ergebnisse zu klären:

1. Wenn die Flutwelle von Westen nach Osten fortschreitet, muß vor dem Spanier Gat ein hoher Wasserstand bei Flut und ein niedriger bei Ebbe früher eintreten als vor dem Dove-Tief. Das Gefälle müßte dann in Westostrichtung liegen und das Spanier Gat die Hauptabflußrinne sein. Wenn es in der Natur nicht so ist, müssen andere Kräfte als Gefälle und Strömung die Ausbildung dieser Rinne verhindern.
2. Wenn das Busetief die Hauptabflußrinne und das Riffgat eine Nebenrinne sein soll, dann ist es nicht erklärlich, daß die Trennungsbarre zwischen den beiden Rinnen in der Hauptrinne, dem Busetief, und nicht in der Nebenrinne, dem Riffgat, liegt. Es müssen daher andere wesentliche Kräfte vorhanden sein, die diese Barrenbildung erhalten, zumal die Barre aus tiefgründigem, reinem Sand besteht.

Die Forschungsstelle Norderney erhielt daher den Auftrag, die bisherigen Untersuchungen zu überprüfen und die Kräfteverhältnisse im Norderneyer Seegat so eingehend zu klären, daß endgültige Vorschläge zur Sicherung der Insel gemacht werden könnten. Als Arbeitszeit wurde ihr ein Jahr bewilligt\*).

## 3. Die morphologischen Veränderungen des Norderneyer Seegats und des Strandbes

Während sich an der engsten Stelle der Seegatrinne seit dem Bau von Unterwasserschwellen im Jahre 1899 keine Veränderungen am Inselfuß mehr ergeben haben, hat sich von 1866 bis 1898 die 2 m-Tiefenlinie um 1000 m dem Nordweststrand genähert, bis durch den Bau der Strandschutzwerke die Weiterwanderung unterbunden wurde. Der Riffgürtel hat innerhalb von achtzig Jahren seine Lage nicht wesentlich verändert. Auffällig ist, daß im Süden die Steinplate seit 1866 in der 0 m-Tiefenlinie um 700 m und in der 2 m-Tiefenlinie um 400 m nach Westen vorgerückt ist, während die gegenüberliegende Branderplate keine Veränderungen zeigt.

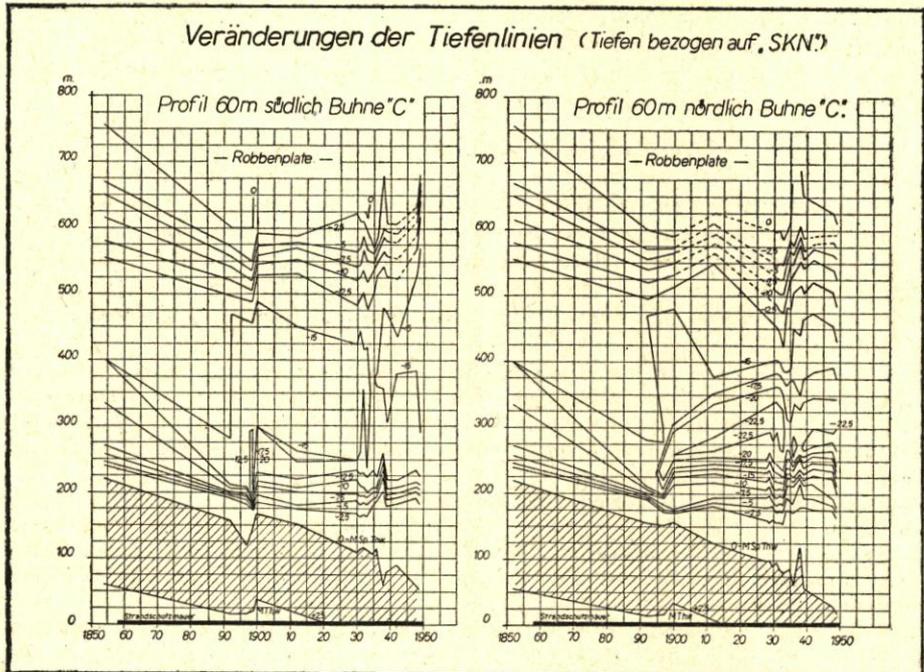
Die Veränderungen des Strandbes von Norderney wurden besonders sorgfältig untersucht, da von der Stadtverwaltung Norderney immer wieder behauptet wird, daß der

\*) Beiträge zur Darstellung der Geomorphologie des Norderneyer Seegats sind in Vorbereitung und werden demnächst veröffentlicht (7).

Inselsockel im Abbruch liegt und damit eine starke Gefährdung des Ortes gegeben sei. Auf Grund von Peilerggebnissen, die teilweise bis zum Jahre 1845 zurückreichen, hat sich folgendes ergeben:

Der Inselsockel im Süden des Ortes Norderney westlich des Hafens zeigt keine Veränderungen. Am Westrand längs der tiefen Rinne des Seegats (Abb. 2) war ein ständiger Abbruch bis zum Jahre 1899 vorhanden. Seit dem Bau der Unterwasserschwellen in diesem Jahre zeigt der Inselsockel keine Veränderungen mehr. Vor dem Nordweststrand hat sich der Vorstrand bis auf 2,5 m bis 3 m unter SKN\*) vertieft und ist dann in dieser Lage verblieben.

Der Inselsockel ist somit seit 1899 durch die Baumaßnahmen gehalten worden. Der Strand selbst aber liegt am West- und Nordweststrand weiterhin im Abbruch, und zwar bis zu einer Tiefe von 2,5 bis 3 m unter SKN. Der Abbruch des Strand es kann aber nicht



allein auf die Strömungen zurückgeführt werden, denn die Buhnen müßten den Strand gegen Strömungsangriffe ebenso schützen, wie die Unterwasserschwellen den Inselsockel. Die angreifende Kraft kann nur in der Brandung gesehen werden. Die Hauptbrandung läuft von Nordwesten gegen die Insel an. Die Welle schlägt den Sand des Strand es los und wirft ihn gegen das Strandschutzwerk. Ein Teil des Sandes wird von dem Unterstrom zurück in das Seegat befördert. Die Hauptmasse wird von der Welle am Strandschutzwerk entlang verfrachtet. Da die Schutzmauern schräg zur anlaufenden Welle liegen — gemäß der Strandrichtung in West- und Südwest- bzw. in Nordostrichtung — läuft die Welle auf die Mauer auf und schießt weite Strecken auf ihr entlang. Mit ihr wird der Sand in Südost- bzw. Nordostrichtung verfrachtet. Diese Transportrichtung zeigt sich auch in der Verlagerung der Schüttsteine, die zum Schutz vor der Strandschutzmauer eingebracht sind und sich nach schweren Stürmen in den südlichen bzw. östlichen Buhnenwinkeln ansammeln. Wenn die

\*) SKN = Seekartennull = Mittelspringtideniedrigwasser = NN — 1,50 m.

Welle von der Mauer wieder in das Meer zurückläuft, sucht sich der mitgenommene Sand an der neuen Stelle abzulagern. Die südlichen bzw. östlichen Bühnenfelder erhalten somit noch eine ständige Sandzufuhr. Die Abbruchstendenz ist daher hier noch nicht so stark ausgeprägt, wie die der vorhergehenden Felder. Erst wenn das vorhergehende Bühnenfeld eine derartige Tiefe erreicht hat, daß nicht mehr genügend Sand aufgegriffen werden kann, kommt das folgende Bühnenfeld auch in verstärkten Abbruch. Der Strandabbruch schreitet daher am Weststrand nach Süden, am Nordweststrand nach Osten fort.

Daß sich der Strandabbruch nicht tiefer als 2,5—3 m unter SKN auswirkt — im Gegensatz zu der freien Küste und dem Meere, wo die Welle noch in weit größere Tiefe wirkt — ist darauf zurückzuführen, daß die Welle bereits durch die vorgelagerten Riffe umgeformt worden ist.

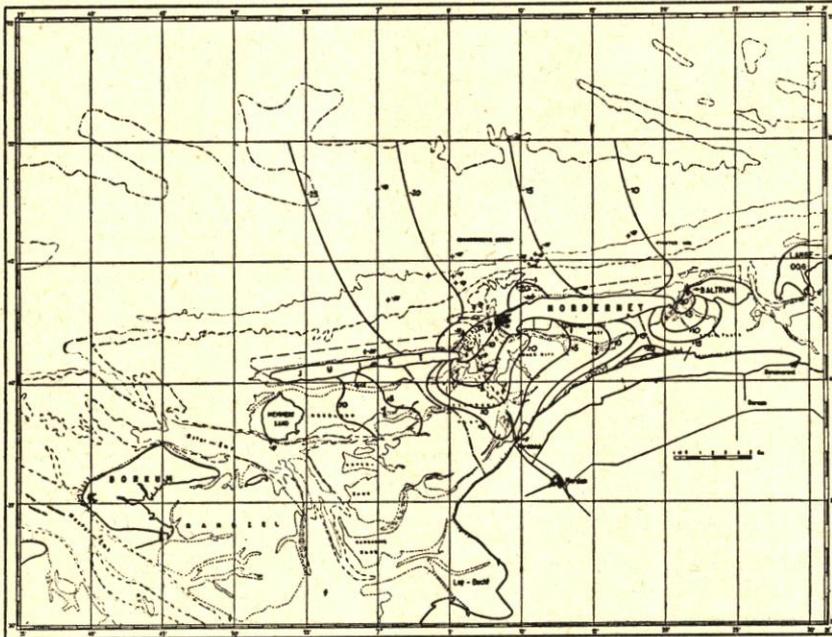


Abb. 3. Wahrscheinlicher Verlauf der Flutstundenlinien bei Norderney

An der Nordwestspitze von Norderney zwischen den Bühnen A und B läuft die Welle senkrecht auf die Strandschutzmauer auf. Ein Seitentransport findet hier kaum statt. Es ist daher auch das einzige Bühnenfeld, das sich noch in ziemlicher Höhe hält, während die Nebenfelder bereits tief ausgeräumt sind. Überlagert wird der ständige Abbruch am Nordweststrand von zeitweisen Strandzunahmen, wobei kurzfristige Zunahmen meistens noch durch anhaltende Ostwindperioden begünstigt waren. Maximale Strandlagen traten in den Jahren 1895 und 1925 auf, stärkste Abbrüche in den Jahren 1885, 1915 und heute, doch war der Strandverlust immer stärker als die vorhergehende Strandzunahme. Woher diese Sandmengen kommen und welchen Weg sie im einzelnen einschlagen, ist noch nicht geklärt.

#### 4. Die Gezeiten und das Gefälle

WALTHER hatte bei seinen Untersuchungen (3) angenommen, daß die in Westostrichtung fortschreitende Flutwelle von der ansteigenden Küste abgebremst wird und sich somit vor den Seegaten eine Richtung des Flutscheitels in Nordost—Südwest ergibt. Vor Spanier Gat und Dovetief müßten sich danach Thw und Tnw nahezu gleichzeitig einstellen. Zahlreiche Hochsepegelmessungen zeigen aber, daß eine abbremsende Wirkung des Küsten-

anstiegs unwahrscheinlich ist, so daß sich ein Fortschreiten der Gezeitenwelle in Westost-richtung mit dem Scheitel in Nordsüdlage einstellt (Abb. 3). Vor den in Nordsüdrichtung verlaufenden Riffen wird die Flut gestaut, die Ebbe abgesaugt. Aus den Messungen ergibt sich, daß Thw und Tnw vor Spanier Gat und Schluchter etwa fünf Minuten früher als vor dem Dovetief eintreten, was einen Wasserstandsunterschied während der Tide von maximal 10 cm bedeutet.

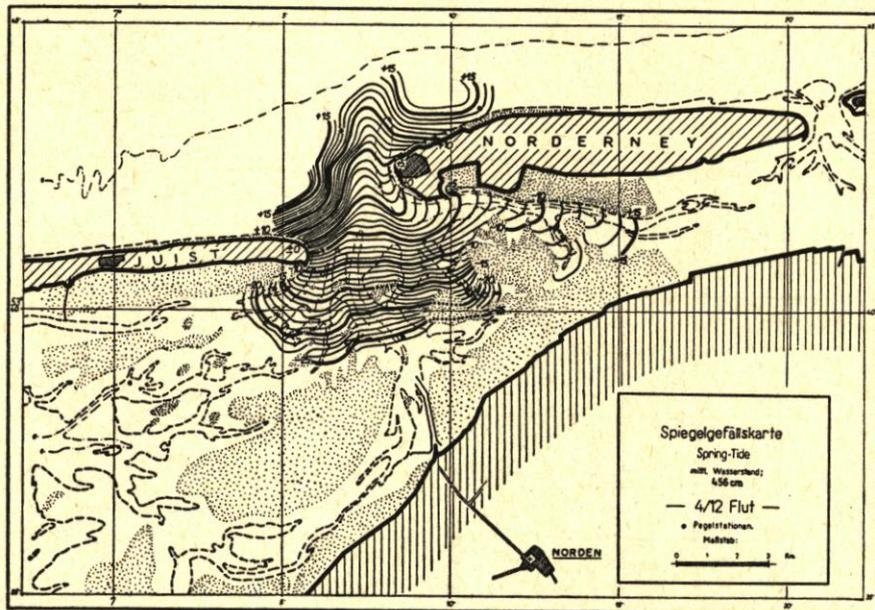


Abb. 4.

Dieser Verlauf der Flutstundenlinien ist auch in den sich einstellenden Wasserspiegelgefällen zu erkennen, die durch ein verhältnismäßig enges Schreibpegelnetz für ruhige Wetterlage sicher erfaßt werden konnten. Da zwischen dem Gefälle bei Nipp- und Springtiden nur quantitative Unterschiede vorhanden sind, wird hier nur das Gefälle bei Springtide dargestellt.

Bei Flut (Abb. 4) ist das Gefälle von See zum Watt gerichtet. Schon bei 3/12 Flut stellt sich im Spanier Gat ein Gefälle von 1 : 10 000 ein, während gleichzeitig in der Rinne ein Gefälle von 1 : 35 000 herrscht. Dieser Zustand hält etwa bis Mittelwasser (6—7/12 Flut) an. Die Linien gleichen Gefälles drehen dann mehr in Ostwestrichtung; das Gefälle wird allgemein schwächer und gleicht sich zwischen Spanier Gat und Rinne mehr an.

Bei Ebbe (Abb. 5) ist schon bei 2/12 Ebbe ein sehr starkes Gefälle im Spanier Gat vorhanden (1 : 12 000), das im Verlauf der Tide noch mehr zunimmt und bis 10/12 Ebbe bestehen bleibt. In der Rinne des Seegats ist das Gefälle stets schwächer (1 : 30—50 000). Aus dem Verlauf der Thw und Tnw in der Linie Dovetief—Seegatrinne—Busetief läßt sich auch der Einfluß der Morphologie auf die Strömungen erkennen. Das Tnw wird danach bei Flut vor den Riffen aufgestellt, fällt in der Rinne bis zur Busetiefbarre zwischen Riffgat und Busetief, wird vor der Engstelle zwischen Branderplate und Steinplate wieder aufgestellt, um dann erst langsam, später schnell eine weitere Aufsteilung bis zur Festlandsküste zu erfahren. Das Tnw steigt erst langsam, dann schneller bis zur Engstelle der Seegatrinne zwischen Norderney und Robbenplate an, um dann stark bis zum Dovetief abzufallen. Die Stauerscheinungen vor den Engstellen der Rinnen sind aber nicht unmittelbar durch die Schwingung der Gezeitenwelle bedingt, sondern es stauen sich in der Enge die strömenden Wassermassen, die bei Flut von Norden, bei Ebbe von Süden herandrängen. Der durch die Querschnittsgestaltung des Strom-

bettes erzeugte Fließzustand der strömenden Wassermassen wirkt wieder rückläufig auf die Gestalt der Gezeitenwelle ein.

Dem Gefälle entsprechen auch die durch Schwimmermessungen festgestellten Richtungen der Oberflächenströmungen. Die Wassergeschwindigkeiten bei Flut und Ebbe überschreiten dabei sowohl im Spanier Gat als auch im Seegat 1,00 m/sec.

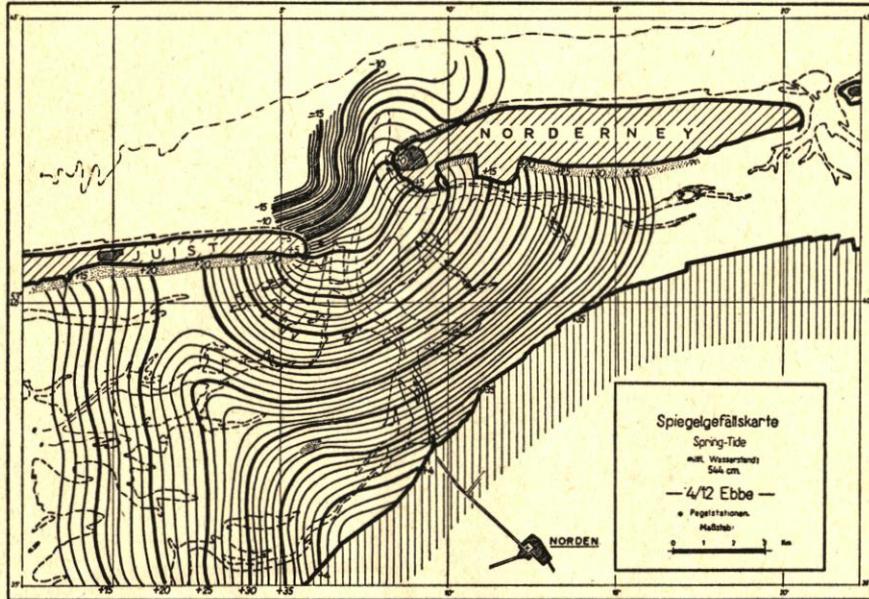


Abb. 5.

### 5. Die Wassermengenverteilung

Ein anders geartetes Bild zeigt die Verteilung der Wassermengen auf die einzelnen Gaten und Rinnen im Verlauf der Tide (Abb. 6 und 7).

Entsprechend dem Gefälle wird das Norderneyer Watt zu Anfang zum überwiegenden Teil vom Spanier Gat aus gefüllt. Mit der Drehung der Gefälleslinien steigt die Leistungsfähigkeit der Seegatrinne, doch bleibt die Leistung des Spanier Gats noch immer hoch. Das einströmende Wasser verteilt sich auf die drei Haupttrinnen des Norderneyer Wattes: das Busetief, die Legde und das Riffgat. Das Busetief wird während der ganzen Flut allein vom Spanier Gat, das Riffgat überwiegend vom Seegat und zu einem geringen Teil vom Spanier Gat aus gefüllt. Die Legde wird zu Anfang überwiegend vom Spanier Gat aus gefüllt, wobei die Barre zwischen dem Seegat und dem Busetief in Längsrichtung überströmt wird. Mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit der Seegatrinne im Verlauf der Flut beteiligt sie sich an der Auffüllung der Legde, doch bleibt die Einströmung vom Spanier Gat ständig erhalten.

Im Gegensatz dazu entspricht die Wassermengenverteilung bei Ebbe nicht immer dem vorherrschenden Gefälle. Während zu Beginn der Ebbe die abfließenden Wassermengen fast ausschließlich dem Gefälle entsprechend durch das Spanier Gat ausfließen, macht sich nach 3/12 Ebbe die Barre am Ostende des Spanier Gats bemerkbar, so daß ab 10/12 Ebbe trotz des Gefalles im Spanier Gat das gesamte Wasser durch die Rinne nach Norden abfließt.

Die Wasserführung des Busetiefs ist bei Ebbe wesentlich größer als bei Flut, im Gegensatz zur Legde. Es müssen also erhebliche Wassermengen, die durch die Legde über die südlich in ihr liegende Barre in das Norderneyer Watt eingeströmt sind, durch die Barre abgelenkt und dem Busetief zugeführt werden.



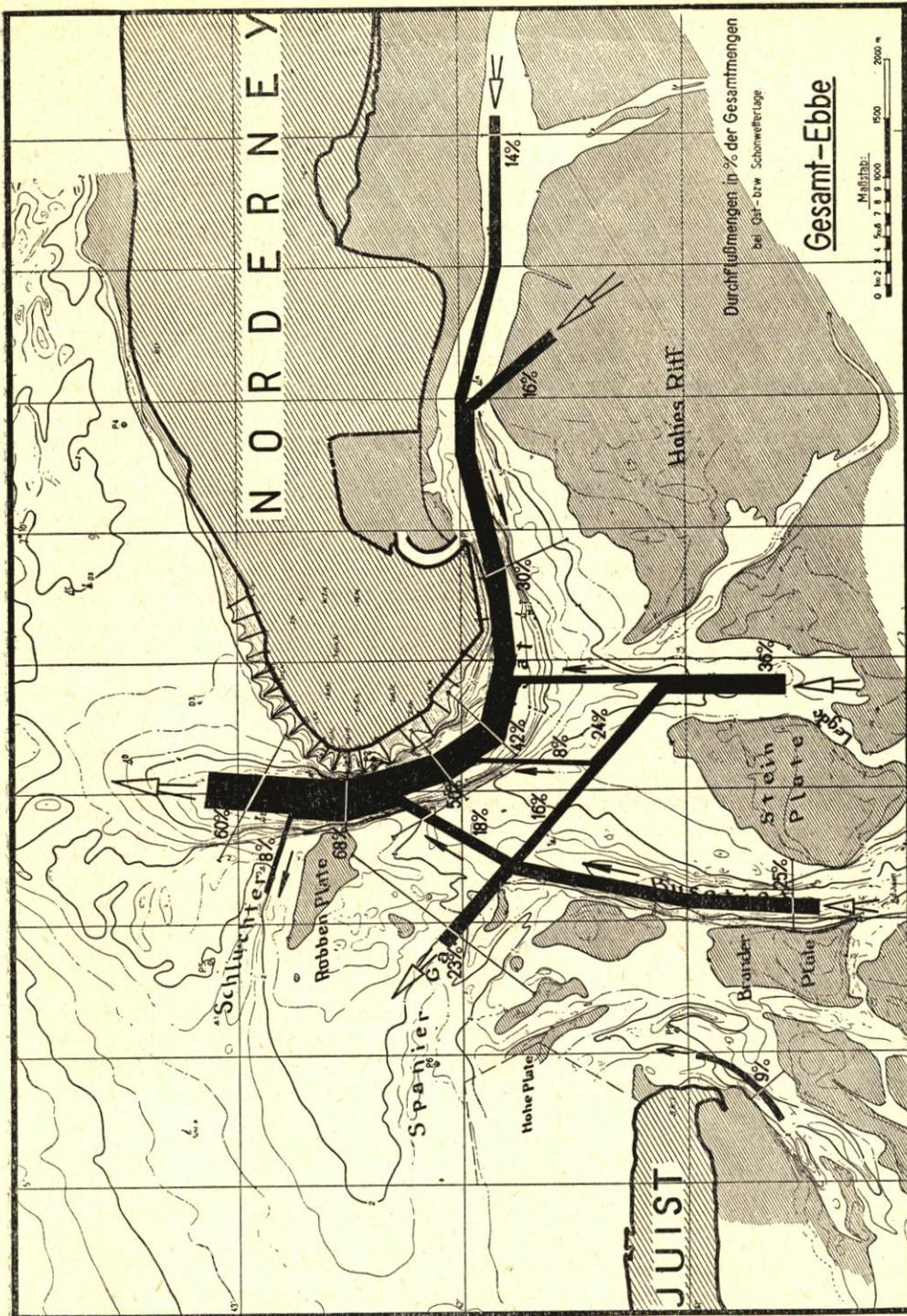


Abb. 7. Durchflusssummen im Norderneyer Seegat in % der Gesamtsummen bei Ebbe

Das Kalfamergat am Ostende von Juist führt während der ganzen Zeit ein Eigenleben und steht nicht im Zusammenhang mit der Wasserführung im übrigen Wattengebiet.

#### 6. Die Sandwanderung

Die Bewegung des Sandes wurde mit Hilfe der Verteilung von Muschelschalen auf dem Meeresgrund verfolgt (Abb. 8). Da auf See und im Watt verschiedene Muschelarten leben, ihre Schalen und deren Bruchstücke auch in lebensfremden Gebieten gefunden wurden, müssen diese durch Strömung und Brandung verfrachtet worden sein. Es ist anzunehmen, daß ähnliche Wege wie die Schalen auch der Sand zurücklegt. Die Verteilung der Muschelschalen ist von Dr. KRAUSE (5) im Auftrag der Forschungsstelle eingehend untersucht worden. Es zeigt sich, daß im Spanier Gat und Schluchter im wesentlichen Seesand eingespült wird. Ebenso sind die westlichen Riffe, Branderplate, Hohes Riff, Robbenplate und Nordwestgründe aus Seematerial aufgebaut. An der Westseite der Rinne des Busetiefs und Seegats wird überwiegend Seematerial nach Norden transportiert.

Der Sandstrom aus dem Spanier Gat kreuzt das Busetief bei der Barre zwischen ihm und der Seegatrinne und dringt noch tief an der Westseite der Legde ein.

Das Wattmaterial wird an der Ostseite des Busetiefs, der Legde und der Seegatrinne nach Norden und zum Dovetief hinaus verfrachtet.

In dieser Sandwanderungsrichtung ist auch die Beständigkeit der Barre zwischen Busetief und Seegatrinne begründet. Der Ebbstrom ist nicht in der Lage, die Barre so stark abzutragen, daß nicht bei Flut der Sandverlust immer wieder ausgeglichen wird. Dieses zeigen auch die Peilungen. In Zeiten mit erhöhten Wasserständen, wenn die Ebbeströmungen wegen des höheren Wasserstandes relativ klein sind, wird die Barre erhöht, während bei dauernden niedrigen Wasserständen, z. B. bei Ostwindlagen, die Barre abgetragen wird, weil der Flutstrom und damit die Sandwanderung infolge der geringen Aufnahme des Norderneyer Wattes schwächer sind.

#### 7. Die Schlechtwetterlage

Die bisher dargestellten Gefälle- und Strömungsverhältnisse treten bei Schönwetterlage auf, d. h. bei Winden beliebiger Richtung bis Stärke 3 Beaufort. Bei Schlechtwetterlage, d. h. bei Winden westlicher Richtung mit Windstärke 4 und mehr beginnen die Strömungen vollständig anders zu verlaufen.

Schaufelrad-Strommessungen zeigen, daß bei Westwind von Stärke 8 und mehr im Spanier Gat und in der Seegatrinne auch bei Flut trotz steigenden Wasserstandes im Watt eine starke Strömung in Richtung von Süd nach Nord auftritt (Abb. 9). Eine Füllung des Norderneyer Wattes bei Flut findet also bei einer derartigen Windlage nicht mehr durch das Norderneyer Seegat statt, sondern das Watt muß von hinten über das Juister Watt gefüllt werden. Unter dem Einfluß des Windes wird das Wasser von der Oster-Ems über die Watscheide des Juister Wattes vertrifft. Infolge des trichterförmigen Raumes des Juister Wattes zwischen der östlich sich erstreckenden Insel Juist und der nord-östlich verlaufenden Festlandsküste wird das Wasser in Höhe des Norderneyer Seegats so hoch angestaut, daß der Wasserspiegel höher ist als der auf See und sich somit ein Ausströmen aus dem Seegat bei Flut ergibt.

#### 8. Das Kräfteverhältnis im Norderneyer Seegat

Das Norderneyer Seegat in seiner heutigen Gestalt ist verhältnismäßig jung. Es konnte sich erst nach der restlosen Zerstörung der Insel Buisse um das Jahr 1820 ausbilden. Erst zu diesem Zeitpunkt hat sich das Busetief, das um 1600 noch etwa 6 km weiter westlich gelegen hatte, hinter das Norder Tief geschoben, wodurch es zu der Bildung des Norderneyer Seegats kam. Zu diesem Zeitpunkt begannen erst die starken Abbrüche der Insel Norderney. Der Weststrand nahm in der Zeit von 1820 bis 1857, dem Beginn des Baues der Strandschutzwerke, um 50 m, der Nordweststrand um 400 m ab. Durch den Bau der Strandschutzwerke, der Strandschutzmauer und der Bühnen wurde die weitere Ostwärtsverlagerung des Norder-

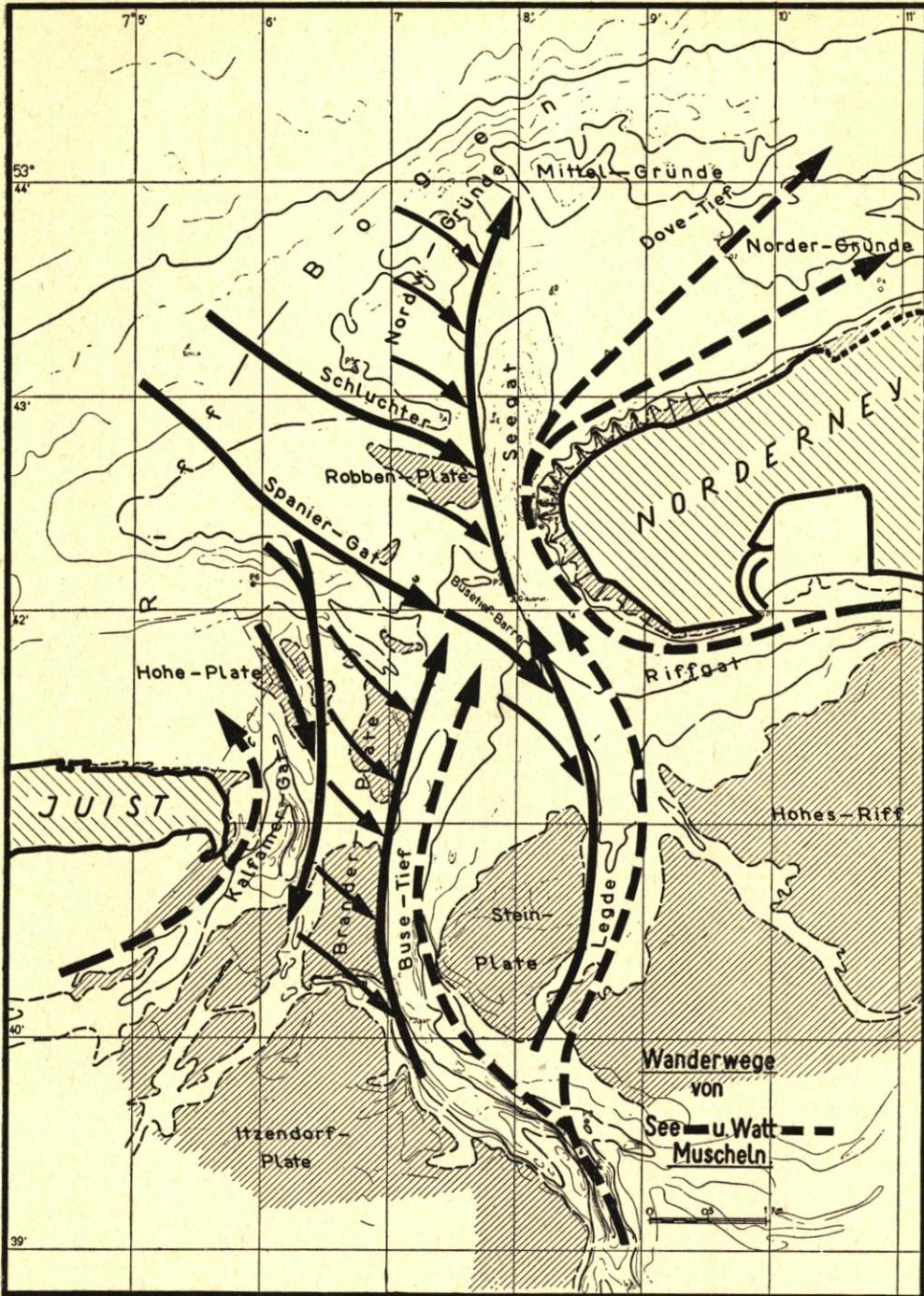


Abb. 8. Wanderwege von See- und Wattmuscheln im Norderneyer Seegat



neyer Seegats verhindert. Die natürliche Tendenz der Verlagerung bestand aber weiterhin. Unter ihrer Wirkung schnitt sich die Seegatrinne immer tiefer in den Untergrund ein und erreichte 1898 ihre größte Tiefe von über 28 m vor der Westspitze von Norderney.

Wie bereits oben beschrieben, war es durch die Buhnen gelungen, den Inselsockel von Norderney zu erhalten, durch die Strandschutzmauer wurde die Dünenkette geschützt. Es gelang aber nicht, den Strand selbst zu erhalten. Er blieb weiterhin im Abbruch.

Die durch den Untergang der Insel Buise hervorgerufene Sonderstellung Norderneys in der gestaffelten Lage der ostfriesischen Inseln (Südstrand von Norderney 600 m nördlicher als der Nordstrand von Juist) muß als ein wesentlicher Grund der Abbruchserscheinungen von Norderney angesehen werden, im Gegensatz z. B. zu der Lage von Langeoog, bei der die Akumer Ede und damit der Flutstrom in Nordsüdrichtung verläuft, während der Flutstrom im Norderneyer Seegat von Westen nach Osten in das Norderneyer Watt eindringen kann.

Die in Westostrichtung vor der Inselkette vorbeilaufende Gezeitenwelle wird in dem Winkel zwischen Juist und der Robbenplate vor den Riffen gestaut und das Wasser über die flachen Rinnen und Sände in das Norderneyer Watt gedrückt. Der Druck kommt in dem starken Gefälle, den hohen Stromgeschwindigkeiten und dem hohen Anteil des Spanier Gats an den Gesamtwassermengen während der ersten Tidestiegphasen zum Ausdruck. Mit dem allmählichen Fortschreiten der Gezeitenwelle werden die nördlichen Riffe stärker überströmt, so daß die Belastung der Seegatrinne allmählich steigt. Doch bleibt der Anteil des Spanier Gats während der ganzen Flutdauer immer noch hoch.

Flutstrom und Brandung bringen von See den Sand heran. Während der Strom den Sand nur zu unterseeischen Riffen aufhäufen kann, wird der Sand von der Brandung zu hohen Platen aufgeworfen. Die eigentliche Riff- bzw. Platenbildung geht also nicht auf die Wirkung des Stromes, sondern auf die der Brandung zurück. Sie baut den Riffbogen entgegen der einblendenden Wirkung der Tideströmungen immer wieder auf. Die Brandungsenergie wird gewissermaßen in den hohen Sandplatten wie in einem Akkumulator aufgespeichert. Die Aufhöhung der Riffe verändert dann rückwirkend wieder den Stromverlauf je nach dem Ausmaß der durch die Brandung aufgeworfenen und gegen die Stromrinnen bewegten Sandmengen. Die Brandungsenergie teilt sich also mittelbar durch die Bewegung des Sandes mit, so daß man auch geneigt sein kann, von einem Sanddruck (wenn auch nur mittelbar) zu sprechen.

Die ständige Sandzufuhr mit dem Flutstrom baut die Brander-, Hohe- und Robbenplate auf. Sie hält aber auch die Barre zwischen Busetief und Seegat gegen den Angriff des Ebbstromes auf Höhe und verstärkt die östlich vom Busetief gelegene Steinplate. Diese hat dadurch das Bestreben, unter der von Norden kommenden Sandzufuhr nach Westen zu wandern.

Der Druck der Branderplate bei Flut nach Osten und der der Steinplate nach Westen engen das Busetief ein, das sich infolgedessen in die Tiefe entwickelt. Die Platen werden an ihren Steilkanten, besonders bei Ebbe, naturgemäß von dem starken Strom wieder angegriffen. Die Steilkanten müssen also bei Flut in die Rinne vorwandern, bei Ebbe wieder abgetragen werden. Derartige Pendelbewegungen sind 1933 von WALTHER für die Robbenplate durch Peilungen nachgewiesen worden. Sie haben während einer Tide etwa 10 cm betragen.

Die gleichen Erscheinungen wie im Busetief treten in der Seegatrinne zwischen der Robbenplate und der Insel Norderney auf. Die Robbenplate hat die Tendenz, unter dem Sanddruck nach Osten zu wandern, während die Ostseite der Rinne durch die Strandschutzwerke von Norderney festgehalten wird. Die Rinne hat sich daher bis zu einer Tiefe von 28 m durch den Geschiebemergel hindurch eingeschnitten.

Da die Füllung des Norderneyer Watts von See aus von Westen her erfolgt, ist das Seebecken zwischen dem Nordweststrand und den nördlich davor gelegenen Riffen strömungsarm. Das Gebiet hat an der Wasserzufuhr zum Norderneyer Watt nur geringen Anteil. Bei Flut ist die Wassergeschwindigkeit über die nördlichen Riffe daher gering. Infolgedessen findet auch bei Flut keine Sandzufuhr zum Nordweststrand statt.

Bei Ebbe fließt das Wasser aus dem Norderneyer Watt entsprechend dem Gefälle durch das Spanier Gat während der ersten 2/12 Tidephasen nach Westen ab. Dann wirkt sich aber

die Morphologie im Seegat entscheidend aus. Ein Ausströmen der Ebbwassermassen entsprechend dem Hauptgefälle tritt nicht mehr auf.

Die aus dem südlichen Norderneyer Watt im Einzugsgebiet des Busetiefs abfließenden Wassermassen werden vor der Engstelle zwischen Brander- und Steinplate gestaut. Bei der Durchströmung der Engstelle erhält das Wasser eine derartige Strömungsenergie, daß es in der Lage ist, den von Westen her kommenden Sanddruck der Branderplate auch nördlich der Engstelle zu überwinden. Die Engstelle wirkt somit wie eine „Stromdüse“, die austretenden Wassermassen wie ein „freier Strahl“. Nach dem Austritt aus der Düse breiten sich die Wassermassen aus. Die Strömungsenergie wird kleiner, so daß der Sanddruck wieder Übergewicht gewinnt. Das ist auf der Barre zwischen dem Busetief und dem Seegat der Fall.

Gleiche Verhältnisse treten in der Seegatrinne auf. Die Düse wird hier zwischen der Robbenplate und der Insel Norderney gebildet. Die Rinne stellt die Ausblasungsrinne dar. Erst bei den Nordwestgründen hat der freie Strahl seine Energie verloren, so daß der Sanddruck durchdringen kann. Es kommt so zur Ausbildung des Riffbogens.

Im Gebiet des Norderneyer Seegats haben wir es also mit zwei hintereinander gestaffelten Seegaten zu tun. Einmal mit dem Busetief mit der Stromrinne zwischen Brander- und Steinplate und dem Riffbogen: Hohe Plate, Busetiefbarre und Steinplate, die zugleich als Riffanlandungspunkt aufgefaßt werden kann, zum anderen mit der Seegatrinne mit ihrer Stromdüse zwischen Robbenplate und Westspitze Norderneys, dem Riffbogen Nordwest-, Mittel- und Nordergründe und dem Riffanlandungspunkt etwa 5 km östlich der Westspitze von Norderney bei der Weißen Düne. Daß der Riffbogen des Busetiefs viel stärker gekrümmt ist als der langgestreckte des Seegats ist darin begründet, daß der Flutstrom aus der Seegatrinne in die Legde vergleichsweise viel stärker ist als der über die nördlichen Riffe des Seegats.

Der Nordweststrand erhält auch bei Ebbe keine Sandzufuhr. Die Riffe legen sich wie ein Wehr vor die aus der Seegatrinne ausströmenden Wassermassen, die dort gestaut werden. Das Gefälle konzentriert sich auf den Riffen, so daß in dem Becken vor dem Nordweststrand die Wassergeschwindigkeiten und infolgedessen auch die Sandbewegungen gering sind. Die aus der Düse der Rinne herausgeblasenen Sandmengen werden entsprechend der Strömungsenergie des freien Strahls nach Norden verfrachtet und auf den Nordwestgründen abgelagert.

Nach den Gefällskarten versucht die Ebbe, das Wasser aus dem Norderneyer Watt nach Westen abzusaugen. Diesem Gefälle folgt das Wasser aber nur während der ersten 2/12 Tidephasen. Dann wird das Riff am Ostende des Spanier Gats so hoch, daß es ebenfalls wie ein Wehr wirkt. Das aus der Stromdüse des Busetiefs ausströmende Wasser fließt an diesem Längswehr entlang und sucht sich den Weg über die Busetiefbarre. Die Sandzufuhr bei Flut ist so groß, daß die Spaniergatbarre trotz der großen Wassergeschwindigkeiten bei Ebbe nicht wesentlich abgetragen werden kann, zumal die auch bei Ebbe herrschende Brandung dem Strom entgegenarbeitet. Während der letzten vier Stunden fließt praktisch überhaupt kein Wasser mehr durch das Spanier Gat ab.

Gleiche Verhältnisse haben sich auch in der Wechselbeziehung zwischen Seegatrinne und Schluchter ausgebildet.

Bei Schlechtwetterlage sind die Strömungsverhältnisse im Norderneyer Seegat grundsätzlich anders. Die Schlechtwetterlage mit westlichen Winden über Windstärke 3 Beaufort tritt nach dem Winddruck ( $mv^2$ ) im fünfzehnjährigen Mittel zu 70 v. H. im Jahr auf, während die Schönwetterlage nur zu 10 v. H. und die Ostwindwetterlage zu 20 v. H. vorhanden ist.

Infolge der Wasserverfrachtung über das Juister Watt werden die Flutströme weitgehend geschwächt, und die Stromdüsenwirkung tritt verstärkt in Erscheinung. Zugleich aber mit der Wasserverfrachtung über das Juister Watt tritt auf See eine gleichartige Wasserverfrachtung auf, wie sie auch WENDICKE (6) bereits nachgewiesen hat. Die auf See laufende Wasserverfrachtung drückt die aus dem Seegat ausfließenden Wassermengen verstärkt an Norderney heran. Der aus den Stromdüsen ausgetriebene Sand wird aber nicht von der Westost laufenden Triftströmung beeinflusst, da diese nur oberflächlich verläuft und der Sandtransport in den Tiefen stattfindet. Die Seeverfrachtung kommt somit als sandarmer Strom an den Nordweststrand von Norderney und wird von der nordöstlich verlaufenden Küstenlinie nach Norden abgelenkt.

Es entwickeln sich somit vor dem Nordweststrand erhebliche Wassergeschwindigkeiten, die Werte von über 2 m/sec. annehmen können. Hierdurch wird der Strandabbruch trotz der Buhnen, die bei den bei Westwindlage herrschenden höheren Wasserständen überströmt werden, wesentlich beschleunigt. In der Seevertreibung ist daher auch die wesentliche Ursache des starken Strandverlustes des Nordweststrandes von 400 m in den Jahren 1820 bis 1860 zu suchen. Die Seevertreibung wirkt sich auch als eine Ostwärtsverschiebung des Riffanlandungspunktes aus.

Bei Ostwindwetterlage herrscht im allgemeinen ein verhältnismäßig niedriger Wasserstand. Die auch dann auftretende, aber nach Westen gerichtete Wasservertriftung wird von den nördlichen Rifven von dem Nordweststrand abgelenkt, so daß eine wesentliche Sandzufuhr auch bei Ostwindwetterlage nicht stattfindet. Der Strand erhöht sich zwar bei Ostwindwetterlage, doch ist die Strandzunahme wahrscheinlich nur aus dem Vorrat des Riffanlandungspunktes und wegen der verhältnismäßig selten auftretenden Wetterlage so gering, daß sie den Strandabbruch bei Westwindwetterlage nicht ausgleichen kann.

### C. Die Beurteilung der wesentlichen seebautechnischen Maßnahmen zum Schutze der Insel Norderney

#### 1. Der Damm K 4

Der Damm K 4 (Abb. 10) war das Ergebnis des Modellversuches. Da jedoch in dem Modellversuch die entscheidenden Kräfte: Wind, Seegang, Brandung, Sandwanderung und Vertriftung nicht dargestellt worden sind — praktisch auch nicht dargestellt werden konnten —, kann der Modellversuch nicht zur vollgültigen Beurteilung der Strandschutzwerke von Nor-

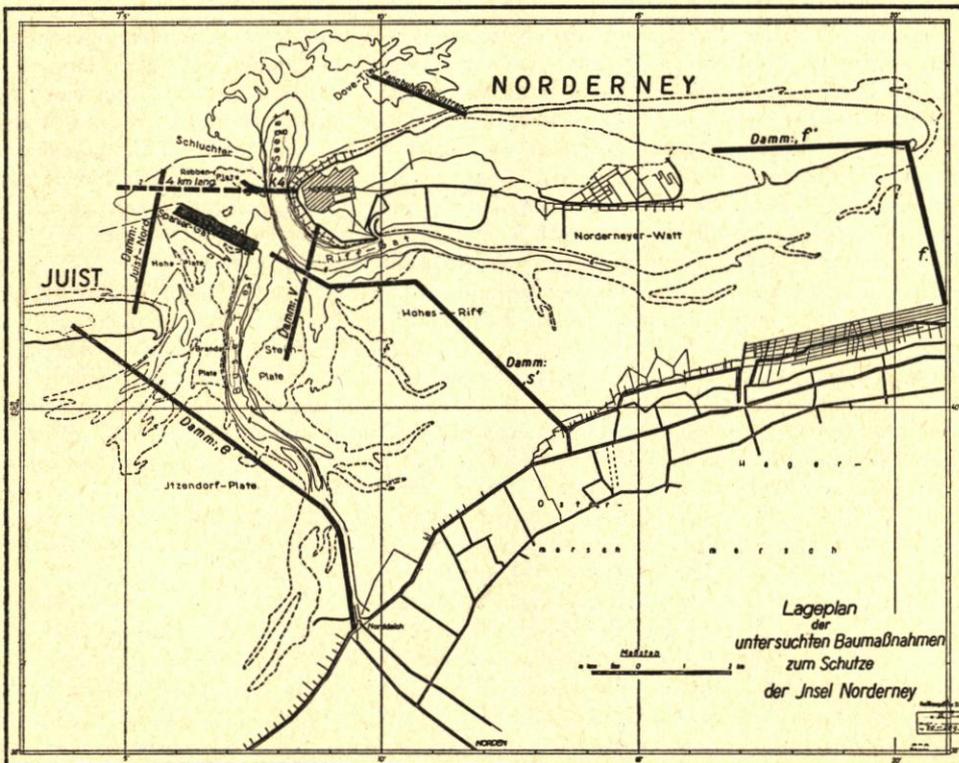


Abb. 10. Lageplan der untersuchten Baumaßnahmen zum Schutze der Insel Norderney

derney angesehen werden. In dem Modell hätten sich die Strömungen nach dem Gefälle einstellen müssen. Die Anzeichen dafür machten sich in der Drehung der Strömung im Norderneyer Seegat um 30 Grad nach Westen bemerkbar. Diese Drehung wurde seinerzeit auf die zu nahe liegende nördliche Begrenzung des Modells zurückgeführt. Die volle Entwicklung der Rinnen nach dem Gefälle war aber nicht möglich, weil das Modell im wesentlichen eine Betonsole hatte und die Wasserbewegung durch die tiefen Rinnen weitgehend vorgezeichnet war.

Der Damm K 4 sollte sich von der Westspitze von Norderney nach Westen in einer Länge von 1400 m erstrecken. Wenn man annimmt, daß es gelingen würde, den Damm K 4 in kurzer Zeit herzustellen, so würde das Wasser zu Anfang den ihm zwangsweise vorgezeichneten Weg nach Westen nehmen. Auf Grund der hydrologischen Verhältnisse im Seegat würde sich aber vor dem Dammkopf in entsprechendem Abstand eine neue Robbenplate bilden, und die Rinne würde nach Norden abgelenkt werden. Infolgedessen tritt zwischen dem Dammkopf und der neuen Robbenplate wieder die Stromdüse und die nach Norden laufende Ausblasungsrinne auf. Es ergeben sich somit im Endeffekt dieselben Verhältnisse vor dem Damm K 4 wie heute im Norderneyer Seegat, nur daß sie um Dammlänge nach Westen verschoben werden. Es ist somit durch den Damm K 4 kein Erfolg für die dauernde natürliche Strandzufuhr zu der Insel Norderney zu erwarten.

## 2. Der Damm Juist—Festland

Die weitgespannte Lage des großen Riffbogens um Norderney hängt von der Strömungsenergie der aus dem Norderneyer Watt ausfließenden Wassermengen ab. Wenn diese Wassermengen wesentlich verkleinert werden, so ist zu erwarten, daß der Riffbogen sich näher an die Insel Norderney heranlagert. Bei einer vollständigen Verlandung des Norderneyer Wattes würde der Sand von der Insel Juist unmittelbar zum Westende der Insel Norderney durchwandern.

Um eine derartige Verlandung des Norderneyer Wattes bzw. eine Verringerung der Wasserführung im Norderneyer Seegat einzuleiten, wurde vorgeschlagen, einen Damm zwischen dem Ostende von Juist und dem Festlandshafen Norddeich zu bauen. Bei einer derartigen Lage des Dammes östlich der Wattwasserscheide des Juister Wattes würde die Wasserführung im Norderneyer Seegat erheblich verringert werden. Es würde auch gelingen, im Schutze dieses Dammes größere Landgewinnungswerke zu bauen und somit das Norderneyer Watt im Laufe längerer Zeit zu verlanden. Durch einen derartigen Damm würden die ungünstigen Kräfte im Norderneyer Seegat weitgehend verringert werden, so daß im Laufe längerer Zeit die Westspitze von Norderney Sandzufuhr erhalten muß.

Gegen diesen Damm sprechen aber heutzutage noch wesentliche Gesichtspunkte. Abgesehen von der sehr schwierigen technischen Durchführung und den hohen Kosten stellt dieser Damm einen derartigen Eingriff in die Natur dar, daß es heute noch nicht möglich ist, alle Wirkungen restlos und sicher zu beurteilen. Mit Sicherheit würde sich westlich des Dammes infolge der Wasservertriftungswirkung ein sehr hoher Wasserstau ergeben. Weiterhin wird der Schiffsverkehr vollkommen unterbunden. Es ist nicht möglich, in dem Damm Schiffahrtsöffnungen freizulassen, da durch diese die Wirkung des Dammes wieder weitgehend aufgehoben würde. Schleusen würden sehr schnell versanden. Durch die Verlandung östlich des Dammes im Norderneyer Watt würde der Hafen Norddeich verschlickt, und der Schiffsverkehr von Norddeich nach Norderney, der heute unabhängig von der Tide durchgeführt werden kann, würde infolge Versandung des Busetiefs bald unterbunden werden.

Es würde daher notwendig sein, in nicht allzu langer Zeit nach dem Bau des Dammes Juist—Festland zur Versorgung der Insel Norderney einen weiteren Damm, und zwar zwischen Norderney und dem Festland, zu schaffen. Bei einer entsprechenden Lage dieses Dammes wie der des Dammes Juist—Festland würde besonders die Insel Baltrum, bei der gleiche Verhältnisse wie in Norderney vorliegen, geschützt werden. Weiterhin könnte von diesem Damm aus eine starke Landgewinnung im Norderneyer Watt betrieben werden, wodurch die Wasserführung im Norderneyer Seegat sehr schnell weiterhin verkleinert werden könnte.

Für die Wiedergewinnung des Strandes und des natürlichen Schutzes der Insel Norderney ist der Damm Juist—Festland das beste und wirksamste Mittel.

Wegen seiner weitgreifenden Wirkungen auf den Gebieten der Hydrographie und der Wirtschaft erfordert er aber seine sorgfältige Planung.

### 3. Der Damm Norderney—Steinplate

Die Ursache für die ungünstige Strandentwicklung von Norderney muß in der exponierten Lage der Insel gegenüber der wesentlich südlicheren Lage von Juist gesehen werden. Während im Norderneyer Seegat die Flut unmittelbar von Westen nach Osten in den östlichen Teil des Norderneyer Wattes einströmt, wird z. B. in der Akkumer Ehe infolge der starken Überlappung zwischen den Inseln Baltrum und Langeoog der Flutstrom sofort in die Nord-südrichtung umgebogen. Der Flutstrom muß daher auch die nördlichen Riffe in der Akkumer Ehe stärker überströmen und den Sand an die bisher durch keine Strandschutzwerke geschützte Insel Langeoog heranbringen. Weiterhin können die Ebbwassermassen aus dem großen östlichen Teil des Langeooger Wattes den ihm infolge der südlichen Lage der Rinne entgegenstehenden Sanddruck weitgehend überwinden, so daß sich in der Akkumer Ehe die tiefe Rinne auf der Westseite des Seegats ausbilden konnte.

Würde man einen ähnlichen Zustand auch im Norderneyer Seegat künstlich erzeugen durch den Bau eines Dammes von Norderney zur Steinplate, dann müßte das Riffgat um diesen Damm im Süden herumfließen. Es würde bei dem senkrechten Auftreffen auf die Branderplate deren Sanddruck überwinden können, und es besteht die Möglichkeit, daß sich dann bei Schönwetterlage eine ähnliche Morphologie im Norderneyer Seegat einstellt wie in der Akkumer Ehe. Da die Rinne etwa 3 km westlich von Norderney liegen würde, ist anzunehmen, daß auch der Nordweststrand infolge entsprechender Verlagerung des Riffgürtels Sandzufuhr erhält.

Jedoch bei Schlechtwetterlage wirkt ein derartiger Damm für die Wasservertriftung über das Juister Watt wie eine Schöpfbühne. Da die Schlechtwetterlage vorherrschend ist, besteht die Gefahr, daß sich unter der Wirkung der Wasservertriftung die Rinne an diesen Damm heranlegt und somit an dem jetzigen Zustand des Norderneyer Seegats nichts wesentliches geändert wird. Für die Akkumer Ehe wirkt sich die Wasservertriftung bei weitem nicht so aus wie für Norderney, da das Baltrum-Langeooger Watt im Gegensatz zum Juister Watt nach Osten geöffnet ist und somit auch bei Schlechtwetterlage bei Flut ein ständiger Einstrom in das Watt vorhanden ist.

Wegen dieser Unsicherheit ist von dem Bau des Dammes Norderney—Steinplate als einzigem Bauwerk abgeraten worden, doch würde er im Zusammenhang mit dem Damm Juist—Festland dessen günstige Auswirkungen für Norderney beschleunigen und verbessern.

### 4. Der Damm Juist-Nord

Um den Sprung zwischen Juist und Norderney zu decken, besteht die Möglichkeit, einen Damm am Ostende von Juist nach Norden zu bauen. Durch diesen Damm würde die Sandeintreibung durch das Spanier Gat unterbunden werden. Das Busetief könnte den Sanddruck der Branderplate überwinden und nach Nordwesten durchstoßen, das Riffgat würde keinen Widerstand an der Busetiefbarre mehr erhalten und ebenfalls nach Vereinigung mit dem Busetief nach Nordwesten ausströmen.

Der Bau eines derartigen Dammes ist aber technisch kaum durchführbar, da es sich um ein sehr bewegliches, flaches, unter schwerstem Brandungsangriff stehendes Gebiet handelt.

### 5. Verlängerung der Insel Norderney um 4 km nach Westen

Um die Seegatrinne weiter nach Westen zu drücken und somit den Riffanlandungspunkt nach Westen zu ziehen, besteht die Möglichkeit, einen Damm von der Westspitze von Norderney in 4 km Länge zu bauen, während der Damm K 4 nur 1,4 km Länge erhalten sollte. Damit würde die gesamte Seegatentwicklung sich um die gleiche Länge nach Westen

verschieben, und der Rifflandungspunkt würde im Laufe längerer Zeit bis zum Westende von Norderney vorwandern.

Infolge der sehr schwierigen technischen Durchführung — es handelt sich um ein Gebiet schwersten Brandungsangriffes mit leicht beweglichen tiefgründigen Sänden — würden die Bau- und Unterhaltungskosten eines solchen Dammes derartig hoch werden, daß von einer Durchführung der Baumaßnahmen Abstand genommen werden muß.

#### D. Zusammenfassung

Die Untersuchungen der Forschungsstelle Norderney im Jahre 1949 haben ergeben, daß die Insel Norderney zwar durch die Strandschutzwerke gehalten werden kann, daß aber der West- und Nordweststrand infolge fehlender natürlicher Sandzufuhr von der Brandung abgebaut werden. Der Sandmangel ist die Folge der starken vom Watt her wirkenden Ebbströme, die bei der zu rund 70 v. H. herrschenden Schlechtwetterlage noch wesentlich durch die windvertrifteten Wassermengen über das Juister Watt verstärkt werden, und die entgegen den natürlichen hydrographischen Kräften von dem von See her wirkenden „Sanddruck“, den vom Flutstrom und Brandung aufgebauten und nach Osten bewegten Rifflen, gegen die Insel gedrängt werden. Letzten Endes ist die Ursache für die ungünstige Strandentwicklung die gestaffelte Lage von Norderney gegenüber der Insel Juist nach dem Untergang der Insel Buise, so daß zwei Seegaten auf die Insel Norderney einwirken.

Da von den verschiedenen Möglichkeiten der Wiedergewinnung eines natürlichen Strandes am Westende von Norderney, nämlich Beeinflussung der seewärtigen Kräfte, Umlenkung der Kräfteverhältnisse im Seegat selbst und Verringerung der Ebbeströmungen mit Unterbindung der Wasservertriftung nur der letztere sicheren Erfolg mit vertretbaren Mitteln verspricht, wurde vorgeschlagen, den Bau des Dammes Juist zum Festland zur Ausführung vorzusehen. Seine großen Auswirkungen im ganzen Küstenbereich machen jedoch eine sehr sorgfältige Planung und eine weitere eingehende Untersuchung erforderlich. Bis zu seiner Erstellung und günstigen Auswirkung müssen die Strandschutzwerke weitgehend erweitert und dem wachsenden Angriff durch die See entsprechend ausgebaut und unterhalten werden.

#### E. Schriftenverzeichnis

1. GAYE, Julius: Entwicklung und Erhaltung der ostfriesischen Inseln. Zentralbl. d. Bauverw. H. 22, Berlin 1934.
2. GAYE, Julius und WALTHER, Friedrich: Die Wanderung der Sandriffe vor den ostfriesischen Inseln. Bautechnik H. 41, Berlin 1935.
3. WALTHER, Friedrich: Die Gezeiten und Meeresströmungen im Norderneyer Seegat. Bautechnik H. 13, Berlin 1934.
4. WALTHER, Friedrich: Grundlagen für die Entwicklung der Meeresströmungen in den Seegaten und Wattengebieten der ostfriesischen Küste. Wasserwirtschaft H. 1 und 2, Stuttgart 1949.
5. KRAUSE, Heinrich R.: Quantitative Schilluntersuchungen im See- und Wattengebiet von Norderney und Juist und ihre Verwendung zur Klärung hydrographischer Fragen. Archiv f. Molluskenkunde d. Senkenb. Naturforsch. Ges. Bd. 79, H. 4/6, 1950.
6. WENDICKE, Fr.: Die hydrographischen Ergebnisse aus hydrographischen und biologischen Untersuchungen auf den deutschen Feuerschiffen der Nordsee 1910/11. Veröff. d. Instituts f. Meereskunde Berlin.
7. LINKE, Otto: Beiträge zur Geomorphologie der Flachküste. I. Das Norderneyer Seegat. 1949. Unveröffentlichtes Manuskript der Forschungsstelle Norderney.