

DIE BAUTECHNIK

13. Jahrgang

BERLIN, 24. September 1935

Heft 41



Abb. 1. Ansicht der verstärkten Strombrücke.

Alle Rechte vorbehalten.

Die Verstärkung der Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Worms.

Von Dipl.-Ing. A. Klocke und Ing. K. Jacoby, Mainz.

Einleitung.

Eine der größten Brückenverstärkungsarbeiten der Deutschen Reichsbahn ist die Verstärkung der Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Worms (Abb. 1).

Die links- und rechtsrheinischen Eisenbahnen der vom Odenwald und Pfälzer Bergland begrenzten mittelhheinischen Tiefebene (Abb. 2) besitzen bereits seit den Jahren 1862 bzw. 1868 feste Übergänge über den Rhein bei Mainz und Mannheim-Ludwigshafen. Im Jahre 1900 ist auf der rd. 60 km in der Luftlinie messenden Strecke zwischen diesen Städten noch die Wormser Brücke hinzugekommen.

Über das Bauwerk führt in erster Linie die zweigleisige Hauptbahnstrecke Frankfurt (Main)—Biblis—Worms, deren Fernverkehr sich in Darmstadt Worms teilt in die beiden Richtungen nach Kaiserslautern—Saarbrücken—

Metz und Ludwigshafen—Landau—Straßburg. Daneben dient die Brücke noch dem Verkehr der Strecken Bensheim—Worms und Weinheim— bzw. Mannheim—Lampertheim—Worms, die sich vor dem Rheinübergang mit der Strecke Biblis—Worms vereinigen.

Das rd. 950 m lange Bauwerk ist in den Jahren 1931 und 1932 verstärkt worden. Das Gesamtgewicht der eingebauten Verstärkungsteile, die zum größeren Teile aufgeteilt, zum kleineren aufgeschweißt worden sind, des stählernen Fahrbahnbelages und des neuen, durchgehend geschweißten Oberbaues beträgt rd. 1800 t. Da die vorhandene Brücke, der Verstärkungsentwurf und die Ausführung der Verstärkung während des Eisenbahnbetriebes bemerkenswerte Einzelheiten aufweisen, soll in folgendem eine kurze Beschreibung der gesamten Arbeiten gegeben werden.

I. Der alte Zustand.

A. Geschichtliches.

Die Bahnlinien Worms—Darmstadt und Worms—Bensheim (Abb. 3) sind im Jahre 1869, die Linie Worms—Lampertheim ist 1879 eröffnet worden. Den Übergang über den Rhein haben Trajekte vermittelt.

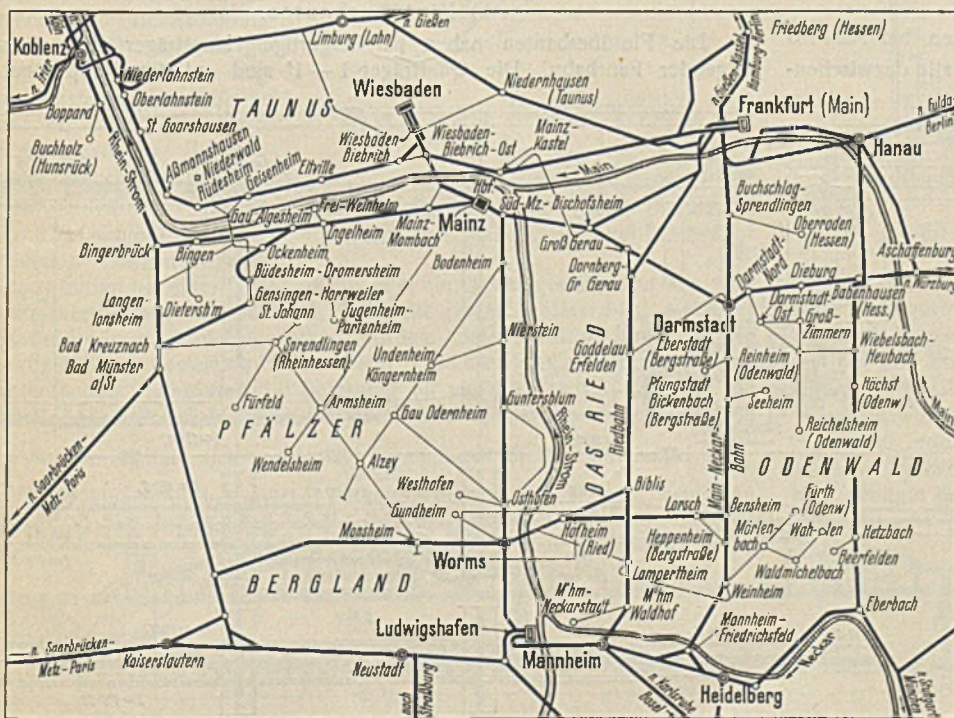


Abb. 2.

Streckenplan der mittelhheinischen Tiefebene.

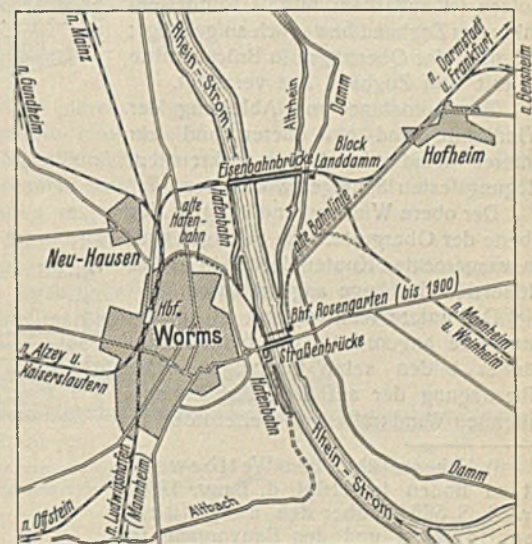


Abb. 3.

Übersichtsplan aus Meßtischblatt Hessen Nr. 70.

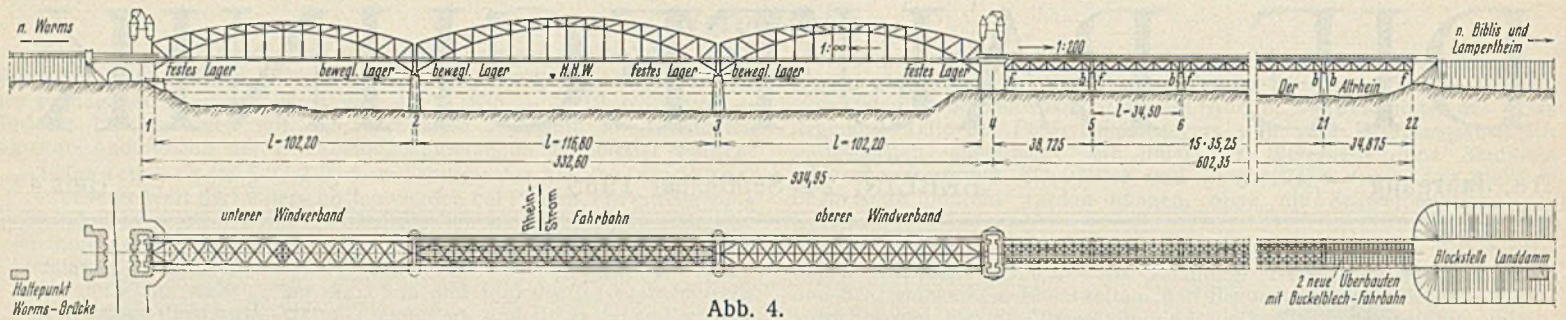


Abb. 4.

Ein Ersatz dieser Schiffsverbindung durch eine feste Brücke ist schon beim Entwurf der beiden erstgenannten Strecken von der damaligen Hess. Ludwigsbahngesellschaft ins Auge gefaßt, der Plan ist jedoch erst in den Jahren 1898 bis 1900 verwirklicht worden. Ein engerer Wettbewerb hat dem Entwurf der Gesellschaft Harkort in Duisburg den 1. Preis und den Auftrag zur Ausführung der Brücke¹⁾ gebracht.

B. Allgemeine Anordnung.

Der Brückenzug (Abb. 4) hat drei Stromöffnungen mit zweigleisigen Bogenfachwerküberbauten von 102,20, 116,80 und 102,20 m Stützweite, denen sich linksrheinisch eine 8,80 m im Lichten weite überwölbte Flutöffnung und rechtsrheinisch 17 Flutöffnungen mit je zwei eingleisigen Parallelfachwerküberbauten von 34,50 m Stützweite anschließen. Sämtliche Überbauten bestehen aus Flußeisen. Die Mitte des größeren Stromüberbaues fällt mit der Achse des korrigierten Strombettes zusammen. Strom- und Flutüberbauten sind durch breite Pfeiler mit Portal- und Turmaufbauten getrennt. Die Stromüberbauten liegen in der Waagerechten, die rechtsrheinischen Flutüberbauten im Gefälle 1:200.

C. Beschreibung der Überbauten.

a) Stromüberbauten.

Die Hauptträger der Stromüberbauten sind Fachwerkbogen mit Zugband. Das Zugband liegt in der Höhe der Fahrbahnträger und verbindet die den Endportalen benachbarten Knotenpunkte 1 und 1' des Bogenuntergurtes. Die Feldeinteilung ist bei Mittel- und Seitenöffnungen die gleiche; erstere ist in 16, die beiden letzteren sind in je 14 Felder von 7,30 m Länge unterteilt.

Die Fahrbahn ist nach dem von der Stahlbauanstalt erstmalig vorgeschlagenen System der „frei schwebenden Fahrbahn“ ausgeführt. Der besondere Vorteil dieser Anordnung beruht darin, daß die Spannungen und Verformungen der Hauptträger sich nicht auf die Fahrbahn übertragen können. Die durchlaufenden Längsträger sind in den Knotenpunkten 1 und 1' unterbrochen und auf Konsolen der Längsträger 0 — 1 und 0' — 1' längsbeweglich gelagert.

Von den Querträgern sind nur die beiden äußersten bei Punkt 0 und 1 bzw. 0' und 1' mit dem Haupttragwerk fest vernietet, alle dazwischen-

liegenden — von Knotenpunkt 2 bis 2' — sind durch Bolzen gelenkig an die Hängestangen angeschlossen (Abb. 5). An diesen Bolzen ist außerdem mittels Rundseisenanker das Zugband beweglich aufgehängt; lediglich der Querträger in Brückenmitte ist mit dem Zugband fest vernietet.

Zur Aufnahme und Ableitung der Windkräfte sind ein oberer und ein unterer Windverband aus gekreuzten, biegefesten Schrägen vorhanden.

Der obere Windverband liegt in der Ebene der Obergurte. Die Schrägen sind an waagerechten Knotenblechen in halber Höhe der Gurtstege angeschlossen.

Der untere Windverband ist in Zugbandhöhe angeordnet; die beiden Zugbänder bilden seine Gurtungen. Die Übertragung der auf die Fahrbahn entfallenden Windkräfte und Seitenstöße in

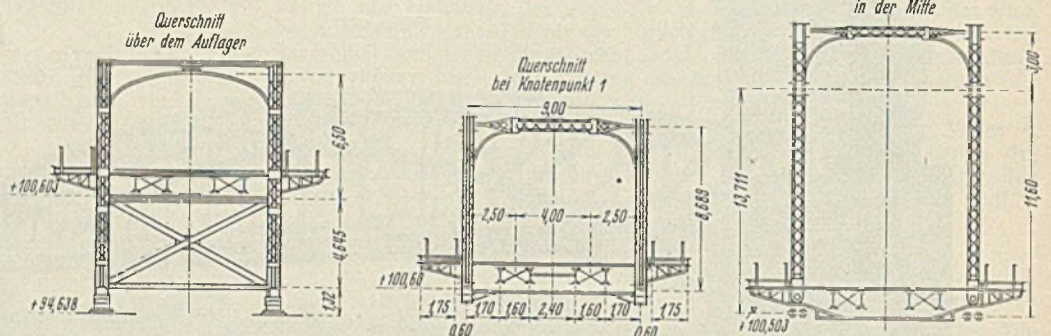


Abb. 4a.

Abb. 4. Übersichtsplan der Brücke.

den Verband geschieht bei den Querträgern 2 bis 2', mit Ausnahme des vernieteten in Überbaumitte, durch Berührungslager zwischen Querträger und Zugband.

Beiderseits des mittleren Querträgers ist in den unteren Windverband ein Bremsverband eingebaut. Die Bremskräfte werden durch den mittleren Querträger auf das Zugband übertragen — deshalb die oben erwähnte feste Vernietung mit dem Zugband — und durch dieses nach den festen Lagern geleitet.

Die beiden Windverbände finden ihre Auflagerung in den als steife Endrahmen ausgebildeten Portalen.

Damit bei einseitiger Belastung sich jeder Hauptträger unabhängig von dem gegenüberliegenden durchbiegen kann, sind, abgesehen von den vorerwähnten Endrahmen, keine Querverbände angebracht. Die im oberen Windverband als Posten vorhandenen Querriegel sind an die dünnen waagerechten Anschlußbleche des Verbandes mit Federung in senkrechter Richtung angeschlossen.

Die aus der Ebene der Hauptträger auf beiden Seiten vorkragenden Querträgerenden tragen je einen Fußweg für den öffentlichen Verkehr. Auf den äußeren Fußwegrandträgern läuft in jeder Öffnung ein Besichtigungswagen für die Fahrbahtafel und die Zugbänder. Für die Untersuchung der Fachwerkbogen sind an den Obergurten außen und innen, an den Untergurten nur auf der Innenseite Laufstege angebracht.

b) Flutüberbauten.

Die Flutüberbauten haben parallelgurtige Hauptträger mit oberliegender Fahrbahn. Die Querträger 1 — 1' sind auf den Hauptträger-

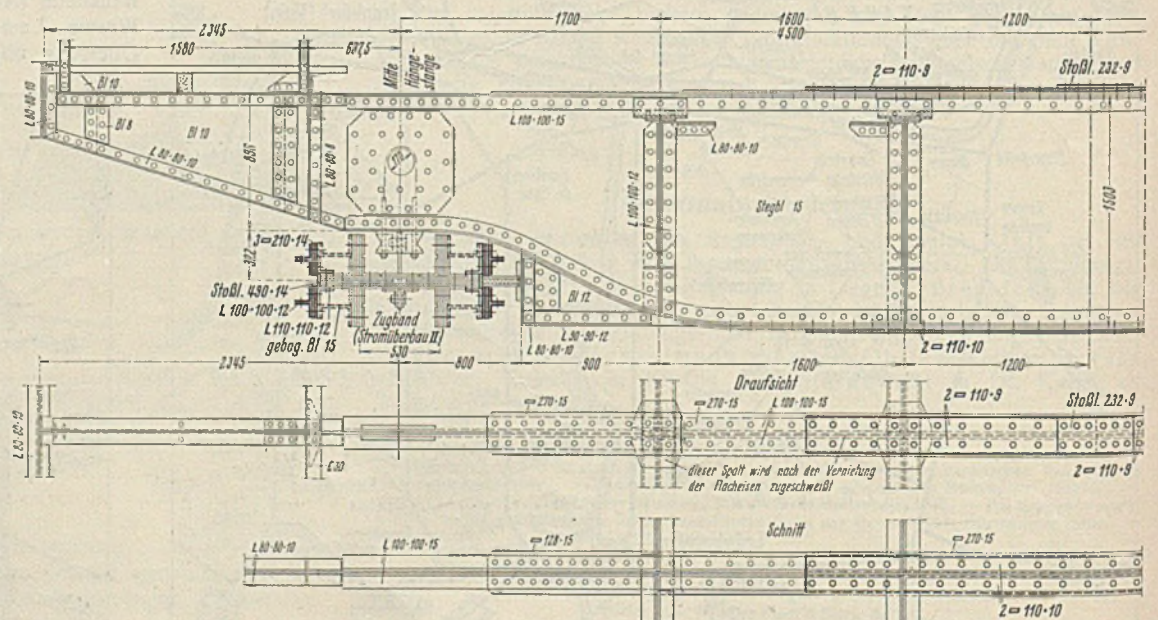


Abb. 5. Querträger und Zugband mit Verstärkung.

¹⁾ Näheres über den Wettbewerb ist zu finden in Ztrbl. d. Bauv. 1896, Nr. 33, S. 366 ff., über den ausgeführten Entwurf und den Bauvorgang in VDI 1900, Bd. 44, Nr. 48, S. 1629 ff.

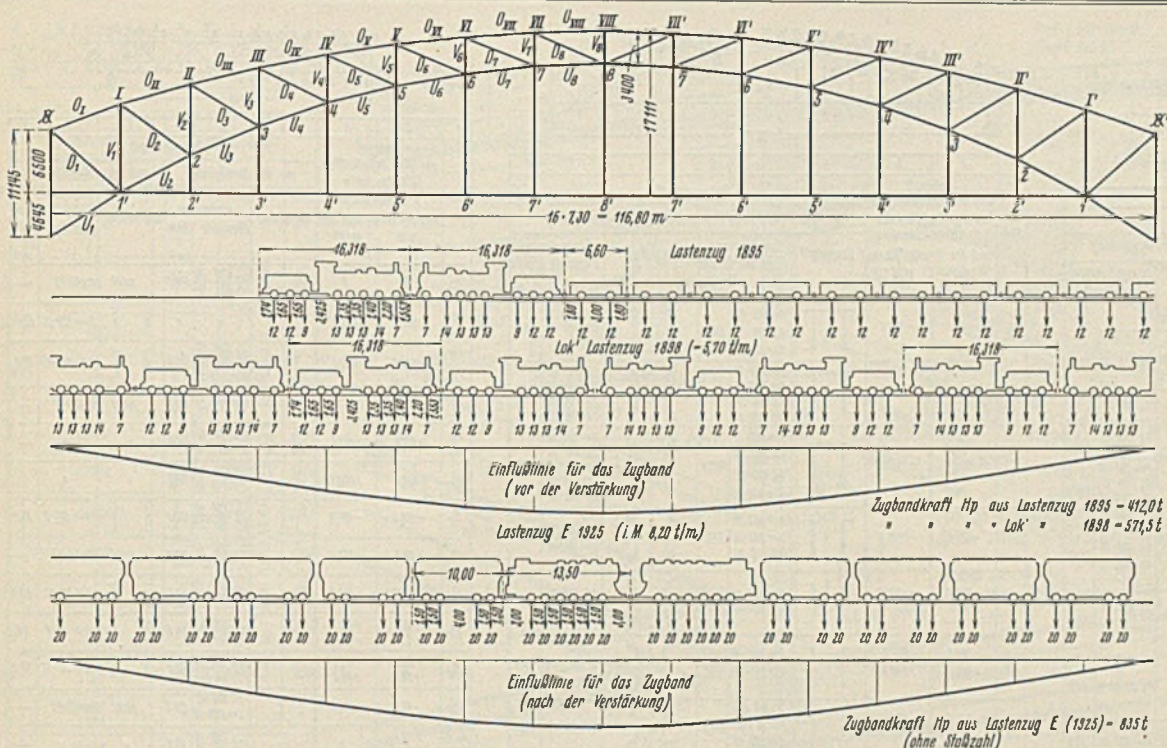


Abb. 6a. Anwachsen der Verkehrslasten von 1895 bis 1900.

obergurt gelagert, die Oberkante der Endquerträger liegt bündig mit der Oberkante der Hauptträgergurtung. Auf den Auskragungen der Querträger ist an der Außenseite jedes Überbaues der Fußweg angeordnet. Der Windverband liegt in der Ebene der Obergurte. Die Knotenpunkte der Untergurte sind durch senkrechte Verbände in Ebene der Pfosten aussteift.

II. Der Verstärkungsentwurf.

A. Grund der Verstärkung.

Bei der Erbauung der Brücke galten die „Vorschriften für die Berechnung der eisernen Brücken“ vom September 1895. Da jedoch damals schon eine Vergrößerung der maßgebenden Lasten zu erwarten war, ist der Berechnung der Hauptträger der Stromüberbauten nicht der in den Vorschriften festgelegte, sondern ein besonderer, nur aus Lokomotiven bestehender Belastungszug (Abb. 6a, b) zugrunde gelegt worden. Abb. 6a zeigt die Lastenzüge jeweils in der für das Zugband des Stromüberbaues II maßgebenden ungünstigsten Laststellung.

Die Lokomotivlastenzüge hatten bei einer Länge von 16,32 m ein Gesamtgewicht von 93 t. Die Belastung für ein Gleis betrug 5,70 t/m, die größte Achslast 14 t. Mit einer Stoßzahl ist noch nicht gerechnet worden. Bei dem für die Brücke heute maßgebenden Lastenzug E vom Jahre 1925 betragen für die in Frage kommenden Stützweiten die Belastung für ein Gleis $\approx 8,20$ t/m und die größte Achslast 20 t. Die seit der Erbauung der Brücke eingetretene Laststeigerung läßt sich somit ausdrücken durch die Verhältniszahl $\frac{8,20}{5,70} \approx 1,45$. Ungefähr das gleiche Verhältnis ergibt sich für die fraglichen

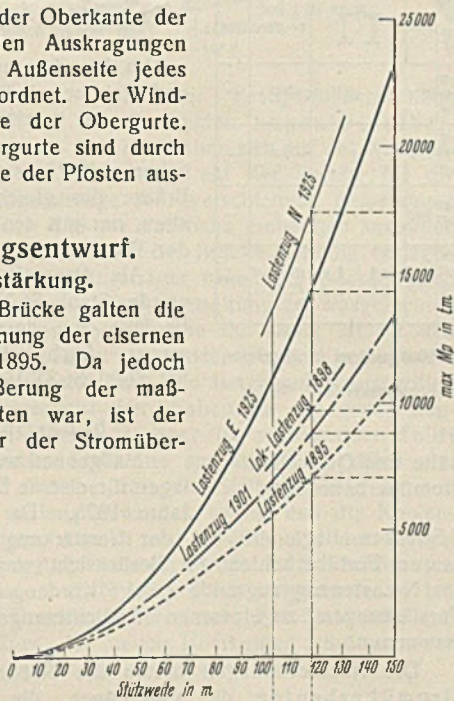


Abb. 6b. Schaubild der größten Biegemomente von Balken auf zwei Stützen.

eingebaut. Letztere werden nur an den schwächsten Stellen so weit verstärkt, daß sie in allen Teilen gleich stark ausgenutzt werden können. Die bestehenden Hauptträger übernehmen etwa 60%, die neuen etwa 40% der Verkehrslast. Als Aufstellengerüst dienen die vorhandenen Hauptträger.

Die Flutüberbauten werden nach Einbau von zwei neuen Überbauten aus St 48 nacheinander ausgebaut, verstärkt und wieder eingebaut.

b) Entwurf vom Jahre 1927 für Lastenzug G mit Schwerlastwagen auf einem Gleis (Abb. 8).

Bei den Stromüberbauten wird ein weiterer Druckgurt über dem vorhandenen Obergurt der Hauptträger eingebaut. Die Stäbe der Haupt-

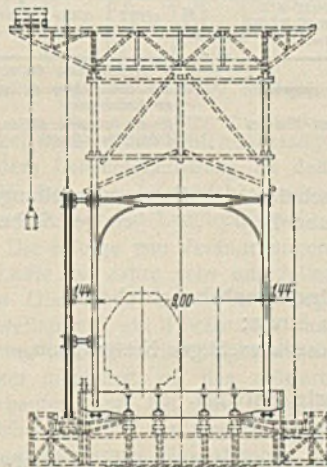


Abb. 7. Vorentwurf 1926.

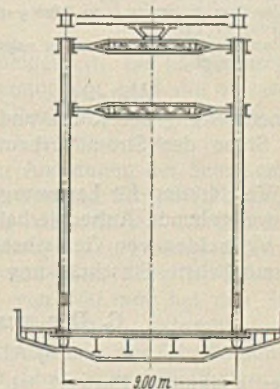


Abb. 8a. Vorentwurf 1927.

träger werden zum Teil durch aufgenietete Teile verstärkt. Der von dem Druckgurt ausgeübte Horizontalschub wird durch ein neues, gesprengtes Zugband aufgenommen, das durch die Hängestäbe geführt ist.

Bei den Flutüberbauten werden Verstärkungsteile auf die Stäbe der vorhandenen Überbauten aufgenietet.

c) Entwurf vom Jahre 1930 für Lastenzug E.

Strom- und Flutüberbauten werden während des Eisenbahnbetriebes durch Aufschweißen ergänzender Querschnittsteile verstärkt. Der Entwurf genügte den gestellten Bedingungen in folgenden wichtigen Punkten:

Lastenzüge und Stützweiten bei Vergleich der in Abb. 6b dargestellten Größtmomente von Balken auf zwei Stützen, sowie der im Belastungsbeispiel der Abb. 6a angegebenen Zugbandkräfte aus Verkehrslast ohne Stoßzahl.

Da die Brücke den gestiegenen Lasten nicht genügte, zudem für den Großgüterwagenverkehr hergerichtet werden sollte, hatte man seit langem eine durchgreifende Verstärkung ins Auge gefaßt, für die im Laufe der Jahre verschiedene Vorschläge ausgearbeitet worden sind.

B. Vorentwürfe.

Von den seit dem Jahre 1923 bearbeiteten Vorentwürfen, aus denen schließlich der endgültige Entwurf hervorgegangen ist, seien die folgenden kurz erwähnt:

a) Entwurf vom Jahre 1926 für Lastenzug N (Abb. 7).

Bei den Stromüberbauten werden zwei neue Hauptträger aus St 37 neben den vorhandenen

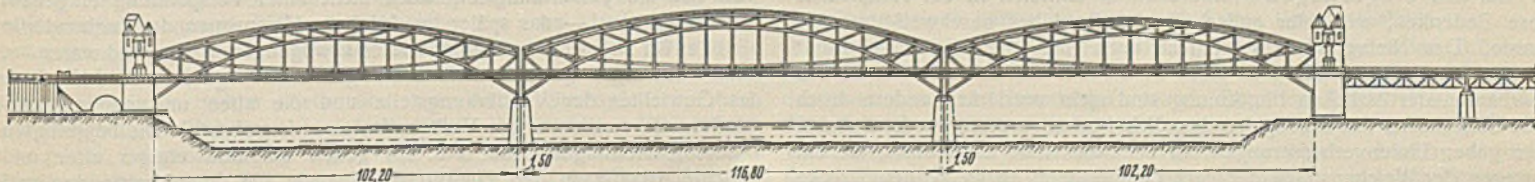


Abb. 8. Vorentwurf 1927.

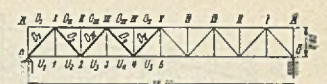
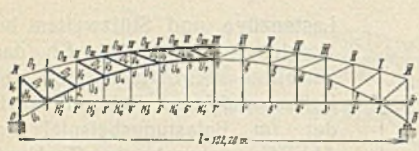


Table with 9 columns (Stab 1-9) and 4 rows (Stabkraft, Stabquerschnitt vor der Verstärkung, Stabquerschnitt nach der Verstärkung, hinzugekommene Fläche). Contains data for various truss members.

*) mit Lokomotivlastenzug 1888 nach Abb. 5a.
**) unter Berücksichtigung des Lastenzugs E, der Stoßzahl q=1,3 und des Eigengewichtes der Verstärkungsteile
***) für den Zugbündelstab sind die Stabkräfte aus den maßgebenden Haupt-Wind- und Zusatzkräften eingesetzt

Abb. 9a.

Zusammenstellung der Kräfte und Querschnitte einiger Stäbe der Stromüberbauten I und III.

- 1. Verstärkung für Lastenzug E;
2. weitgehende Aufrechterhaltung des Eisenbahnbetriebes;
3. Vermeiden von Gerüstbauten im Strom;
4. möglichste Einschränkung des Lösens wichtiger Nietgruppen.

C. Der ausgeführte Entwurf.

a) Allgemeines.

Der endgültige Entwurf ist aus dem zuletzt genannten Vorentwurf hervorgegangen. Von der weitgehenden Anwendung des elektrischen Lichtbogenschweißverfahrens ist bei den zweigleisigen Stromüberbauten jedoch zugunsten der Nietung abgesehen worden...

Bei den eingeleisigen Flutüberbauten entfielen in der Hauptsache diese Bedenken, weil hier außerhalb des Betriebes geschweißt werden konnte. Das Nietverfahren ist jedoch auch hier überall da angewandt worden, wo es wirtschaftlicher erschien als das Schweißen.

Table with 9 columns (Stab 1-9) and 3 rows (Stabkraft, Stabquerschnitt vor der Verstärkung, Stabquerschnitt nach der Verstärkung). Contains data for various truss members.

*) mit Lokomotivlastenzug 1888 nach Abb. 5a.
**) unter Berücksichtigung des Lastenzugs E, der Stoßzahl q=1,3 und des Eigengewichtes der Verstärkungsteile
***) für den Zugbündelstab sind die Stabkräfte aus den maßgebenden Haupt-Wind- und Zusatzkräften eingesetzt

Abb. 9b.

Zusammenstellung der Kräfte und Querschnitte einiger Stäbe des Stromüberbaues II.

E-Strecken liegt, ist bei der Verstärkung der E-Lastenzug, bei den neuen Flutüberbauten zur Berücksichtigung künftiger Laststeigerungen der N-Lastenzug zugrunde gelegt worden. Die im Anhang der BE für Verstärkungen zugelassenen Erleichterungen sind voll in Anspruch genommen.

Die Nachrechnungen hatten die Notwendigkeit ergeben, bei den Stromüberbauten die Querträger, die Gurtungen, Schrägen und Zugbänder der Hauptträger, einen Teil der Verbände und die Portale, bei den Flutüberbauten die Obergurte und Schrägen der Hauptträger zu verstärken.

Teile mit verhältnismäßig nur geringer Überbeanspruchung wurden nicht verstärkt. Ebenso konnte in den meisten Fällen gemäß BE, Anhang Ziff. 16, von einer Verstärkung der Verbände abgesehen werden...

Eine Entlastung der vorhandenen Bauglieder von der ständigen Last kam nicht in Frage, weil der Einbau von Abstützungsgerüsten oder Hilfsträgern aus technischen und wirtschaftlichen Gründen ausgeschlossen war. Da die Verstärkungsteile auch nicht unter Vorspannung eingebaut werden konnten...

Table with 9 columns (Stab 1-9) and 4 rows (Stabkraft, Stabquerschnitt vor der Verstärkung, Stabquerschnitt nach der Verstärkung, hinzugekommene Fläche). Contains data for various truss members.

*) unter Berücksichtigung des Lastenzugs E und der Stoßzahl q=1,42
**) maßgebend für die Bemessung ist jedoch die Stabkraft aus den Haupt-Wind- und Zusatzkräften: O2M = -224,4 t, O2N = -403,6 t

Abb. 10. Zusammenstellung der Stabkräfte und Stabquerschnitte des äußeren Hauptträgers der verstärkten Flutüberbauten.

haben mit Rücksicht auf das äußere Bild der Brücke das gleiche System erhalten wie die alten, nur mit den Abänderungen, die sich aus der Durchführung des Schotterbettes ergaben.

Als Baustoff für alle Verstärkungsteile wurde Stahl St 37 vorgesehen, da die alten Bauteile aus dem gleichen Stahl hergestellt waren. Auch bei den neuen Flutüberbauten hat Stahl St 37 Verwendung gefunden.

b) Festigkeitsberechnung.

Maßgebend waren die „Berechnungsgrundlagen für eiserne Eisenbahnbrücken (BE)“ vom Jahre 1925. Da die Brücke im Zuge von

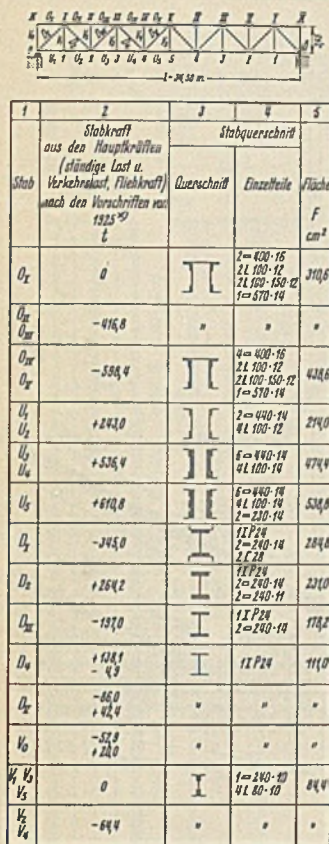


Abb. 11. Zusammenstellung der Stabkräfte und Stabquerschnitte der neuen Flutüberbauten.

In der Festigkeitsberechnung für die beiden neuen Flutüberbauten haben sich aus der Weichenanordnung auf der Brücke für die einzelnen Felder der Längsträgerstränge sehr verschiedene Belastungen und Trägerquerschnitte ergeben. Um die Fahrbahn einheitlich ausbilden und die Weiche zukünftig im Schotterbett der Brücke beliebig verlegen zu können, sind jedoch sämtliche Längsträger nach dem erforderlichen größten Querschnitt bemessen worden. Zur Überleitung der waagerechten Querkraften aus der oberliegenden Fahrbahn in die Lager ist an den Enden dieser Überbauten ein aus zwei gekreuzten Streben bestehender senkrechter Querverband angeordnet. Nach den Berechnungsvorschriften vom Jahre 1925 war der Querschnitt der Streben für die ganze Zug- und halbe Druckkraft zu bestimmen. Da aber im vorliegenden Falle, wegen der verhältnismäßig hohen Stabkräfte aus den Windkräften und aus den Fliehkraften von der Weiche her, die Stabanschlüsse in den Eck- und Kreuzungspunkten so lang geworden wären, daß die Knotenbleche sich fast berührt hätten, wurden mit Zustimmung der Hauptverwaltung die Endquerverbände, wie es auch in den für Straßenbrücken geltenden Berechnungsgrundlagen (DIN 1073 § 13) vorgeschrieben ist, nur für die halbe Zug- und Druckkraft berechnet. Die Stabkräfte und Stabquerschnitte der Hauptträger der neuen Überbauten sind aus der beigefügten Zusammenstellung (Abb. 11) zu ersehen.

c) Bauliche Einzelheiten des Entwurfs.

1. Stromüberbauten.

Der vorhandene Oberbau Form 16 mit Blattstoßschienen und gekuppelten Stoßschienen ist auf den Stromüberbauten durch Reichsoberbau K mit Schienen S 49 von 48,89 kg/m Gewicht ersetzt worden. Auf den Flutüberbauten, deren Oberbau und Fahrbahnabdeckung des Zusammenhanges wegen hier mitbesprochen werden soll, ist Reichsoberbau Lek mit Schienen S 49 und Leitschienen entlang jeder der beiden Fahrkanten des Gleises als Entgleisungsschutz gemäß den „Grundsätzen für die bauliche Durchbildung stählerner Eisenbahnbrücken (GE)“ verlegt worden.

Sämtliche Schienenstöße auf der Brücke sind schwebend angeordnet und verschweißt. Zum Ausgleich der Längenänderungen der Überbauten und der Gleise infolge von Wärmeschwankung und Durchbiegung sind auf der Gesamtlänge von rd. 950 m in Abständen von etwa 110 m Schienen- auszugsvorrichtungen nach den Musterzeichnungen Nr. R 846 bis R 848 des Reichsbahnzentralamts für Bau und Betriebstechnik eingebaut. Die Auszüge liegen in jedem Gleise über den beiden Strompfeilern, über dem rechtseitigen Widerlager und weiter über jedem dritten Flutpfeiler. Die größte Längenänderung ergibt sich bei Annahme einer größten Wärmeschwankung von 70° für den Auszug über dem westlichen Strompfeiler, auf dem sich zwei bewegliche Lager befinden, zu ≈ 184 mm.

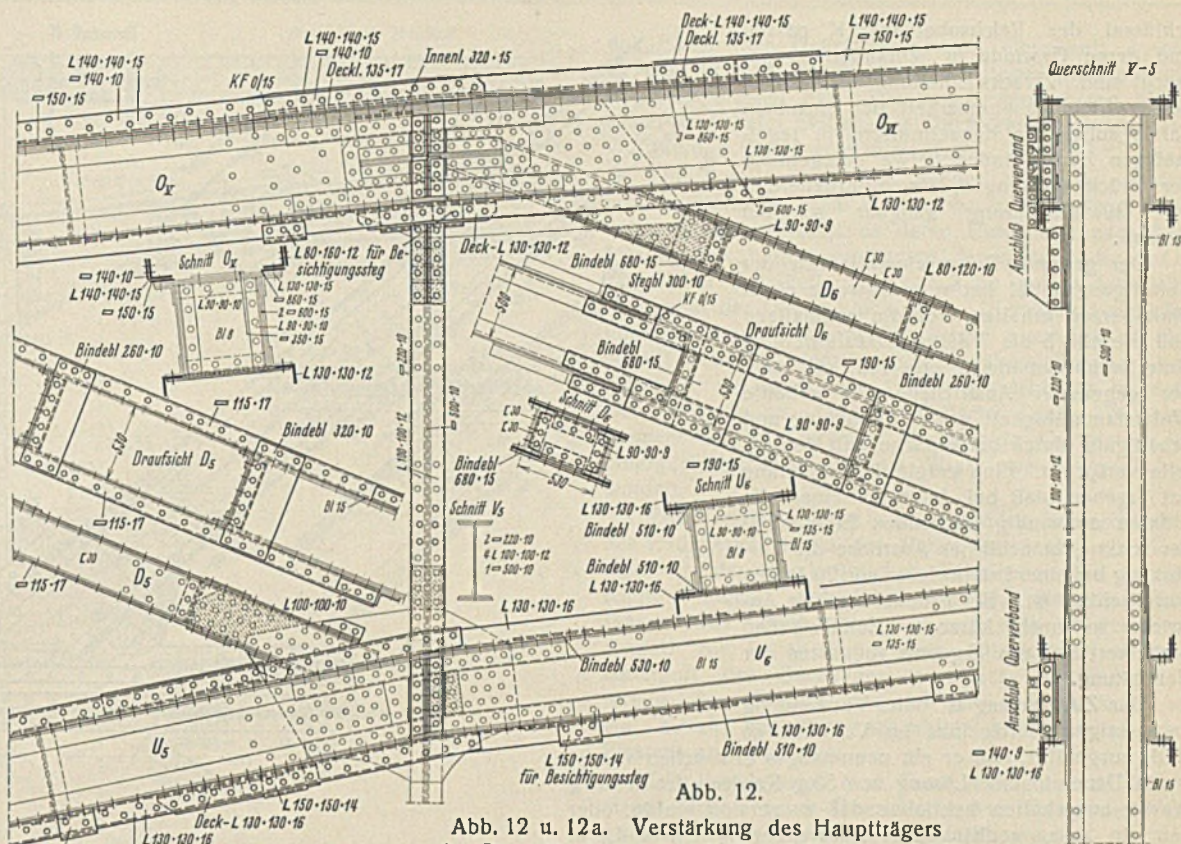


Abb. 12 u. 12a. Verstärkung des Hauptträgers der Stromüberbauten I und III bei Knotenpunkt V.

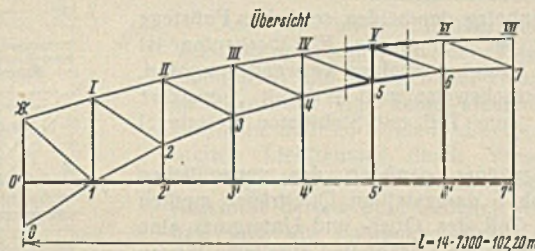


Abb. 12a.

Die Auszüge haben 200 mm Auszuglänge. Zwischen den Auszügen sind Schienen von 30 m Länge und den erforderlichen Paßlängen eingebaut.

Die Leitschienen der Flutüberbauten sind mit Hilfe besonderer Stützwinkel auch an den Schienenauszügen vorbeigeführt. Ein Längenausgleich in dem Leitschienenstrang ist dadurch ermöglicht, daß die verlaschten Stöße über dem beweglichen Lager jedes Überbaues entsprechend größere Wärmelücken und Langlochverschraubungen erhalten haben.

Die infolge von Veränderungen in der Anordnung der Schienenstöße im Laufe der Jahre sehr unregelmäßig gewordene Schwellenteilung des alten Oberbaues ist zwecks Begrenzung des lichten Abstandes der Schwellen auf ein Höchstmaß und Erzielung einer gleichmäßigen Ausbildung des Fahrbahnbelages durch Versetzen eines Teils der Schwellenwinkel möglichst auf das mittlere Maß von 660 mm bei den Stromüberbauten und 690 mm bei den Flutüberbauten gebracht worden. Gleichzeitig sind die von der großen Überhöhung der Überbauten herführenden starken Einsenkungen der S.-O.-Linie über den Pfeilern unter Zuhilfenahme höherer Schwellen gut ausgerundet, eine große Anzahl von Schwellen erneuert und die Lagerflächen sämtlicher Schwellen entrostet und neu gestrichen worden.

Zur Vermeidung schädlicher, besonders die festen Brückenlager ungünstig beanspruchender Spannungen zwischen Oberbau und Brückenfahrbahn ist den Schwellen durch Einschaltung von Federringen auf beiden Seiten der Befestigungsbolzen eine gewisse Beweglichkeit in der Brückenlängsrichtung gegeben worden.

Die Muttern der Bolzen, die besonders im neuen Zustande infolge der Erschütterungen des Betriebes sich gern lösen und herausfallen, sind durch aufgeschraubte „Palmuttern“ gesichert. Zur Verbesserung der Lage der ersten im Schotterbett liegenden Gleisschwelle haben sämtliche Widerlagerkammermauerwerke an Stelle des breiten, gemauerten Bettungsabschlusses einen neuen Kopf aus bewehrtem Beton erhalten.

Der alte hölzerne Fahrbahnbelag ist auf der gesamten Brückenfahrbahn zwischen den inneren Geländern der Fußsteige, mit Ausnahme der zwei von den Hauptträgern durchdrungenen Randstreifen auf der Strombrücke, mit einem neuen Belag aus gebogenen und verspannten Waffelblechen nach der Bauart Harbott u. Hoyer ersetzt worden. Die Bleche sind ohne Vermittlung von Längshölzern auf den Schwellen mit Schrauben befestigt, deren Kapselmutter zum Schwellenschrauben-

schlüssel des Reichsoberbaues K passen und deren Gewinde in Schraubenteer getaucht sind. Zwecks Erhaltung des Vorteils der leichten Abnehmbarkeit der einzelnen Tafeln sollen die Kapselmuttern in regelmäßigen Zeitabständen, etwa gelegentlich der Brückenprüfungen, durch Erneuerung der Gewindeteerung gangbar gehalten werden.

Der gesamte Belag einschließlich der Befestigungsmittel hat versuchsweise einen Zinküberzug erhalten, der die erstmaligen und die alle 5 bis 7 Jahre auszuführenden Unterhaltungsanstriche ersparen soll und der gegenüber Anstrichen eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung und Schädigung durch heiße Asche und Kohlentelle verspricht. Eine Vergleichsberechnung hat ergeben, daß bei Annahme einer alle 7 Jahre notwendig werdenden Erneuerung der sonst gebräuchlichen Anstriche die Verzinkung bei einer Lebensdauer von 20 Jahren wirtschaftlich ist. Bei Erneuerung der Anstriche in noch kürzeren Zeitabständen verbessert sich das Ergebnis zugunsten der Verzinkung.

Der Zinküberzug ist unter Verwendung erstklassigen Hüttenzinks im Vollbade so stark ausgeführt, daß er ein neunmaliges Eintauchen von je 1 min Dauer in eine Lösung von 50 g Kupfersulfat in 100 g Wasser ausgehalten hat, ohne daß er zerstört wurde, oder daß ein zusammenhängender Kupferüberzug entstand. In vorliegendem Falle sind ungünstige Einflüsse durch Rauch- und Industriegase nicht zu befürchten.

Der eichene Bohlenbelag der beiden seitlichen Fußstege ist erneuert worden; an den neuen Flutüberbauten ist jedoch ein Belag aus Eisenbetonbohlen verwendet worden, deren Oberflächen versuchsweise zum Teil mit „Lonsikar“ (Lonza-Siliziumkarbid), zum Teil mit Stahlbeton Kleinogel gehärtet sind.

Die Fahrbahnlangsträger genügen der neuzeitlichen Belastung; die in Abb. 5 dargestellten Querträger mußten dagegen im mittleren Teil des Ober- und Untergurts eine Verstärkung durch aufgenietete Deckplatten erhalten. Wegen der Bauausführung während des Betriebes (s. Abschnitt III) war es erforderlich, alle Verstärkungsplatten in der Längsrichtung, die der Obergurte außerdem in der Querrichtung zu teilen. Der Längsstoß der Obergurtplatten ist durch Schweißung gedichtet, der Querstoß durch Laschen gedeckt. Auf das ursprünglich geplante Anschweißen der Verstärkungsteile ist verzichtet worden wegen der schwierigen Unterbringung der Teile zwischen den vorhandenen Nietreihen und der unerwünschten Überkopfschweißungen.

Zur Verstärkung der Ober- und Untergurte der Hauptträger (Abb. 12) sind Flach- und Winkleisen auf die vier Außenkanten der Querschnitte genietet worden. Bei den Obergurten hat sich die kleinere Verstärkung nur aus Flachisen nächst den Bogenenden, die größere aus Flach- und Winkleisen in Bogenmitte (s. Abb. 22) ergeben. Die Verstärkung der Untergurte ist umgekehrt in der Nähe der Bogenenden größer als in Bogenmitte. Alle Vergitterungen sind durch Bindebleche ersetzt. Der Anschluß der Verstärkungsteile sowie die Verstärkung einzelner Stöße und Stabanschlüsse hat im allgemeinen keine besonderen Schwierigkeiten geboten. Zum Anschluß der untenliegenden Verstärkungsteile des Stabes U_2 am Knotenpunkt 1 war es erforderlich, die Knotenbleche durch Anschließen neuer Teile zu vergrößern. Die Schrägen D_1 sind durch Winkel (Abb. 13), alle übrigen Schrägen, wie aus Abb. 12 ersichtlich, durch Bellegen von Flachisen auf die \square -Eisen-Flansche verstärkt worden. Auch bei den Diagonalen sind an die Stelle der Vergitterungen Bindebleche und neue Querschotte getreten (s. Abb. 12).

Besondere Beachtung verdient die Verstärkung des Zugbandes. Zu beiden Seiten des alten, aus zwei kreuzförmigen Teilen gebildeten Querschnittes sind nach Abb. 5 u. 9 vier aus Flachisen und Winkeln zusammengesetzte T-förmige Verstärkungsteile durch Winkel und \square -Bügel angeschlossen. Wegen der Beanspruchung des Zugbandes als Gurtung des unteren Windverbandes sind die Querschnitte der Verstärkung, ebenso

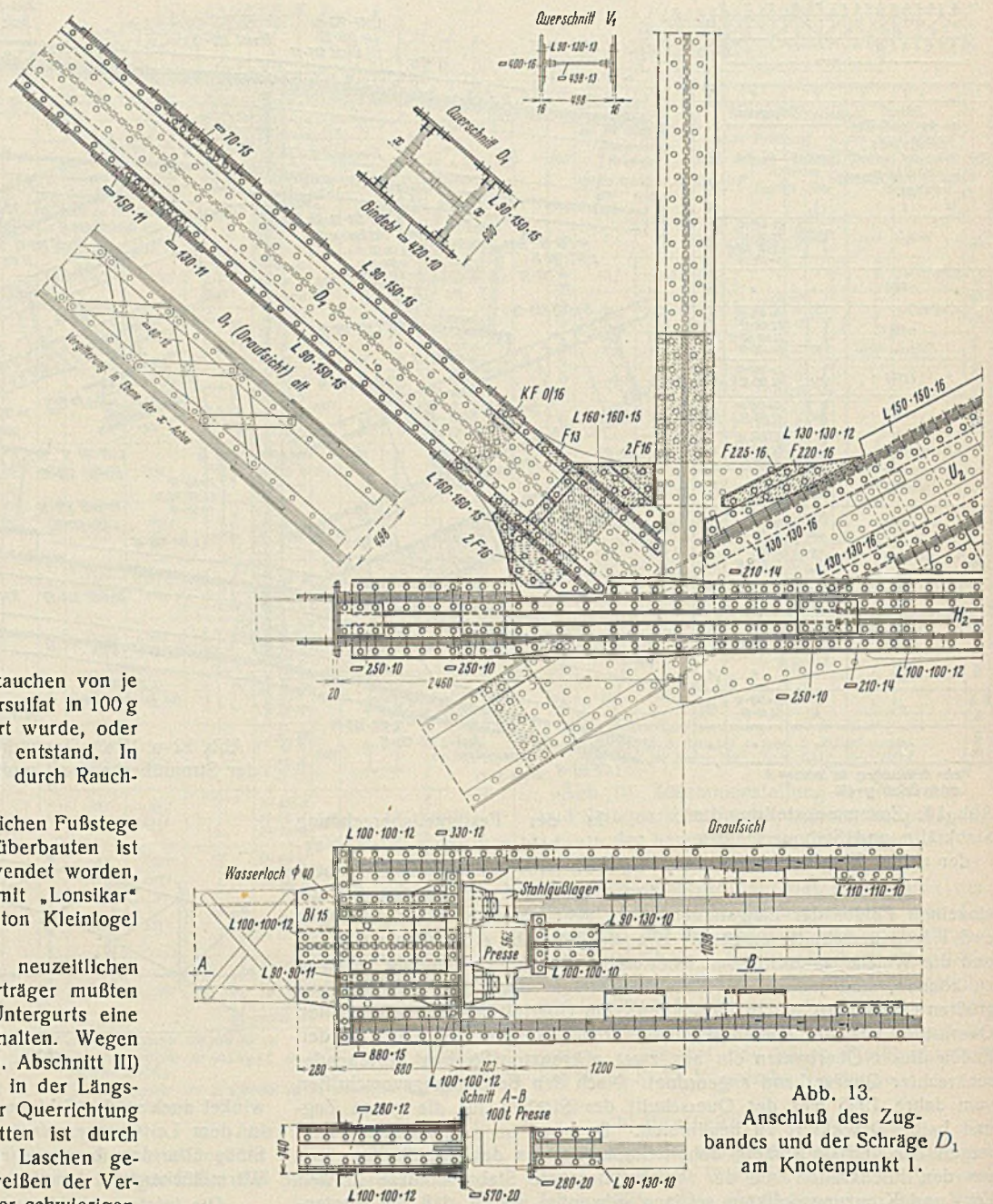


Abb. 13. Anschluß des Zugbandes und der Schräge D_1 am Knotenpunkt 1.

wie die des alten Zugbandes, in der Mitte größer als an den Enden. Um bei Belastung der Brücke jeglichen toten Gang bis zum Beginn der Beanspruchung der neuen Zugbandteile auszuschließen, sind diese vor ihrer Verbindung mit den alten Teilen vorgespannt worden.

Zu diesem Zweck sind die Verstärkungsteile, wie in Abb. 13 dargestellt, an ihren Enden gabelförmig um die Knotenpunkte 1 und 1 des

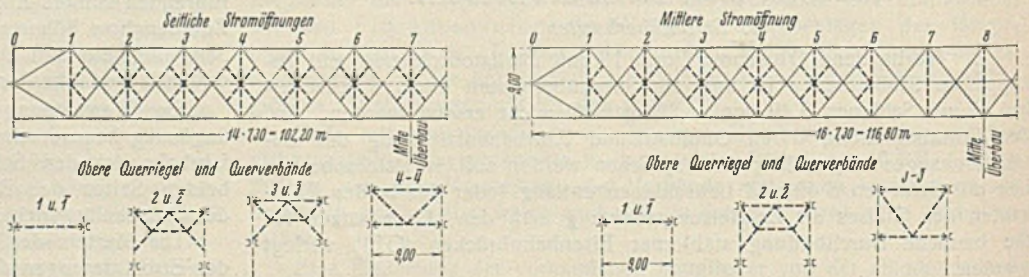


Abb. 14. Oberer Windverband und Querverbände.

Fachwerkbogens herumgeführt und durch ein Querhaupt zusammengehalten. Zwischen dem Querhaupt und den Stirnflächen der Knotenbleche sind besondere Stahlgußlager geschaffen worden, die durch Keilstücke genau eingestellt werden konnten, nachdem den neuen Zugbandteilen durch vorübergehend eingebaute Pressen die gewünschte Vorspannung gegeben worden war.

Von den Verbänden (Abb. 14) ist nur der in Höhe der Hauptträgerobergurte liegende obere Windverband dadurch verstärkt worden, daß

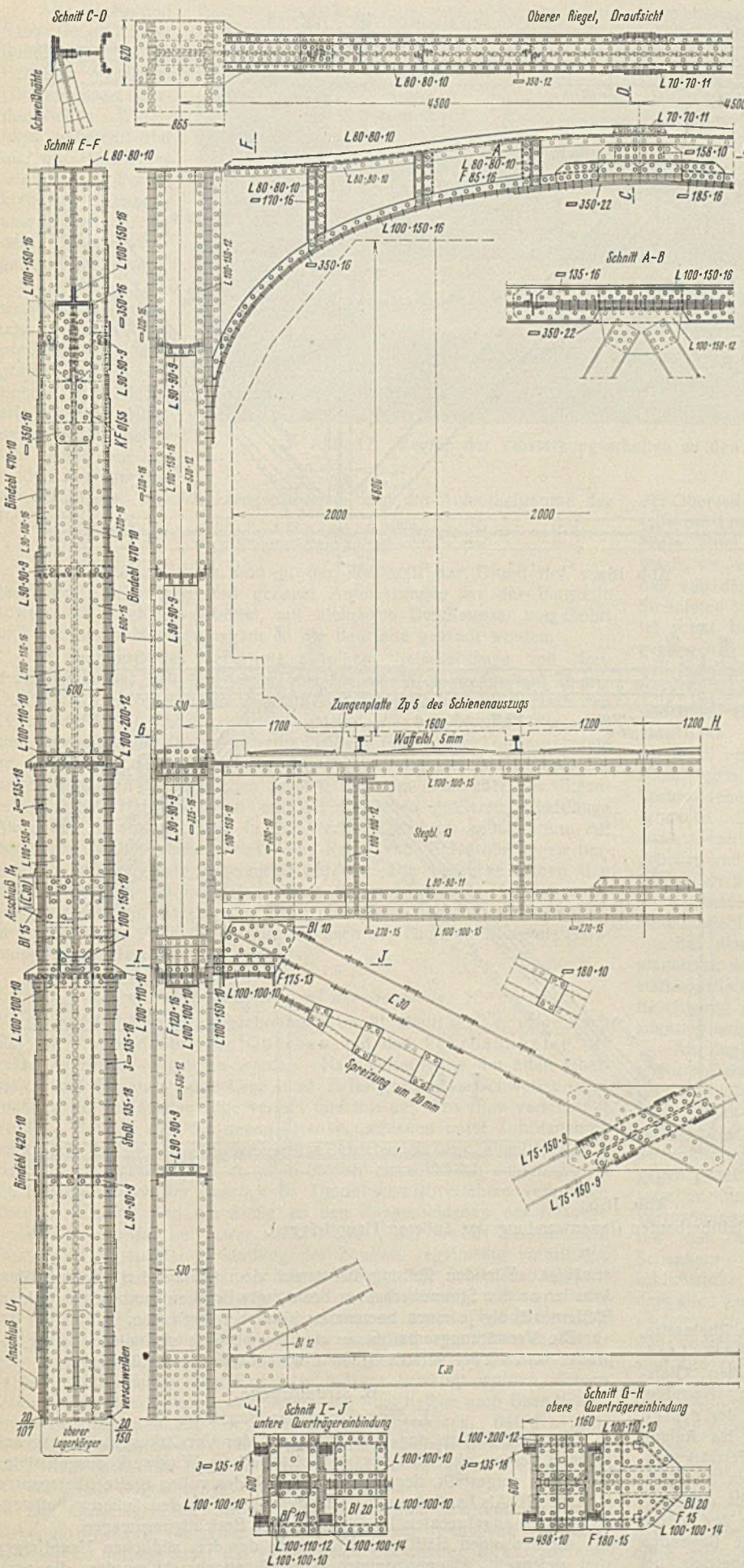


Abb. 15. Änderung der Portale.

die Knicklängen der vorhandenen Stäbe in den Feldern I bis VI der Mittelöffnung und I bis VII der Seitenöffnung durch Zwischenstreben auf die Hälfte herabgesetzt wurden. Ferner sind zur seitlichen Absteifung der Hauptträgergurte senkrechte Querverbände aus Strebenfachwerken in

der Ebene der Hauptträgerpfosten eingebaut, soweit es der für den Eisenbahnverkehr freizuhaltende lichte Raum zugelassen hat. Die vergitterten oberen Querriegel sind beim Einbau der Querverbände durch neue vollwandige Riegel ersetzt worden (s. Abb. 22).

Die Portale (Abb. 15) mußten ebenfalls geändert und verstärkt werden. Die oberen Querriegel sind höher gesetzt worden, da deren Unterkante nach Ausführung der bereits erwähnten Ausrundung der S.-O.-Linie über den Pfeilern um etwa 60 mm in das Lichtraumprofil der Gleise hineinragte. Hierzu sind zunächst oberhalb der Untergurte der Riegel neue Winkel eingebaut worden. Alsdann sind die überstehenden Stehblechteile mit dem alten Gurt weggeschnitten worden. Der Verlust an Querschnittsfläche und Trägheitsmoment ist im Untergurt durch eine Gurtplatte, im Obergurt durch aufgenietete Winkelisen ausgeglichen worden.

Zur Verstärkung des unzureichenden Eckanschlusses des Endquerträgers an den Portalpfosten ist unter Vermeidung der sonst üblichen Eckbleche eine waagerechte Bindung ausgeführt worden, die die Gurten des Querträgers fest mit dem Pfosten verspannt. Sie ist an einem Ende mit dem Ober- bzw. Untergurt des Querträgers vernietet, umfaßt gabelförmig den Pfosten und ist am anderen Ende an ein hierzu besonders ausgebildetes Querschott des Pfostens angeschlossen.

Die Portalpfosten sind durch Aufnieten von Flachisen, Einbau neuer Querschotte und Ersatz der Vergitterung durch Blindbleche verstärkt.

2. Flutüberbauten.

An den alten Flutüberbauten (Abb. 16) waren Verstärkungsarbeiten in der Hauptsache nur an den Obergurten und Schrägen der Hauptträger vorzunehmen. Daneben sind eine Reihe kleinerer Verbesserungen an Fahrbahn und Verbänden, die Freimachung des 2,20 m breiten Lichtraumes durch Verschieben der inneren Fußsteigegländer nach außen und die im vorhergehenden Abschnitt bereits beschriebenen Arbeiten für den Oberbau und die Fahrbahnabdeckung ausgeführt worden. Die Verstärkung der aus zwei vergitterten \square -Eisen bestehenden Hauptträgerstäbe konnte durchweg durch Auflegen von Flachisen auf die inneren Stegflächen bewirkt werden. Beim Obergurt sind die Flachisen aus wirtschaftlichen Gründen aufgenietet, bei den Schrägen sind sie meist durch unterbrochene Nähte aufgeschweißt worden. Um die vorhandenen Niete in den Stabanschlüssen so wenig wie möglich zu lösen und dadurch nicht die Spannungsverteilung aus der ständigen Last ungünstig zu beeinflussen, sind bei einem Teile der Schrägen die Verstärkungsflachisen so schmal gewählt, daß sie zwischen den vorhandenen Nietköpfen durchgeführt werden konnten. Sie sind auch möglichst weit in die Anschlüsse hineingeführt, damit die ersten Anschlußniete, die am stärksten beansprucht sind, nicht durch Schrumpfspannungen überlastet werden (s. Abb. 16).

Bei den neuen Flutüberbauten ist für die Fahrbahnquerträger und für die Füllstäbe der Hauptträger weitgehend von Breitflanschträgern, wo erforderlich unter Hinzufügung von Gurtplatten, Gebrauch gemacht worden, weil sich gegenüber genieteten Stäben bei etwa gleichem Gewicht die Werkstatt- und Nietarbeiten wesentlich vereinfachen und die Zahl der zu unterhaltenden Niete geringer wird.

Die Buckelbleche sind mit den Fahrbahn längs- und querträgern durch Schweißnähte verbunden und mit einem Mennige- und zwei Bitumenanstrichen versehen worden. Die Abdichtung der zwischen den Rändern der Bleche verbliebenen Vertiefungen besteht aus Wulsten von Bitumenmörtel mit Dichtungsbahn und Schutzblech. Im übrigen bieten die Überbauten keine Besonderheiten.

Der letzte Flutbrückenpfeiler und das östliche Widerlager haben neue durchgehende Auflagerbänke, das Widerlager außerdem in seinem oberen Teil einen neuen Kammermauerkopf aus bewehrtem Beton erhalten.

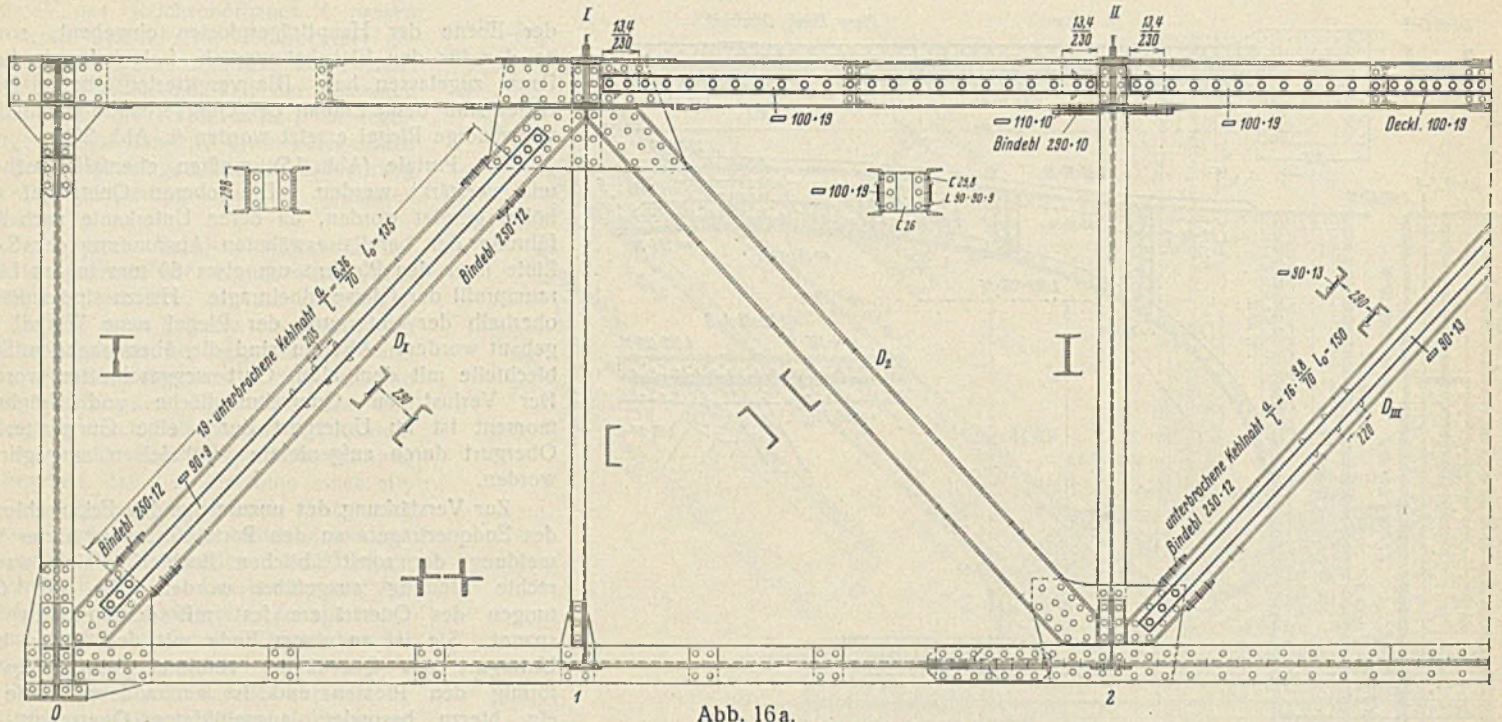


Abb. 16a.

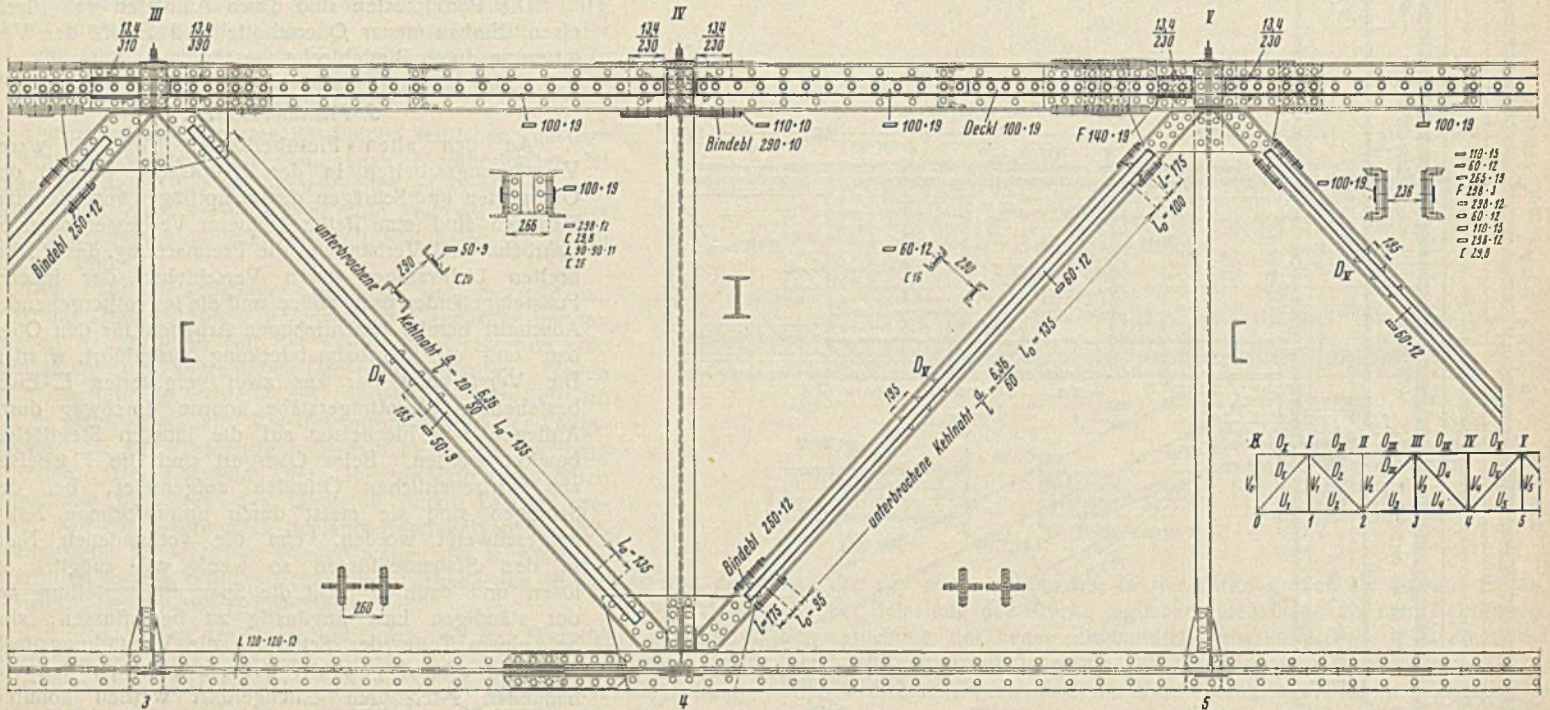


Abb. 16b.

Abb. 16. Verstärkung der Flutüberbauten (Innenwandung des äußeren Hauptträgers).

III. Bauvorgang.

A. Allgemeines.

Vor Beginn der Verstärkungsarbeiten sind auf der linken Rheinseite, bei Haltepunkt Worms Brücke, und auf der rechten, bei Blockstelle Landdamm, die für eingleisigen Eisenbahnbetrieb erforderlichen Gleisverbindungen und Sicherheitseinrichtungen geschaffen worden. Nachdem diese vorbereitenden Arbeiten erledigt waren, sind während des ersten Bauabschnittes, vom Beginn des Monats August 1931 bis Anfang März 1932, bei eingleisigem Betrieb auf dem Nordgleis die Verstärkungsarbeiten auf der Südseite der Brücke und im anschließenden zweiten Bauabschnitt, nach Umlegung des Eisenbahnbetriebes auf das Südgleis, bis Mitte Oktober 1932 die Arbeiten auf der Nordseite der Brücke ausgeführt worden. Somit hatten die auf der Umbauseite liegenden Hauptträger der Stromüberbauten im Vergleich zum Regelbetrieb, bei dem sie die Verkehrslast eines Gleises aufzunehmen haben, nur das $\frac{250}{900} = 0,28$ fache der Verkehrslast zu tragen.

Die Umbauseite war gegen die jeweilige Betriebsseite mit Schutzgeländern abgesperrt und durch mehrere Aufsichtsposten der Reichsbahn gesichert. Außerdem war die Geschwindigkeit der Züge auf 30 km/h

ermäßigt. Für den Rettungsdienst auf dem Strome hat die mit den Arbeiten an den Stromüberbauten beauftragte Brückenbauanstalt an beiden Pfeilern ständig je einen bemannten Kahn bereitgehalten.

Die Verstärkungsarbeiten an der Strombrücke und die an der Flutbrücke waren zwei verschiedenen Brückenbauanstalten übertragen.

B. Strombrücke.

1. Einrichtung der Baustelle.

Für den Einbau der Rüstungen und der Verstärkungsteile war auf jedem Überbau ein fahrbarer, mit elektrischem Windwerk ausgerüsteter Portalkran aufgestellt, der den Überbau in der vollen Breite überspannte (s. Abb. 22). Als Laufbahn des Krans dienten die an den äußeren Fußwegrandträgern angebrachten Laufschiene der Besichtigungswagen.

An der einen Hälfte der Obergurte der drei südlichen Hauptträger sind gleichzeitig Hängerüstungen (Abb. 17) angebracht worden, die nach Beendigung der Arbeiten an der einen Hauptträgerhälfte zu der anderen und im zweiten Bauabschnitt auf die nördlichen Hauptträger hinübergenommen wurden. Die Rüstung für die Zugbandverstärkung war an die Querträger und Fußwegträger angehängt. Sie war einmal für ein vollständiges Zugband vorhanden und ist nach dessen Fertigstellung für die Zugbänder der weiteren Hauptträger wiederverwendet worden.

Alle Geräte und Baustoffe sind unter Benutzung des außer Betrieb gesetzten Gleises zum linksrheinischen Widerlager gebracht und hier mit Hilfe eines fahrbaren Portalkrans auf Rollwagen umgeladen oder auf der Brückenrampe gelagert worden.

Am linken Ufer waren ein Umformer und eine Kompressoranlage aufgestellt, die die zum Bohren und Nieten erforderliche Kraft und Preßluft lieferten. Außerdem befanden sich hier das Werkzeuglager, eine Werkzeugschlosserei und die Aufenthaltsräume der Belegschaft.

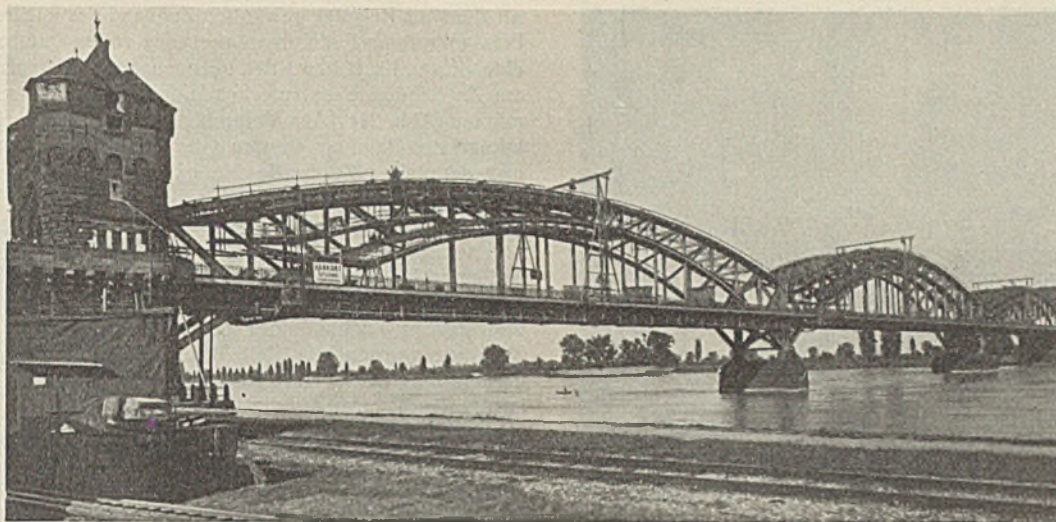


Abb. 17. Beginn der Verstärkungsarbeiten an den südlichen Hauptträgern.

2. Werkstattarbeiten.

Die Verstärkungsteile sind in der Werkstatt auf Grund der vorhandenen Zeichnungen und genauer Aufmessungen an der Baustelle soweit wie möglich bearbeitet, mit kleinerem Durchmesser vorgebohrt und mit einem Mennigeanstrich an die Baustelle gesandt worden.

Als ungünstigstes Verhältnis zwischen Nietschaftlänge und Nietdurchmesser hat sich bei Nieten von 146 mm Klemmlänge und 28 mm Durchm. $l : d = 5,2$ ergeben, gegenüber dem für Halbrundniete nach den „Grundsätzen (GE)“ höchstzulässigen Werte $l : d = 4,5$. Nach der Vorschrift sind oberhalb dieser Grenze gedrehte konische Bolzen oder Linsensenkniete zu verwenden, denen jedoch im allgemeinen die gleichen Mängel anhaften wie den gewöhnlichen Senknieten. Um nun über die Eigenschaften von Halbrundnieten mit der fraglichen größeren Schaftlänge Aufschluß zu erhalten, sind in der Werkstatt und im Laboratorium mit derartigen Nieten versuchsweise eine Reihe von Nietverbindungen hergestellt und sorgfältig untersucht worden. Die Versuche haben den Beweis erbracht, daß sich solche Niete bei sachgemäßem Verfahren einwandfrei schlagen lassen. Die Bauleitung hatte daher keine Bedenken, in vorliegendem Falle die Ausführung auch der längeren Niete als Halbrundniete zuzulassen.

3. Die Arbeiten auf der Baustelle.

Wie bei der Entwurfsbeschreibung im Abschnitt II C c möge auch hier mit Angaben über den Oberbau und den Fahrbelag der gesamten Brücke begonnen werden. Nach Beseitigung des alten Oberbaues und Regelung der Lage und Befestigung der Schwellen sind zunächst die Schienenauszüge verlegt und mit den Schwellen verschraubt worden. Sodann sind die neuen Eisenbahnschienen unter Zuhilfenahme besonderer Entladevorrichtungen vom Betriebsgleis aus abgeladen, auf die Schwellen gesetzt und an allen Stößen einschließlich denjenigen an die Backenschienen der Auszüge im Thermitschweißverfahren verbunden worden. Zuletzt sind die Stöße an den Zungenschienen der Auszüge geschweißt worden, und zwar nach richtiger, der jeweils herrschenden Temperatur angepaßter Einstellung der Zungen, regelmäßig vormittags, damit im Laufe des Tages der etwa 100 m lange Schienenstrang mit den Unterlagplatten und Schwellen noch so weit befestigt werden konnte, daß Verwerfungen auf jeden Fall ausgeschlossen waren. Die Befestigung des Oberbaues geschah mit Hilfe von elektrisch angetriebenen Handbohr- und Schraubeneindrehgeräten²⁾. Auf gleiche Weise sind auch die Kapselmutterschrauben des Waffelblechbelages befestigt worden, dessen Tafeln mit fertiger Bohrung angeliefert und unmittelbar nach Beendigung der Oberbauarbeiten auf den Schwellen verlegt wurden. Bei den Flutüberbauten waren zum Schluß noch die Entgleisungsschutzschienen auf die Leitschienenstühle Lst 8 des Oberbaues zu verlegen. Sie sind an Ort und Stelle angezeichnet und gebohrt worden.

Die Querträger der Stromüberbauten mußten während des Verstärkungsvorganges für eingeleisigen Zugverkehr genügend tragfähig bleiben. Es durften daher die vorhandenen Deckplatten nicht ganz entnietet werden. Am Obergurt konnte zudem die Verstärkung jeweils nur auf der für den Betrieb gesperrten Seite aufgebracht werden. Die Teilung der neuen Platten in der Längsrichtung, für den Obergurt außerdem in der Querrichtung, ermöglichte es, die Verstärkungsteile stück-

weise nacheinander aufzulegen und zu vernieten bzw. zu verschweißen. Für diese Arbeiten waren keine besonderen Rüstungen notwendig, da sie sich von den Besichtigungswagen und von der Fahrbahn aus bequem durchführen ließen.

Die Gurtungen der Hauptträger waren in der bereits beschriebenen Weise durch Auflegen neuer Flach- und Winkelisen auf die vier äußeren Ecken zu verstärken. Hierbei war besonders auf

der Oberseite des Obergurtes und an den Stößen der alten Querschnitte die Lösung vorhandener Nietverbindungen nicht zu umgehen. Alle Niete einer Reihe von der Länge des Verstärkungsteiles gleichzeitig zu lösen, war selbstverständlich nicht angängig. Es wurde daher festgelegt, daß von den Heftnieten der freien Stablänge ein Drittel und von den Stoßnieten immer mindestens die Hälfte vorhanden sein müssen. Man ist somit beispielsweise am Obergurt (Abb. 18) folgendermaßen vorgegangen:

Auf der Strecke zwischen zwei Stößen — in der Abbildung mitten links — wurde zunächst jeder dritte Niet einer Reihe herausgeschlagen und durch einen oben versenkten Behelfniet ersetzt, an den Stößen — vorn links — zuerst jeder vierte mit einem \bigcirc , alsdann jeder zweite mit einem Δ umrandete Niet. Nun entfernte man die zwischenliegenden Niete, legte den Verstärkungsteil auf und zog nach dem Aufreiben der Löcher neue Niete ein, wie es im Bilde an der rechten Gurtkante zu sehen ist. Schließlich wurden die zuerst versenkt geschlagenen dritten Niete — an den Stößen zuerst die vierten, dann die zweiten — herausgebohrt und durch neue endgültige Niete ersetzt. Dieser Arbeitsgang ist an den beiden oberen Gurtecken nacheinander vorgenommen worden, an den beiden unteren Gurtecken dagegen gleichzeitig, weil hier zugleich neue Bindebleche als Ersatz der vorhandenen Vergitterung aufzulegen waren.

Bei den Schrägen der Hauptträger sind zuerst neue Querschotte eingebaut, dann die Vergitterung auf einer Seite abgenommen und Verstärkungsflacheisen nebst Bindeblechen aufgelegt und schließlich nach Beseitigung der Vergitterung auf der anderen Seite auch dort die Verstärkung aufgebracht worden.

Am Zugband sind der innere und der äußere Strang der Verstärkung je für sich, zunächst ohne jede Verbindung mit dem vorhandenen Zugband zusammengebaut und an den Stößen vernietet worden. Beide Stränge lagen dabei, gegen seitliches Abrutschen durch Schraubverspannungen gesichert, mit den waagerechten Schenkeln ihrer Anschlußwinkel lose auf dem alten Zugband. Erst nachdem die Verstärkungen vorgespannt waren, sind alle Teile durch Anschlußwinkel und U-Bügel fest verbunden worden. Mit der Vorspannung der neuen Zugbandstränge wollte man erreichen, daß sie von Unebenheiten befreit wurden und bei Verkehrsbelastung ohne toten Gang sofort voll mitwirkten. An und für sich hätte zu diesem Zweck schon eine geringe Vorspannung genügt. Sie war jedoch anderseits so groß zu bemessen, daß

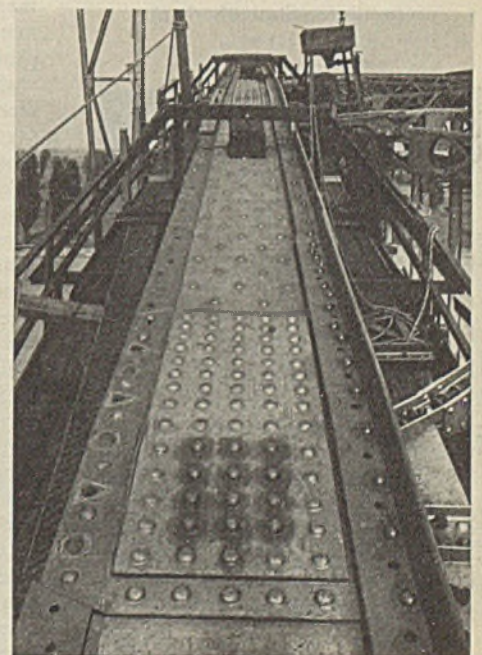


Abb. 18. Einbauvorgang an den oberen Gurten der Hauptträgerobergurte.

²⁾ Bautechn. 1933, Heft 1/2, S. 39.

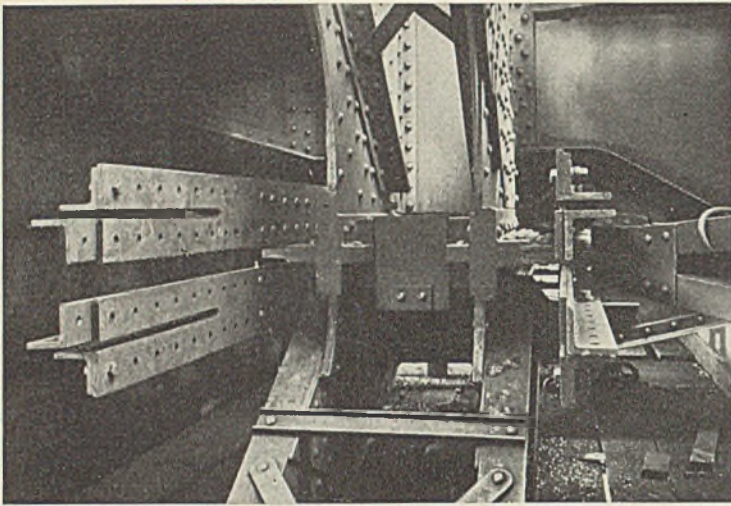


Abb. 19. Anschluß der Zugbandverstärkung am Knotenpunkt 1.

sie sich durch Spannungsmessungen gut verfolgen ließ, aus technischen und wirtschaftlichen Gründen wiederum aber nur so groß, daß die entsprechende Zugkraft in das Zugband mit einfachen Mitteln eingeleitet werden konnte. Man wählte infolgedessen bei allen Überbauten für den Nutzquerschnitt am Zugbandende die Vorspannung zu 225 kg/cm², gleich einer Zugkraft von 90 t beim mittleren und 65 t bei den seitlichen Überbauten.

Hierbei ergaben sich als Nebenwirkungen beispielsweise beim mittleren Überbau im alten Zugband rechnermäßig eine Spannungs-ermäßigung von 89 kg/cm² und im ungünstigst beanspruchten Stab des Bogens eine Spannungsteigerung um etwa 1,5 %.

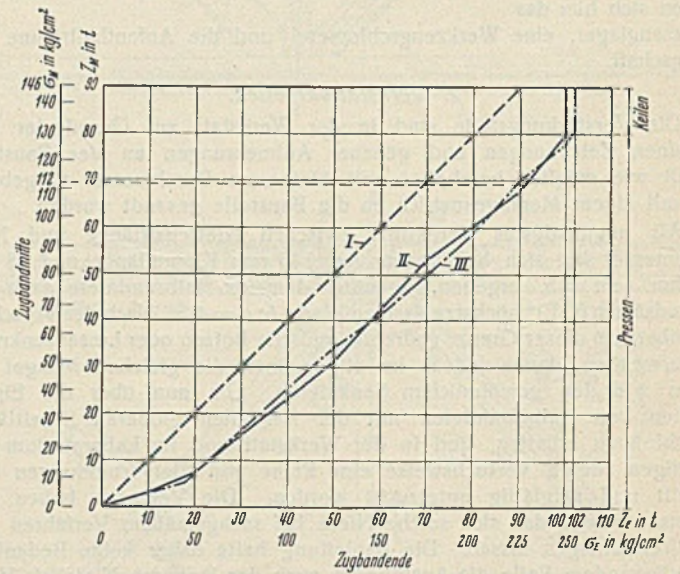
Der Vorgang beim Einbau der Zugbandverstärkung war somit folgender (s. auch Abb. 13):

Nachdem die Stirnseiten der Knotenbleche und alten Zugbandteile an den Knotenpunkten 1 und 1 für die Aufnahme besonderer Lagerkörper bearbeitet und die Pressenlager in der Zugbandachse hergerichtet waren (Abb. 19), wurden beide Hälften der Zugbandverstärkung durch Querhüupter miteinander verbunden und an jedem Zugbandende die beiden durch Keile nachstellbaren Stahlgußlager sowie je ein geeichter Preßtopf eingesetzt.

Sodann wurden die beiden Pressen gleichzeitig betätigt und die an den Manometern verfolgbare Zugkraft gemeinsam stufenweise gesteigert, während in Zugbandmitte, wo mit störenden Nebenspannungen am wenigsten zu rechnen war, mit acht Stück elektromagnetisch befestigten Spannungsmessern Huggenberger (Abb. 20a, b) die Spannungen verfolgt wurden. Die Bedienungen der beiden zusammen arbeitenden Pressen erhielten ihre Weisungen zwecks Verhütung einer Verschiebung der neuen Zugbandteile nach dem einen oder anderen Ende zu immer zu gleicher Zeit mittels Fernsprechers von Zugbandmitte aus. Hier sind infolgedessen auch an den zur Überwachung eingebauten Kienzleschen Meßuhren mit einer Meßgenauigkeit von 1/100 mm nennenswerte Längsverschiebungen nicht beobachtet worden. Während des Spannvorgangs rutschten an den Stahlgußlagern die eingefetteten Keile den Dehnungen des Zugbandes entsprechend selbsttätig nach unten.

Bei reibungslos aufgelagerten Verstärkungen hätte dann

an dem als Beispiel gewählten Zugband des mittleren Überbaues, bei 90 t Pressenkraft am Ende, im gemessenen vollen Querschnitt der Zugbandmitte eine dieser Kraft bzw. der obengenannten Vorspannung von 225 kg/cm² am Zugbandende entsprechende Spannung von ≈ 146 kg/cm² auftreten müssen (Abb. 21). Aus Vorproben hatte sich jedoch bereits ergeben, daß infolge der Reibung an den Gleitflächen zwischen den Anschlußwinkeln und dem alten Zugbande die an den Pressen ausgeübte Zugkraft nach der Mitte hin zu einem Teil aufgezehrt wurde. In der Mitte des Zugbandes war also eine kleinere Zugkraft vorhanden als an den Enden, und somit betrug die Spannung dort nicht 146 kg/cm², sondern nur etwa 112 kg/cm². Man ging deshalb mit der Pressenkraft so weit über 90 t hinaus, bis das arithmetische Mittel zwischen der Pressenkraft am Ende und der in Zugbandmitte gemessenen Kraft 90 t betrug. In diesem Zustande wurden die Keile an den Stahlgußlagern leicht angetrieben und festgeschweißt und die Pressen abgelassen. Dabei ergaben sich infolge der leichten Erschütterungen beim Ankellen bereits die Auslösung des größten Teiles der Reibungswiderstände und ein Ausgleich zwischen den höheren Spannungen am Zugbandende und den kleineren in Zugbandmitte, wie im Schaubild der Spannungsmessungen am weiteren Wachsen der Spannungen bis etwa zu dem gewünschten Wert von 146 kg/cm² gut zu erkennen ist. Nach der Überfahrt mehrerer Züge war mit dem völligen Spannungsausgleich zu rechnen, so daß am



Erläuterungen:

- Z_E = Pressenkraft = Zugkraft am Zugbandende.
- $\sigma_E = \frac{Z_E}{F_{nE}}$ = berechnete Spannung für den Nutzquerschnitt F_{nE} am Zugbandende.
- σ_M = gemessene mittlere Spannung im vollen Querschnitt F_{nM} in Zugbandmitte.
- $Z_M = F_{nM} \sigma_M$ = gemessene Zugkraft in Zugbandmitte.
- I - - - - gedachte σ_M -Linie bei reibungslos aufgelagerten Verstärkungen.
- II - - - - durch Messung ermittelte σ_M -Linie am südlichen Hauptträger.
- III - - - - durch Messung ermittelte σ_M -Linie am nördlichen Hauptträger.

Abb. 21. Schaubild der Spannungsmessungen in Zugbandmitte (mittlerer Stromüberbau).

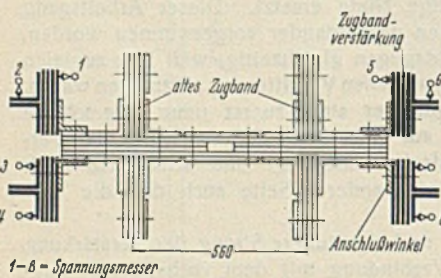


Abb. 20a. Meßpunkte in Zugbandmitte (mittlerer Stromüberbau).

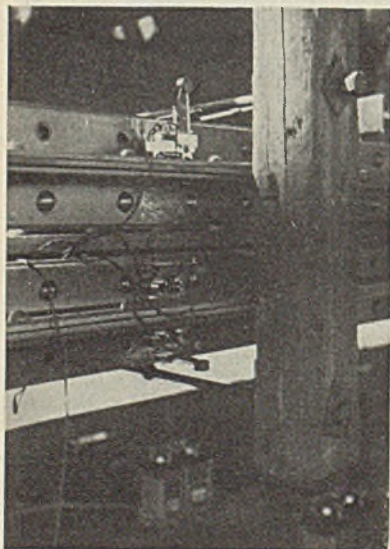


Abb. 20b. Spannungsmesser an der Außenseite des Zugbandes angeklemt.

folgenden Tage mit dem Bohren und Aufreiben der Nietlöcher und mit dem Vernieten der die alten und neuen Teile verbindenden Anschlußwinkel und U-Bügel begonnen werden konnte.

Durch gleichartiges Vorgehen an den sich gegenüberliegenden Hauptträgern war gewährleistet, daß die beiden Zugbänder jedes Überbaues, wie es das Schaubild für das Beispiel des mittleren Stromüberbaues bestätigt, annähernd die gleiche Vorspannung bekamen.

Es möge hier noch kurz erwähnt werden, auf welche Ursachen man vermutlich im vorliegenden Falle die auch von anderen Brücken bekanntgewordene Tatsache zurückführen darf, daß die alten Zugbänder gegenüber den Maßen der Bauausführungszeichnung eine gewisse Verlängerung aufweisen. Beim mittleren Stromüberbau betrug das Maß dieser scheinbaren Zugbandverlängerung nach Abzug der Dehnung infolge der Eigengewichtsbelastung noch etwa 25 mm. Der Annahme, daß diese Verlängerung im Laufe der Jahre durch Gleiten in den Nietverbindungen eingetreten sein könnte, widersprach der gute Befund der zahlreichen aus dem alten Zugbande herausgeschlagenen Nieten, an deren Schäften sich keinerlei Versetzungen zeigten. Es hat sich ferner ergeben, daß auch der Einfluß der Verminderung der Zugbandüberhöhung durch Eigengewichtsbelastung auf die waagerechte Entfernung der Zugbandendpunkte von untergeordneter Bedeutung ist.

Als Erklärung für den Längenunterschied bleibt somit nur die Annahme übrig, daß die größere Länge des Zugbandes schon bei der Aufstellung der Brücke durch das übliche „Auftragen“ der Stöße, also

C. Flutbrücke.

1. Einrichtung der Baustelle.

Bei der Gesamtlänge von 560 m der zu verstärkenden 32 Flutüberbauten war es am wirtschaftlichsten, alle erforderlichen Baugeräte auf einem fahrbaren Gerätzug aus niedrigen Plattformwagen (Abb. 23) unterzubringen, der beim Fortschreiten der Verstärkungsarbeiten auf dem Baugleis weiterbewegt werden konnte. Wagen Nr. 1 trug die Bohrmaschine und das Nietlagen, Wagen Nr. 2 in einem Wellblechhaus den Kompressor und drei Gleichstromschweißmaschinen. Auf Wagen Nr. 3 standen der Luftsammelkessel und zwei Kühlwasserbehälter, auf Wagen Nr. 4 je eine Wellblechbude für den Richtmeister und für das Werkzeuglager. Der elektrische Strom wurde von der unter den Überbauten hergeführten Hauptzuleitung in der Mitte eines jeden Überbaues abgenommen und dem Maschinenwagen zugeführt.

Bei der Einrüstung der Überbauten war größter Wert auf die Möglichkeit eines schnellen Vorbaues zu legen, da nach dem Bauprogramm für jeden Überbau nur eine Arbeitszeit von durchschnittlich zehn Tagen zur Verfügung stand. Für die Arbeiten an den Außenseiten der Überbauten waren deshalb zwei fahrbare stählerne Gerüstbühnen (Abb. 24) vorhanden, die mit Rollen oben auf einer über den Schwellen liegenden Schiene liefen und sich seitlich gegen den Untergurt der Überbauten stützten. Die Fortbewegung geschah mit Kabelwinden. Auf der ersten Bühne waren die allgemeinen Arbeiten und die Nietarbeiten auszuführen, die zweite sollte möglichst nur von den Schweißern benutzt werden, damit die übrigen Arbeiter durch die elektrischen Lichtbogen nicht belästigt wurden. Zwischen den Hauptträgern hing an Ketten ein nahezu zwei Überbauten langes zweistöckiges Holzgerüst.

Die beiden Überbauten am östlichen Brückenkende wurden auf einer festen Rüstung (Abb. 25) erneuert, deren Joche in das Bett des Altrheins gerammt waren. Für das Auf- und Abladen der Stahlbauteile und deren Beförderung auf dem Gerüst war seitlich auf dem tiefliegenden Ufer ein eiserner Schwenkmast mit einem 23,3 m langen Ausleger errichtet,

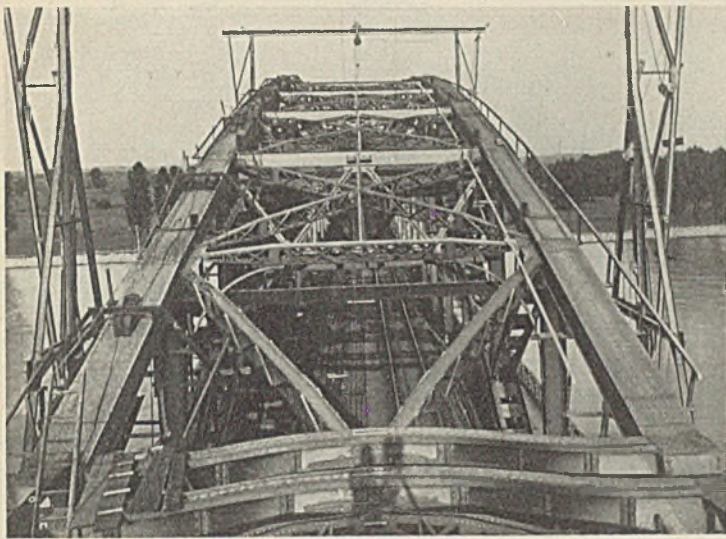


Abb. 22. Arbeiten am oberen Windverband und an den Querverbänden (Rüstboden im Felde II—III).

durch eine Reihe von kleineren Längenzuwachsen infolge Ungenauigkeiten, Farbe usw., entstanden ist. Daneben könnte ein Teil der Verlängerung vielleicht auf einen Temperaturunterschied zwischen der Herstellungszeit der Brücke und dem Tage der späteren Längenmessung zurückgeführt werden. Es ist jedoch heute nicht mehr möglich, die Anteile der beiden letztgenannten wahrscheinlichen Ursachen der Längenänderungen mit Sicherheit festzustellen, da entsprechende Messungen und Aufzeichnungen vom Bau der Brücke her nicht vorhanden sind.

Wie die Rechnung übrigens ergeben hat, halten sich die Spannungserhöhungen, die in den Gliedern der Bogenträger gegebenenfalls durch ein tatsächliches Nachgeben des Zugbandes um 25 mm entstehen können, innerhalb verhältnismäßig sehr kleiner Grenzen. Nach alledem war es nicht erforderlich, die Längenmeßergebnisse am Zugband bei der Verstärkung der Überbauten zu berücksichtigen.

Die Arbeiten an den Verbänden — Einbau neuer Querverbände und Abänderung der oberen Windverbände (Abb. 22) — boten keine Besonderheiten.

Die Pfosten der Portale sind in der bei den Schrägen des Hauptträgers beschriebenen Weise durch Einbau von Querschotten, Auflagen von Flacheisen und Ersatz der Vergitterung durch Bindebleche verstärkt worden. Die der Vergrößerung der Durchfahrthöhe dienenden Arbeiten an den Riegeln wurden über dem jeweils nicht befahrenen Gleis unmittelbar vor und nach der Umliegung des Eisenbahnbetriebes zwischen den beiden Bauabschnitten von Hängegerüsten aus erledigt.

Die Besichtigungstege an den Bogengurten mußten mit Rücksicht auf die Gurtverstärkungen zeitweilig ausgebaut werden. Sie sind in etwas geänderter Form wieder eingebaut und mit neuen eichenen Bohlen belegt worden.

Schließlich sei noch erwähnt, daß, fortschreitend mit den Verstärkungsarbeiten, die im allgemeinen gut erhaltenen Überbauten einer genauen Untersuchung auf lose Nieten und andere Mängel unterzogen, die gefundenen Schäden beseitigt und an allen Stellen, an denen es nützlich erschien, zur besseren Entwässerung Löcher gebohrt worden sind. Sämtliche Verstärkungsstelle haben zum Schluß einen zweiten Mennige- und einen Deckanstrich und endlich das gesamte Bauwerk einen weiteren einheitlichen Deckanstrich aus silbergrauer Eisenglimmerfarbe erhalten.

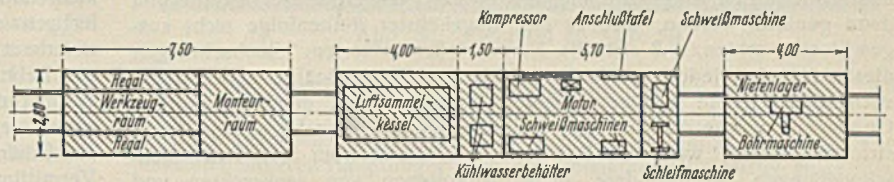


Abb. 23. Fahrbarer Gerätzug für die Verstärkung der Flutüberbauten.

der bis über die Mitte der Brücke hinausreichte. Den übrigen Teil der Brücke bestrich ein auf den Obergurten verschiebbar angeordneter kleinerer Schwenkmast.

2. Werkstattarbeiten.

Die fast nur aus Flacheisen bestehenden Teile für die Verstärkung der Flutüberbauten sind im Werk auf richtige Länge geschnitten und unter Aussparung der späteren Schweißstellen mit Mennige gestrichen worden. Das Bohren nahezu sämtlicher Löcher blieb der Baustelle überlassen. — Die Einzelteile für die beiden neuen Überbauten sind, wie bei

Fachwerkträgern üblich, bearbeitet worden. Nachdem die Hauptträger auf der Zulage ausgelegt und sämtliche Baustellennietlöcher bis auf die der Gurtungsstöße aufgerieben waren, sind die Obergurte allein erneut ausgelegt und die Fahrbauteile aufgebaut worden.

3. Arbeiten an der Baustelle.

Im ersten Bauabschnitt sind, an der Strombrücke beginnend und in Richtung Blockstelle Landdamm vorwärtsschreitend, die Verstärkung der 16 Überbauten und die Erneuerung des 17. Überbaues im Zuge des Südgleises, im zweiten Bauabschnitt, in umgekehrter Richtung, die gleichen Arbeiten im Zuge des Nordgleises ausgeführt worden.

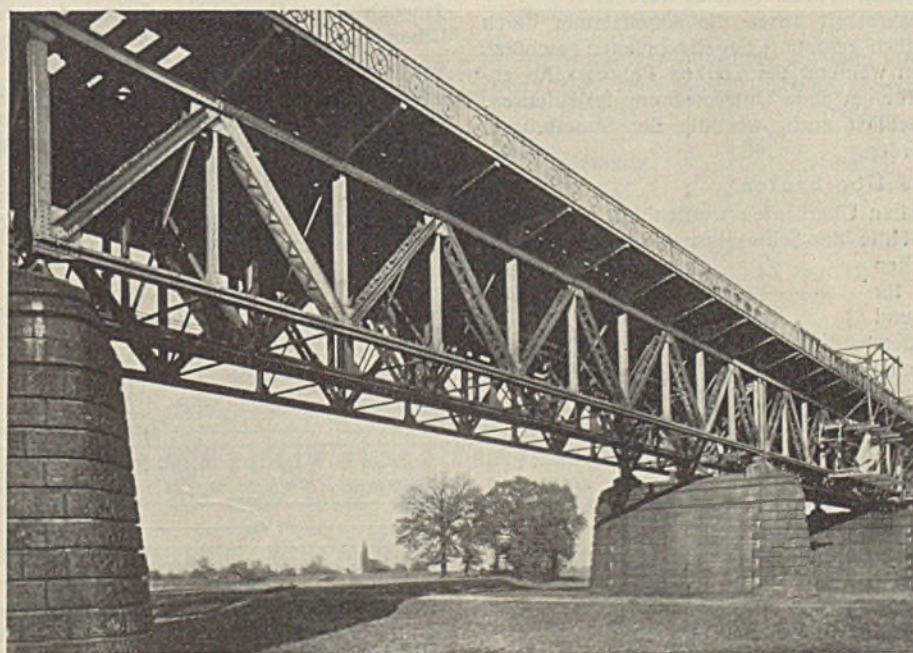


Abb. 24. Ansicht eines verstärkten Flutüberbaues (im Hintergrunde die fahrbare Gerüstbühne).

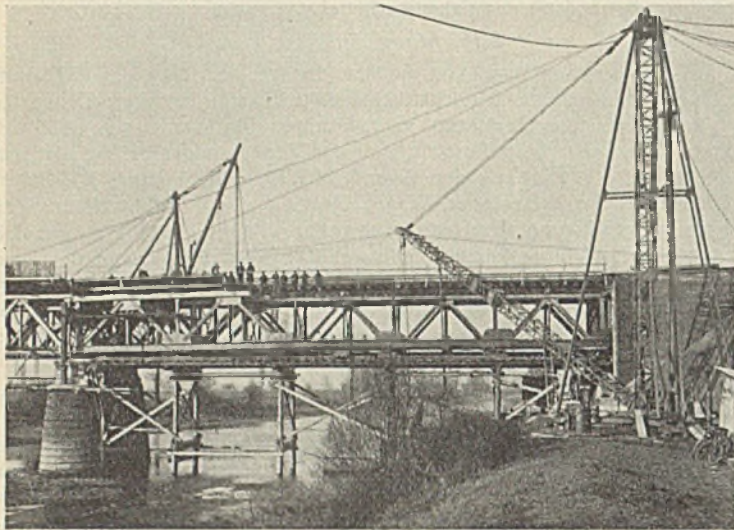


Abb. 25. Aufstellung der neuen Flutüberbauten.

a) Verstärkungsarbeiten.

Für die Verstärkungsarbeiten waren zwei Arbeitskolonnen gebildet. Die eine hatte die Gerüste vorzubauen, die vorhandenen Bauteile von Farbe und Rost zu reinigen, Niete zu beseltigen und zu schlagen und die aufzuschweißenden neuen Teile anzukleppen. Sie bekam die Verstärkungsteile jedesmal für drei Überbauten auf dem Baugleis zugefahren und am Gerätezug vorgezeichnet und gebohrt.

Die aus drei Elektroschweißern gebildete zweite Kolonne folgte der ersten in kurzem Abstände nach und führte in ununterbrochenem Arbeitsgang sämtliche Schweißungen aus. Bei den Teilen, die durch Schweißnähte und durch Niete zu befestigen waren, ist zuerst geschweißt und dann genietet worden, weil es bei umgekehrter Reihenfolge nicht ausgeschlossen schien, daß sich die Niete wieder lockerten. Beobachtungen dieser Art sind jedoch auch überall da, wo Schweißnähte in der Nähe vorhandener Niete gezogen werden mußten, nicht gemacht worden. Geschweißt wurde mit drei von Drehstrommotoren angetriebenen Gleichstromumformern, weil das Arbeiten mit Gleichstrom bei Baustellen-schweißungen, insbesondere beim Vorkommen von senkrechten und Überkopfnähten, wegen der besseren Richtbarkeit des Lichtbogens, der gleichmäßigeren Ergebnisse und des Auskommens mit billigen blanken Elektroden noch die Regel bildete. Den Schweißwerkstoff lieferten blanke Elektroden und leicht getauchte „Elarc“-Elektroden von 3 bis 5 mm Durchm.

Vor Aufnahme der Arbeiten sind die in §§ 7 und 8 der „Vorschriften für geschweißte Stahlbauten (DIN 4100)“ vorgeschriebenen Prüfungen abgenommen worden. Die Prüfung der Schweißer wurde zu Beginn des zweiten Bauabschnittes wiederholt. Die Schweißnähte selbst sind stichprobenweise durch Anfräsen mit dem Schmucklerschen Prüfgerät³⁾ untersucht worden. Wo der enge Raum in den □-Eisen das Ansetzen des Gerätes in der für das Arbeiten mit dem Kegelfräser erforderlichen Stellung nicht zuließ, ist als Behelf ein in Richtung des einen Kehlnaht-schenkels arbeitender zylinderförmiger Fräser benutzt worden.

Während der schlechten Jahreszeit waren die Arbeitsstellen durch Wellblechüberdachungen und seitlich gespannte Segeltuchplanen geschützt. So war es, von kürzeren Pausen während der starken Februarkälte abgesehen, möglich, die Schweißarbeiten ohne Unterbrechung fortzuführen.

Die Überbauten sind schließlich noch, wie die der Strombrücke, überholt und neu gestrichen worden.

b) Neue Überbauten.

Die beiden wegfällenden alten Überbauten wurden auf der festen Rüstung zerschnitten und mit Hilfe der Schwenkmaste auf Eisenbahnwagen verladen. Mit den gleichen Masten konnten dann die Teile für die neuen Überbauten abgeladen und zusammengebaut werden. Nachdem die Nietarbeit erledigt war, sind zum Schluß die Fahrbahnbuckelbleche mit den bei den Verstärkungsarbeiten benutzten Geräten und Werkstoffen angeschweißt worden.

Die Arbeiten zur Herstellung der beiden Eisenbetonlagerbänke wurden in jedem Bauabschnitt gleichzeitig mit dem Abbruch der alten Über-

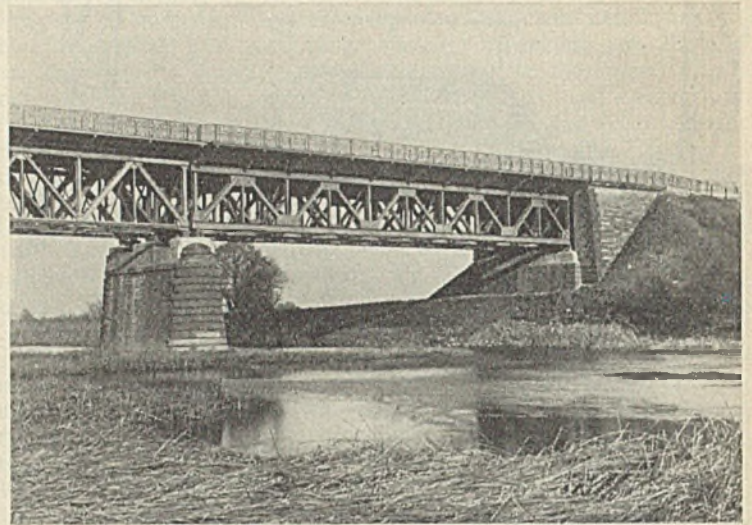


Abb. 26. Die neuen Überbauten der letzten Flutöffnung.

bauten begonnen. Bei der im ersten Bauabschnitt zunächst erforderlichen Beseitigung des vorhandenen Lagermauerwerks auf der einen Hälfte des Widerlagers und des letzten Flutpfeilers war es notwendig, die stehbleibenden inneren Lagerquader der im Betrieb befindlichen Überbauten durch eine vorsorgliche Abstützung gegen seitliches Abrutschen zu sichern. Zur Entlastung der betreffenden Lager sind in die Endquerverbände dieser Überbauten als untere Riegel biegesteife Querträger eingebaut worden, die sich im Abstände von etwa 1 m von dem gefährdeten Lager auf je einen bis Unterkante Lagerquader hinabgeführten Klotzstapel abstützten. Während des zweiten Bauabschnittes waren derartige Abstützungen nicht erforderlich, weil die inneren Lager der Überbauten dann durch die fertigen ersten Hälften der bewehrten Lagerbänke hinreichend sicher unterbaut waren.

Beim Abbruch des Mauerwerks am letzten Flutpfeiler sind jedesmal vorübergehend auch die Lagerquader des letzten verstärkten Flutüberbaues weggefallen. Das Eigengewicht dieses Überbaues ist deshalb bis zur Erhärtung des Betons der neuen durchgehenden Lagerbank durch Vermittlung zweier Längsträger, die unter den Querträgern hergeführt waren, an einen auf dem Pfeiler errichteten Portalrahmen abgegeben worden. Die äußere Stütze dieses Rahmens ist in Abb. 25 zu erkennen.

Die Längsbewehrung der neuen Auflagerbänke ist in Brückenachse gestoben und unter Beilage von Flacheisen zusammengeschweißt worden. Abb. 26 zeigt die letzte Flutöffnung im neuen Zustande.

IV. Probelastungen.

Zur Feststellung der Wirkung der Verstärkungen sind an den Strom- und Flutüberbauten vor und nach der Verstärkung mit den gleichen Lastenzügen und in denselben Laststellungen die Durchbiegungen gemessen worden. Um bei den Stromüberbauten außerdem Klarheit über das Zusammenwirken der Verstärkungsteile mit den alten Bauteilen und daneben einen Vergleich zwischen den rechnerischen und den tatsächlichen Stabspannungen zu erhalten, sind nach der Verstärkung an einer Anzahl von Stäben auch die Spannungen ermittelt worden. Bei sämtlichen Messungen war die Verkehrslast ruhend. Auf Untersuchungen bei bewegter Last mußte verzichtet werden, weil die wenigen zur Verfügung stehenden Betriebspausen ausgedehntere Belastungsversuche nicht zuließen.

An den zweigleisigen Stromüberbauten waren für die gleichzeitige Belastung beider Gleise zwei Züge nach Abb. 27 gestellt. Für die Belastung der eingleisigen Flutüberbauten sind vor und nach der Ver-

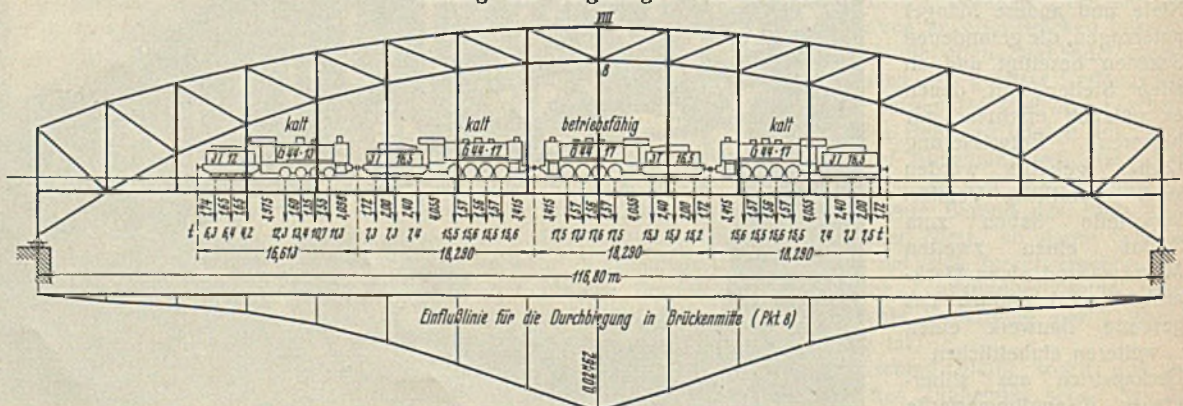


Abb. 27. Probelastung der Stromüberbauten.

³⁾ Stahlbau 1932, Heft 2, S. 15.—
Bauing. 1932, Heft 5/6, S. 85.

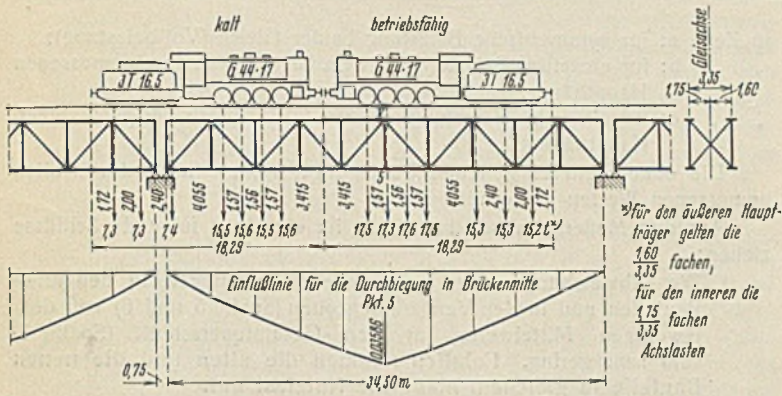


Abb. 28. Probekonstruktion der verstärkten Flutüberbauten.

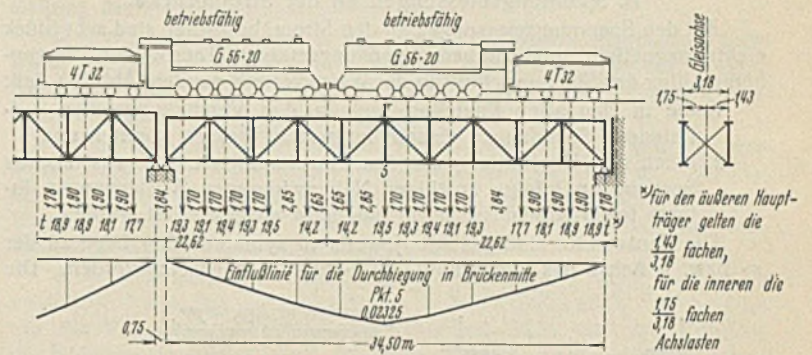


Abb. 29. Probekonstruktion der neuen Flutüberbauten.

stärkung die beiden mittleren Lokomotiven eines dieser Lastenzüge (Abb. 28), nach der Verstärkung außerdem noch zwei neuere Güterzuglokomotiven Bauart G 56.20 (Abb. 29 u. 30) benutzt worden.

A. Durchbiegungsmessungen.

Die Senkungen der Knotenpunkte in der Mitte der Hauptträgeruntergurte, an denen kleine Meßtafeln angeklemt waren, sind mit Nivellierinstrumenten abgelesen worden.

Aus dem in nachstehender Tabelle angegebenen Ergebnis der verschiedenen Messungen an den Stromüberbauten ist zunächst zu ersehen, daß die vor und nach der Verstärkung gemessenen Durchbiegungen sämtlich mit geringen Abweichungen etwa 77% der jeweiligen rechnerischen Durchbiegung betragen. Der Unterschied zwischen den wirklichen und den rechnerischen Werten entspricht der üblichen Erfahrung. Er ist im wesentlichen begründet durch die Außerachtlassung der Steifigkeit der Knotenbleche und Laschenverbindungen bei der Berechnung.

Bei Abrundung auf volle Millimeter ergibt sich weiter, daß die wirkliche Durchbiegung bei den nacheinander aufgebrauchten einseitigen Belastungen auf dem Gleis nächst dem gemessenen Hauptträger und auf dem abseits gelegenen Gleis (Spalten 10 und 13) jeweils etwa den gleichen Hundertsatz der entsprechenden rechnerischen Durchbiegung erreicht wie bei der Vollbelastung. Dies beweist, daß die wirkliche Lastverteilungszahl nur wenig abweicht von der rechnerischen, die sich aus den Gleisabständen ergibt zu:

$$\alpha = \frac{6,50}{9,00} \approx 0,72 \text{ bzw. } \alpha = \frac{2,50}{9,00} \approx 0,28.$$

Bei einseitiger Belastung verursacht also die Steifigkeit der Querverbände nur eine geringe Entlastung des dem belasteten Gleis zunächst liegenden Hauptträgers. Die Addition der Werte in Spalte 10 und 13 für einseitige Belastung zeigt nebenbei eine gute Übereinstimmung mit den Werten der Spalte 7 für Vollbelastung.

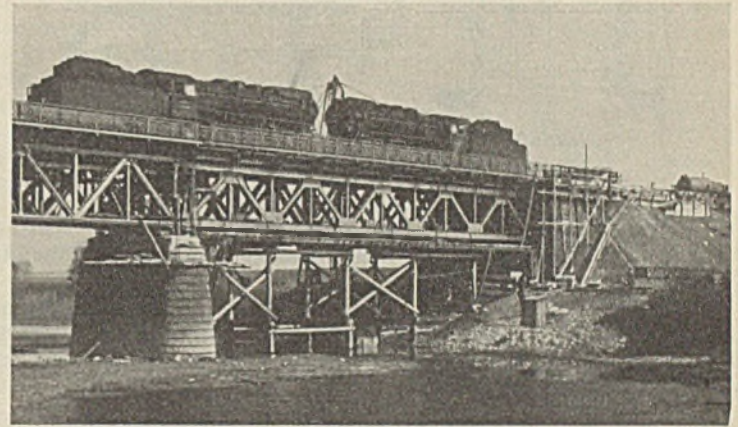


Abb. 30. Lichtbild zu Abb. 29.

Bei den verstärkten Flutüberbauten hat die wirkliche Durchbiegung vor und nach der Verstärkung durchschnittlich 72% der rechnerischen betragen. Sie ergab sich in der Mitte der durch Verkehr stärker belasteten inneren Hauptträger nach der Verstärkung im Mittel zu 17 mm bei Belastung mit Lokomotiven G 44.17 und zu 22 mm bei Belastung mit Lokomotiven G 56.20. Die mit den erstgenannten Lokomotiven an allen 32 Überbauten ermittelte Durchbiegungsverbesserung von im Mittel 1,5 mm stimmt mit der rechnerischen gut überein. Bleibende Durchbiegungen von Belang sind an diesen Überbauten nicht aufgetreten.

An den beiden neuen Flutüberbauten erreichten die wirklichen Durchbiegungen durchschnittlich nur 60% der berechneten Werte. Der Unterschied ist noch größer als bei den verstärkten Überbauten, weil in

Ergebnis der Durchbiegungsmessungen an den Stromüberbauten.

Überbau	Hauptträger	Durchbiegungen ¹⁾												Bemerkungen
		vor der Verstärkung						nach der Verstärkung						
		bei Belastung beider Gleise			bei Belastung beider Gleise (Vollbelastung)			bei einseitiger Belastung auf dem Gleis nächst dem gemessenen Träger			abselts des gemessenen Trägers			
		Rechnung δ_R mm	Messung δ_M mm	$\frac{\delta_M}{\delta_R}$	Rechnung δ_R mm	Messung δ_M mm	$\frac{\delta_M}{\delta_R}$	Rechnung $\delta_R^{2)}$ mm	Messung δ_M mm	$\frac{\delta_M}{\delta_R}$	Rechnung $\delta_R^{2)}$ mm	Messung δ_M mm	$\frac{\delta_M}{\delta_R}$	
Seitenöffnung I	Nord	68	53	0,78	52	39	0,75	37	28	0,76	15	12	0,80	¹⁾ Meßpunkt: Mitte der Bogenuntergurte. Die gemessenen Werte sind fett gedruckt. ²⁾ Aus Spalte 6 mit der rechnerischen Lastverteilungszahl $\alpha = 0,72$ bzw. $\alpha = 0,28$ ermittelt.
	Süd	68	52	0,77	52	39	0,75	37	28	0,76	15	11	0,73	
Mittelöffnung II	Nord	73	58	0,79	52	41	0,79	37	29	0,78	15	12	0,80	
	Süd	73	58	0,79	52	42	0,81	37	30	0,81	15	13	0,80	
Seitenöffnung III	Nord	68	52	0,77	52	40	0,77	37	29	0,78	15	10	0,67	
	Süd	68	51	0,75	52	40	0,77	37	28	0,76	15	11	0,73	

Schließlich erkennt man bei einem Vergleich der Werte in Spalten 4 und 7 bzw. 3 und 6, daß der wirkliche Rückgang der Durchbiegung infolge der Verstärkung — bei den Seitenöffnungen um etwa 24%, bei der Mittelöffnung um etwa 28% — dem nach der Rechnung zu erwartenden Rückgang gut entspricht. Nennenswerte bleibende Durchbiegungen sind nicht beobachtet worden.

der Berechnung neben der Steifigkeit der Knotenbleche und Laschenverbindungen auch die Steifigkeit der durchgehenden Buckelblechfahrbahn nicht berücksichtigt ist. Die elastischen Durchbiegungen ergaben sich an dem durch Verkehr stärker belasteten inneren Hauptträger bei Belastung mit Lokomotiven G 56.20 zu 12 mm. Die bleibenden Senkungen waren geringfügig.

B. Spannungsmessungen an der Strombrücke.

Bei den Spannungsmessungen an den Stromüberbauten sind acht Stück elektromagnetisch anklammerbare Spannungsmesser (Tensometer Huggenberger) über den Stabquerschnitt in der Weise verteilt worden (Abb.31), daß:

1. die in den alten Bauteilen und in den Verstärkungsteilen auftretenden Spannungen einzeln festgestellt werden konnten und
2. durch die Mittelbildung aus den Einzelmeßwerten die zusätzlichen Spannungen infolge zufälliger Nebenwirkungen (Verbiegungen infolge fester Anschlüsse usw.) möglichst ausgeschaltet werden.

Die Tensometer sind deshalb jeweils in symmetrischer Lage zu der x- bzw. y-Achse des Querschnitts in Stabmitte angesetzt worden. Die

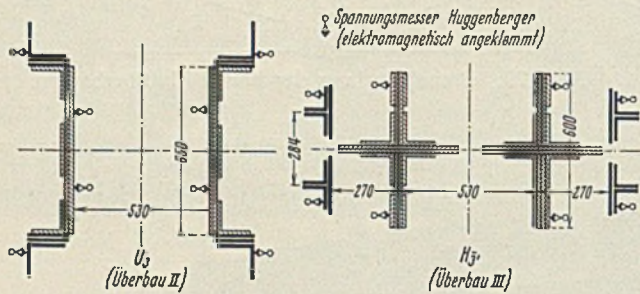


Abb. 31. Anordnung der Spannungsmesser.

im allgemeinen gute Übereinstimmung der Einzelmeßergebnisse mit den maßgebenden Mittelwerten hat später gezeigt, daß die gewählte Anordnung zweckentsprechend war.

Die Spannungsmessungen sind am 19. Oktober 1932 gleichzeitig mit den abschließenden Durchbiegungsmessungen vorgenommen und im März 1933 zur Aufklärung verschiedener Unstimmigkeiten nochmals wiederholt bzw. ergänzt worden.

Für die Messungen I am 19. Oktober 1932 hatte man, um ein möglichst umfassendes Ergebnis zu erhalten, verschiedene Stäbe an den nördlichen Hauptträgern aller drei Stromüberbauten (Abb. 32) ausgewählt. Auf die an diesem Tage noch vom Eisenbahnbetrieb freie Nordseite konnte man sich beschränken, weil beide Hauptträger jedes Überbaues gleichartig verstärkt waren.

Nach der symmetrischen Belastung beider Gleise durch die Lastenzüge nach Abb. 27 (Vollbelastung) ist zunächst das eine Gleis geräumt, das andere weiterbelastet (einseitige Belastung) und schließlich diese einseitige Belastung umgekehrt worden. Dementsprechend enthält die nachstehende Zusammenstellung der Meßergebnisse folgende Werte:

- in Zelle a: für symmetrische Belastung beider Gleise (Vollbelastung);
- „ „ b: für einseitige Belastung auf dem Gleis nächst dem gemessenen Hauptträger;
- „ „ c: für einseitige Belastung auf dem Gleis abseits des gemessenen Hauptträgers.

Die ohne weiteres geltende Bedingung: $b + c = a$ wird von allen gemessenen Werten gut erfüllt.

Aus den Meßergebnissen kann man im einzelnen folgende Schlüsse ziehen:

1. Die Abweichungen der gemessenen Spannungen in den alten Bauteilen und in den Verstärkungsteilen (Spalte 5 und 6) von dem jeweiligen Mittelwerte für den Gesamtquerschnitt (Spalte 7) sind sehr gering. Folglich nehmen die alten und die neuen Bauteile in gleichem Maße die Nutzlast auf.
2. Die Lastverteilungszahlen bei einseitiger Belastung ergeben sich aus Spalte 7 im Mittel zu:

$$\alpha = \frac{b}{a} \approx 0,69 \text{ bzw. } \bar{\alpha} = \frac{c}{a} \approx 0,31$$

gegenüber den bereits im Abschnitt IV A aus den Gleis- und Hauptträgerabständen berechneten Werten von:

$$\alpha \approx 0,72 \text{ bzw. } \bar{\alpha} \approx 0,28.$$

Es zeigt sich also auch hier, wie bei den Durchbiegungsmessungen, ein nur unerheblicher Einfluß der Steifigkeit der Querverbände.

3. Die gemessenen Stabkräfte (Spalte 8) liegen sämtlich unter den für die Probelast berechneten (Spalte 9), also auf der sicheren Seite. Dabei ist hinsichtlich der berechneten Stabkräfte noch zu bemerken, daß sie, weil die übliche Annahme von reibungslos beweglichen Lagern nicht ganz der Wirklichkeit entspricht, unter Berücksichtigung eines Reibungswiderstandes am beweglichen Lager von der Größe $R = \mu A$ ermittelt sind mit dem Reibungswert $\mu = 0,03$ (rollende Reibung nach BE 1934, S. 50) und dem Auflagerdruck A aus ständiger Last und Probelast. Diese Annahme bewirkt eine gewisse Annäherung der berechneten und der gemessenen Stabkräfte. Trotzdem ist jedoch die aus Spalte 10 sich ergebende Abweichung — bei der Schrägen D_1 mit 39% und bei dem Zugbandstab H_{3y} mit 29% — noch so groß, daß die Frage zu untersuchen war, wodurch diese erheblichen Unterschiede hervorgerufen sind.

Als wahrscheinliche Ursache der nach Ziffer 3 verbliebenen Unstimmigkeiten sind zunächst zwei Möglichkeiten in Betracht gezogen worden:

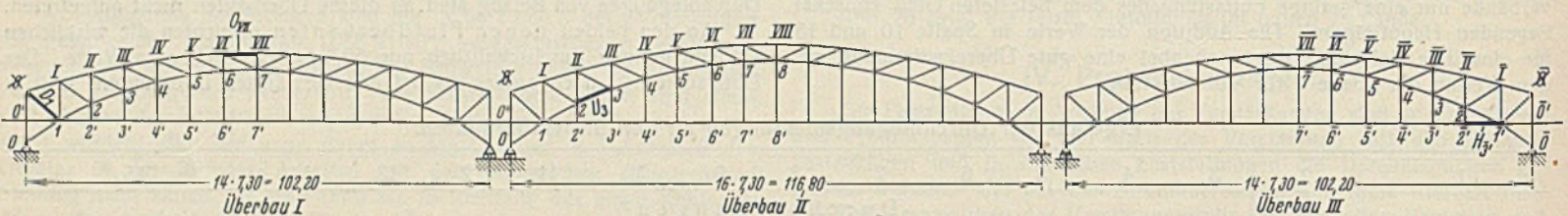


Abb. 32. Ergebnis der Spannungsmessungen I.

Ergebnis der Spannungsmessungen I.

Tag der Messung	Überbau	Stab	Laststellung	Gemessene Spannung			Stabkraft nach der		$\frac{S_M}{S_R}$	Bemerkungen
				in den alten Bauteilen	in den neuen Bauteilen	im Gesamtquerschnitt (gemittelt)	Messung	Rechnung ²⁾		
				σ_a kg/cm ²	σ_n kg/cm ²	σ_m kg/cm ²	S_M t	S_R t		
19. Oktober 1932	I	D_1	a	+ 157	+ 147	+ 152	+ 124,3	+ 202,5	0,61	1) F = voller Querschnitt des verstärkten Stabes. 2) Mit Berücksichtigung des Reibungswiderstandes am beweglichen Lager $R = \mu A = 0,03 A$. 3) Stab O_{VII} ist nur in Lastenstellung b gemessen.
			b	+ 108	+ 94	+ 101	+ 84,2	—	—	
			c	+ 51	+ 40	+ 46	+ 39,3	—	—	
	II	O_{VII} ³⁾	a	— 335	— 312	— 324	— 375,7	— 446,3	0,84	
			b	— 313	— 328	— 321	— 307,3	— 299,2	0,97	
			c	— 215	— 232	— 223	— 212,1	—	—	
	III	U_3	a	— 93	— 86	— 89	— 87,2	—	—	
			b	+ 202	+ 175	+ 190	+ 278,1	+ 393,8	0,71	
			c	+ 136	+ 139	+ 138	+ 195,7	—	—	
		H_{3y}	a	+ 69	+ 67	+ 68	+ 97,0	—	—	
			b							
			c							

- a) Die Zahl von acht Meßpunkten für einen Querschnitt konnte vielleicht nicht ausreichend gewesen sein, so daß zufällig gerade an Stellen, wo keine Spannungsmesser angesetzt waren, sich Spannungen häufen und bei der Mittelbildung ausfallen konnten.
- b) Die Reibungswiderstände am beweglichen Lager konnten größer sein als diejenigen, die sich aus der üblichen Rechnung mit dem Werte $\mu = 0,03$ ergeben.

Um die erwünschte Klärung herbeizuführen, sind, wie bereits erwähnt, im März 1933 am nördlichen Hauptträger des Überbaues I noch die Messungen II ausgeführt worden, bei denen alle Stäbe der beiden Endfelder (Abb. 33) und dazu noch der Obergurtstab O_{VII} gemessen wurden. Die Stäbe der Endfelder waren für den fraglichen Zweck besonders gut geeignet, weil die Ergebnisse bei ihnen durch einfache Regeln der Statik leicht nachgeprüft werden können und weil die Stabkräfte U_1 bzw. $U_{\bar{1}}$ einen Schluß auf die Größe der Lagerreibung zulassen. Es müssen nämlich beim Fehlen waagrecht wirkender Reibungswiderstände die Stabkräfte U_1 gleich Null und die Querkraft im Endfelde von den Stäben O_1 und D_1 allein aufgenommen werden. Die nochmalige Messung des Stabes O_{VII} sollte lediglich einen Vergleich mit dem Ergebnis der Messungen I am selben Stabe ermöglichen.

Leider waren die meßtechnischen Voraussetzungen bei diesen Messungen etwas ungünstiger als bei den Messungen I. Neben zeitweilig widrigen Witterungsverhältnissen (starker Wind und wesentliche Temperaturunterschiede) war von Nachteil, daß wegen des inzwischen wieder aufgenommenen zweigleisigen Betriebes in kurzen Pausen immer nur das Gleis nächst dem gemessenen Hauptträger belastet, also nur die Lastenstellung „b“ der Messungen I ausgeführt werden konnte. Die Meßlänge der Tensometer ist infolgedessen nur gering ausgenutzt worden, so daß die unvermeidbaren Fehlerquellen unverhältnismäßig stark ins Gewicht fallen mußten. Außerdem kam bei nur einseitigen Belastungen in das Ergebnis (s. Tabelle unten) eine gewisse Unsicherheit dadurch, daß die

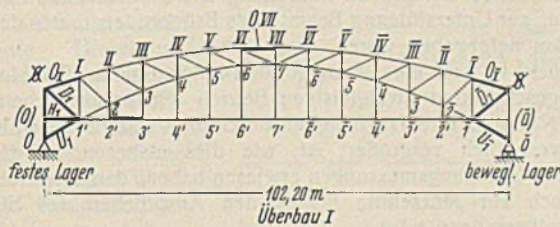


Abb. 33. Ergebnis der Spannungsmessungen II.

Ergebnis der Spannungsmessungen II.

Tag der Messung	Überbau	Stab	Laststellung	Gemessene Spannung im Gesamtquerschnitt (gemittelt) σ_m kg/cm ²	Stabkraft nach der		$\frac{S_M}{S_R}$	Bemerkungen
					Messung $\sigma_m F^1$ = S_M t	Rechnung ²⁾ S_R t		
					1	2		
14. März 1933	I	O_1	b	-141	-69,6	-75,5	0,92	1) F = voller Querschnitt des verstärkten Stabes. 2) Mit Berücksichtigung der waagerechten Widerstände auf der Seite der beweglichen Lager und der mittleren Lastverteilungszahl $\alpha = 0,69$.
		D_1	b	+102	+82,1	+96,9	0,85	
		U_1	b	-312	-80,0	-80,0	1,00	
23. März 1933	I	$O_{\bar{1}}$	b	-145	-71,5	-84,8	0,84	
		$D_{\bar{1}}$	b	+118	+95,0	-108,8	0,87	
		$U_{\bar{1}}$	b	-110	-28,2	-28,2	1,00	
14. März 1933	I	H^1	b	+113	+162,0	+194,0	0,84	
		O_{VII}	b	-206	-235,0	-290,6	0,81	

Lastverteilungszahl, die an den einzelnen Stellen eines Überbaues infolge verschieden großer Steifigkeit der Querverbände sehr gut unterschiedliche Werte haben kann, in den rechnerischen Stabkräften (Spalte 7) nicht mit einem versuchs-technisch nachgewiesenen, sondern nur mit dem bei den Messungen I festgestellten mittleren Werte $\alpha = 0,69$ berücksichtigt werden konnte. Immerhin ermöglichten auch diese Messungen unbedenklich bestimmte Folgerungen. Aus ihren Ergebnissen war zu entnehmen:

1. Bei der durch mehrmaliges Umsetzen der Tensometer verwirklichten Anordnung von 14 bis 20 Meßpunkten in einem Querschnitt werden keine wesentlich anderen Ergebnisse erzielt als bei nur 8 Meßpunkten. Die Mittelwerte der Spannungen stimmen vielmehr in beiden Fällen so befriedigend überein, daß die Zahl von 8 Meßpunkten unter der Voraussetzung zweckentsprechender Anordnung als ausreichend bezeichnet werden darf.

2. Der Hilfsstab H^1 , der theoretisch die Stabkraft Null hat, nimmt tatsächlich nur eine sehr geringe Kraft auf, die für die vorliegende

Untersuchung belanglos ist. Der Stab ist deshalb in der Zusammenstellung der Ergebnisse nicht enthalten.

3. Die Nachprüfung der in den beiden Endfeldern gemessenen Stabkräfte mit Hilfe der Gleichgewichtsbedingungen $\Sigma V = 0$ für das lotrechte Schnittfeld und $\Sigma H = 0$ für Knotenpunkt \emptyset ergibt nur geringe, in vertretbaren Grenzen liegende Abweichungen von im Mittel 7%.

4. Die gemessenen Stabkräfte D_1 und O_{VII} stimmen mit den entsprechenden Werten der Messungen I (s. S. 552) gut überein. Da O_{VII} bei den Messungen I nur in Laststellung „a“ ermittelt war, muß beim Vergleich der Meßwerte dieses Stabes die früher gefundene Lastverteilungszahl $\alpha = 0,69$ berücksichtigt werden.

5. In den theoretisch spannungslosen Stäben U_1 und $U_{\bar{1}}$ werden erhebliche Kräfte, $U_1 = -80$ t, $U_{\bar{1}} = -28,2$ t, festgestellt. Sie können nur durch äußere Widerstände hervorgerufen sein, die der Dehnung des Bauwerks entgegenwirken. Als solche kommen in Frage die Reibungswiderstände in den beweglichen Lagern und in den über den Lagern liegenden Gleissträngen.

Zunächst hatte man nur an die Widerstände in den Lagern gedacht. Auch die mit Kienzle-Uhren gleichzeitig mit den Spannungen gemessenen Längsverschiebungen der beweglichen Lager deuteten auf starke Reibungswiderstände in den Lagern hin. Es sind bei Belastung des Überbaues nur 5 bis 7 mm große Verschiebungen gemessen worden, gegenüber der für Lastenstellung „b“ errechneten Verschiebung von 15 mm. Die Erklärung für den durch eine bestimmte Lagerreibung nicht begründeten Unterschied zwischen den Stabkräften U_1 und $U_{\bar{1}}$ hat man zunächst ausschließlich in den Temperaturabweichungen an den beiden Meßtagen gesucht. Bei der Messung des Stabes U_1 (am festen Lager) am 14. März 1933 herrschten verhältnismäßig hohe, am 23. März 1933, Messung von $U_{\bar{1}}$ (am beweglichen Lager) recht niedrige Temperaturen. Es ist leicht möglich, daß bei gewissen Grenztemperaturen — in vorliegendem Falle hohen — die Rollen weniger benutzte Teile der Laufflächen berühren und dort größere Reibungswiderstände infolge von Rost, Verschmutzungen, Verformungen u. dgl. finden.

In verschieden großen Reibungszahlen an den beiden Meßtagen darf aber nicht der alleinige Grund für den Unterschied der Kräfte in den beiden Untergurtstäben gesucht werden. Aus späteren Messungen an anderen Bauwerken konnte vielmehr geschlossen werden, daß auch die Gleiswiderstände einen erheblichen Einfluß ausüben. Es ist somit anzunehmen, daß auf der Seite des beweglichen Lagers des Überbaues I den Dehnungen ein Gesamtwiderstand in waagerechter Wirkung entgegenwirkt, der sich aus der Lagerreibung und den Gleiswiderständen zusammensetzt. Im Stab $U_{\bar{1}}$ am beweglichen Lager wird in erster Linie die Lagerreibung eine Kraft erzeugen. Dagegen wird am festen Lager, wo der Gleiswiderstand in Anbetracht der nur geringen Verschiebungen bedeutungslos ist, die Gegenkraft in der Größe des Gesamtwiderstandes auf der Seite des beweglichen Lagers auftreten und im Stab U_1 eine entsprechend größere Kraft entstehen als im Stab $U_{\bar{1}}$.

Die Messungen an den beiden Untergurtstäben und die Verschiebungsmessungen an den Lagern haben gezeigt, daß die Bewegungsmöglichkeit der beweglichen Lager des Überbaues I durch Widerstände behindert wird, die erheblich größer sind als die Reibungskräfte, die sich unter Benutzung der Reibungszahl $\mu = 0,03$ der BE ergeben. Inwieweit diese Widerstände durch die Lagerreibung oder durch die Gegenkraft des Gleises hervorgebracht werden, bedarf noch der Klärung. Es scheint aber schon jetzt festzustehen, daß der von mannigfachen Faktoren abhängige μ -Wert für rollende Reibung, namentlich bei älteren, längere Zeit in Betrieb befindlichen Brücken, größer angenommen werden muß, als in den BE vorgeschrieben.

6. Beim Vergleich der gemessenen Stabkräfte (Spalte 6) mit den berechneten (Spalte 7), in denen der Einfluß der waagerechten Widerstände auf der Seite des beweglichen Lagers angenähert berücksichtigt ist, ergeben sich die in Spalte 8 enthaltenen Verhältniszahlen, bezogen auf die berechneten Werte. Die Abweichungen von der Sollzahl 1 sind wesentlich geringer als bei den Messungen I, bei denen offensichtlich die Reibungskräfte, mangels Feststellung der tatsächlichen Reibungszahl, nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt sind. Geschieht dies, so sinken auch bei jenen Messungen die zunächst unerklärlichen größeren Hundertsätze der Abweichungen auf wesentlich niedrigere Werte herab.

Durch die Messungen I war bereits die volle Mitwirkung der Verstärkungsteile bei der Aufnahme der Verkehrslasten nachgewiesen. Nachdem die bei jenen Messungen noch verbliebenen größeren Abweichungen zwischen den berechneten und den gemessenen Stabkräften durch die Messungen II hinsichtlich ihrer wahrscheinlichen Ursachen hinreichend geklärt worden sind, kann das Gesamtergebnis der Messungen als befriedigend bezeichnet werden. Außerdem haben sich wertvolle Fingerzeige für die künftige Behandlung ähnlicher Aufgaben ergeben.

Sämtliche Spannungsmessungen, auch die unter III B3 geschluderten für den Einbau der Zugbandverstärkungen, sind vom Ingenieurlaboratorium der Technischen Hochschule Darmstadt nach Vorschlag und unter Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Kayser ausgeführt worden. Ihm und seinen Mitarbeitern sei auch an dieser Stelle für die wertvolle Mithilfe und für die große Mühewaltung verbindlichst gedankt. Die vorliegenden Mitteilungen über die Spannungsmessungen stützen sich auf die von Prof. Dr. Kayser erstatteten Berichte.

V. Bauleistungen.

Die gesamte eingebaute Stahlmenge ergibt sich aus folgender in runden Zahlen aufgestellten Gewichtszusammenstellung zu 1300 t ohne und zu 1565 t mit Fahrbahnbelag.

Überbauten	Gewicht			
	der un- verstärkten Überbauten	der Ver- stärkungsteile (ohne Fahr- bahnbelag)	der ausge- bauten Teile (Schrot)	der verstärkten Überbauten
	t	t	t	t
3 Stromüber- bauten . . .	2800	900	50	3650
34 Flutüber- bauten (ein- schließl. der 2 erneuerten)	2500	400	150	2750
zusammen	5300	1300	200	6400

In dem Gewicht der Verstärkungsteile sind enthalten etwa 90 t = rd. 180 000 Stück Baustellenniete. Hinzu kommen noch 5300 m² Waffelbelag der Fahrbahn im Gewicht von rd. 265 t.

Die Gesamtkosten für die im Frühjahr des Jahres 1931 vergebenen Stahlbauarbeiten einschl. des Fahrbahnbelages haben rd. 1 650 000 RM, die Kosten für die sonstigen Arbeiten, wie Anstrich, Zimmermannsarbeiten, Tiefbauarbeiten, betriebliche Maßnahmen usw., rd. 250 000 RM betragen.

Sämtliche Verstärkungsarbeiten an den Stromüberbauten waren an die Gesellschaft Harkort AG in Duisburg, die an den Flutüberbauten an Hilgers AG in Rheinbrohl übertragen. Infolge guter Vorbereitung und zweckdienlicher Baustelleneinrichtungen war es beiden Stahlbauanstalten

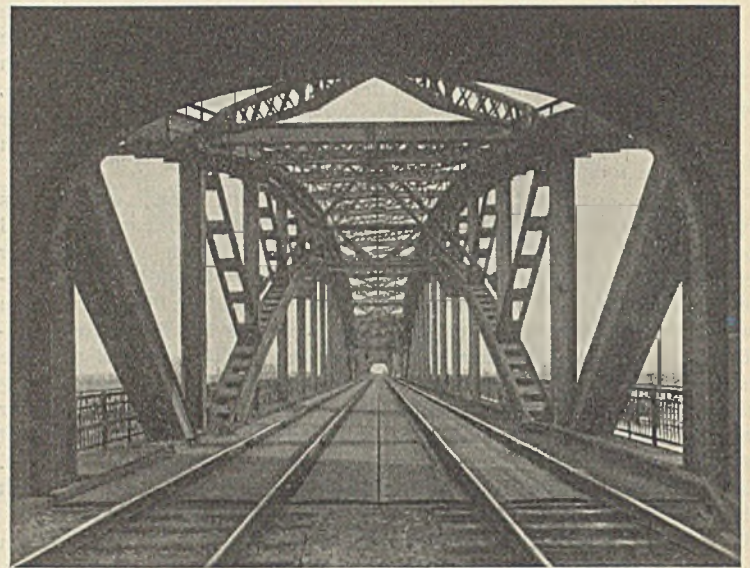


Abb. 34. Innenansicht der verstärkten Strombrücke.

möglich, die Arbeiten mit der gebotenen Sorgfalt und ohne jeden Unfall in der vertraglich vorgesehenen Frist zu vollenden.

Die durchschnittliche Belegschaft der Stahlbauanstalten und der mit der Ausführung der sonstigen Arbeiten beauftragten ortsansässigen Unternehmungen, jedoch ausschließlich der Reichsbahn-Oberbauarbeiter, betrug 100 Mann.

Die obere Leitung der gesamten Arbeiten hatte die Reichsbahndirektion in Mainz, die örtliche Bauleitung das Reichsbahnbetriebsamt in Worms, dem zur Unterstützung Beamte des Brückendezernates der Reichsbahndirektion beigegeben waren.

Die Brücke ist nach einer Bauzeit von 14 Monaten am 19. Oktober 1932 dem uneingeschränkten zweigleisigen Betrieb wieder übergeben worden (Abb. 34). Nachdem ihre Tragfähigkeit durch die Verstärkung auf Klasse [E] nunmehr wesentlich vergrößert ist, wie dies insbesondere die Durchbiegungs- und Spannungsmessungen erwiesen haben, darf erwartet werden, daß sie noch auf Jahrzehnte hinaus den Ansprüchen des Eisenbahnbetriebes voll genügen wird.

Alle Rechte vorbehalten.

Die Wanderung der Sandriffe vor den ostfriesischen Inseln.

Von Reglerungs- und Baurat Gaye (chem. Norden in Ostfriesland) und Regierungsaurat Dr.-Ing. Walther (chem. in Norderney).

I. Naturkräfte und Küstengestaltung.

1. Allgemeine Beschreibung der ostfriesischen Inselküste.

Die ostfriesische Küste und die davorliegenden Düneninseln haben sich in früherer Zeit im gegenseitigen Angriff der Naturkräfte ständig verändert. Etwa seit 1850 haben sie die Form angenommen, wie sie auch heute noch besteht. Seitdem wirken zwar die Angriffskräfte der Natur in gleicher Weise fort. Durch Eingreifen des Menschen ist aber der aus den Naturkräften bedingte Ablauf der Veränderungen gestört bzw. aufgehalten worden.

Die nach Osten gerichteten Kräfte der Strömungen und des Wellenschlages griffen von jeher die Westenden der Inseln Borkum, Norderney, Baltrum, Spiekeroog und Wangeroog stark an (Abb. 1 u. 2). Alle diese Inseln sind seit 1859 an ihren Westenden durch ausgedehnte Uferschutzbauten geschützt worden¹⁾. Den letzten Anlaß zur Anlage dieser Bauten mag die Zerstörung des größten Teiles des damaligen Westdorfes von Wangeroog im Jahre 1854 gegeben haben.

Die Westenden der aufgeführten Inseln haben auch nach Anlage der Uferschutzwerke noch Veränderungen erfahren, die sich hauptsächlich durch Abnahme des Strandes im Bereich der Uferschutzwerke bemerkbar machten. Die Werke mußten daher im Laufe der Jahrzehnte bedeutend verstärkt, erweitert und umgebaut werden. Es ist nicht ausgeschlossen, daß für die Erhaltung des Westteiles der Inseln auch weiterhin beträchtliche Kosten aufgewendet werden müssen, wenn es nicht gelingt, die Naturkräfte, insbesondere die Meeresströmungen, so zu lenken, daß sich die Inseln selbst erhalten.

Der Nordstrand sowie die Ostenden der Inseln haben sich dagegen im allgemeinen günstig entwickelt. Teilweise ist seit 1860 noch eine bedeutende Vergrößerung der Dünengebiete — zum Teil durch Dünenarbeiten unterstützt — eingetreten; dies ist z. B. der Fall auf Juist, Norderney und Langeoog. Auf dem Memmert verdanken die heutigen Dünengruppen ihre Entstehung im wesentlichen der menschlichen Arbeit.

¹⁾ Fälscher, Über Schutzbauten zur Erhaltung der ost- und nordfriesischen Inseln. Z. f. Bauwes. 1905. — Krüger, Meer und Küste bei Wangeroog und die Kräfte, die auf ihre Gestaltung einwirken. Z. f. Bauwes. 1911. — Kranz, Die Arbeiten und Bauten auf den ostfriesischen Inseln von Borkum bis Spiekeroog. Jahrb. d. Hafenbautechn. Ges. 1931. — Gaye, Entwicklung und Erhaltung der ostfriesischen Inseln. Ztbl. d. Bauw. 1934, Heft 22.

2. Die Gestaltung der ostfriesischen Küste und ihre Abhängigkeit von den Meeresströmungen.

Die bei der Gestaltung der ostfriesischen Inselküste mitwirkenden Naturkräfte sind in einer früheren Abhandlung eingehend untersucht worden²⁾. Auf die Wirkung des Wellenschlages und der Brandung wurde dabei nur allgemein eingegangen, da diese nur schwer abzuschätzen und von den Wirkungen der Strömungen zu trennen ist. Es steht jedoch fest, daß neben den Strömungen dem Wellenschlag eine große Bedeutung für die Verfrachtung der Sandmassen zukommt.

In der erwähnten Abhandlung wurden für die allgemeine Gestaltung der Küste und der Seegaten folgende maßgebende Hauptmerkmale festgestellt:

- die Grundrißgestaltung und Größe der Wattengebiete,
- die Größe der wasserführenden Querschnitte der Seegaten,
- das Maß der bei allen Inseln vorhandenen Staffelung nach Norden (jede östlicher gelegene Insel liegt zugleich nördlicher als die vorhergehende),
- die Gesamtlänge der Inseln.

In Abb. 3 sind die hinter jeder Insel gelegenen Wattwasserscheiden 1. Ordnung eingetragen, die das zu jedem Seegat gehörende Wattengebiet nach Westen und Osten begrenzen. Ferner sind die Wattwasserscheiden 2. Ordnung eingetragen,

die die Wattengebiete in ein westliches und östliches Untergebiet unterteilen. Die Größe der überstauten Wasserflächen (W_0 bei M. Spr.-NW und W_h bei MHW) sowie die Maße der Staffelung a und der Insellänge l sind angegeben³⁾.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß einmal das Verhältnis zwischen den Durchflußquerschnitten der einzelnen Seegaten und den zu bewältigenden Durchflußmengen annähernd das gleiche ist, und daß ferner zwischen den mittleren Wasserflächen $W_m = \frac{W_0 + W_h}{2}$ und der

Staffelung a sowie der Insellänge l eine gewisse gesetzmäßige Abhängigkeit besteht, wie sie in Abb. 4 graphisch dargestellt ist.

Für die Lage der Hauptstromrinnen ist die Grundrißgestaltung und das Größenverhältnis der Untergebiete im Watt von Bedeutung. Der Größenanteil der westlichen und östlichen Unter-

²⁾ Walther, Die Gezeiten und Meeresströmungen im Norderneyer Seegat. Bautechn. 1934, Heft 13.

³⁾ Vgl. Walther, Fußnote 2.

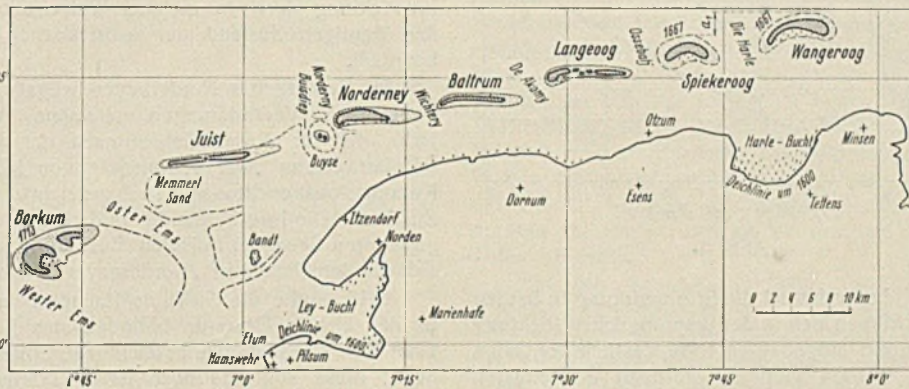


Abb. 1. Zustand der Küste um 1600 bis 1650.

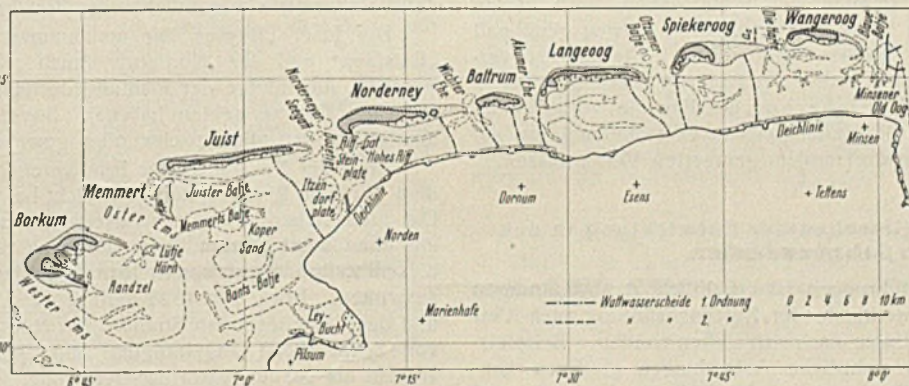


Abb. 2. Zustand der Küste 1930.

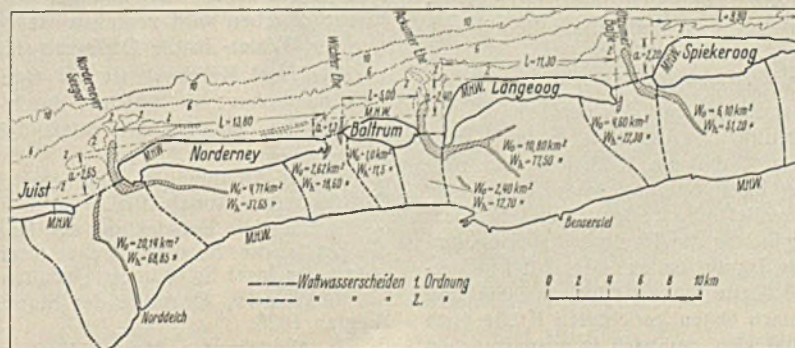


Abb. 3. Einteilung der Wattengebiete.

gebiete (vgl. Abb. 3) ist in nebenstehender Zusammenstellung enthalten.

In Abb. 3 sind alle Flächen, die im Wattengebiete tiefer liegen als die 6-m-Tiefenlinie, schraffiert. Hierdurch ist Lage und Richtung der Hauptstromrinnen gekennzeichnet. Es ergeben sich zwei Hauptformen der Seegaten, die sich durch die Lage ihrer Stromrinnen und die Wassermengenverteilung in den zugehörigen Wattengebieten wesentlich unterscheiden:

1. Im Norderneyer Seegat und der Wichter Ehe hat das westliche Wattengebiet mit 67,7 % bzw. 63,0 % des Gesamtgebiets das Übergewicht. In beiden Seegaten ist daher der Hauptebbstrom gegen die Westenden der östlich gelegenen Inseln gerichtet; die Stromrinnen haben im Seegat eine etwa nordnordöstliche Richtung und liegen hart an den Westenden der Inseln.

2. In der Akkumer Ehe und der Otzumer Balje dagegen überwiegt das östliche Wattengebiet mit 85,4 % bzw. 68,1 % des Gesamtgebiets. Der Hauptebbstrom ist daher hier zunächst etwa nach Nordnordwesten gerichtet; die Stromrinnen setzen von den Westenden der östlich gelegenen Inseln ab. Immerhin ist die Stromwirkung in beiden Seegaten nicht so groß, daß die Rinnen sich in der ursprünglichen Richtung einen Weg durch die vom Flutstrom aufgebauten Riffe westlich der Gaten bahnen können. Die Rinnen werden vielmehr nördlich der engsten Stellen der Seegaten durch die vom Westen herandrängenden Riffe in eine fast nördliche Richtung abgelenkt. Da die Rinnen jedoch einen gewissen Abstand von den Westenden der Inseln haben, wird diesen durch den Flutstrom über die flacheren Wassertiefen hinweg genügend Sand zugeführt, um dauernde größere Abbrüche der Uferlinie zu vermeiden. Auf Langeoog ist daher bisher der Bau von Uferschutzwerken nicht erforderlich gewesen. Auf Spiekeroog erleiden die vorhandenen Werke geringere Angriffe als die umfangreichen Uferschutzanlagen auf Norderney und Baltrum bei den dort anders gelagerten Verhältnissen.

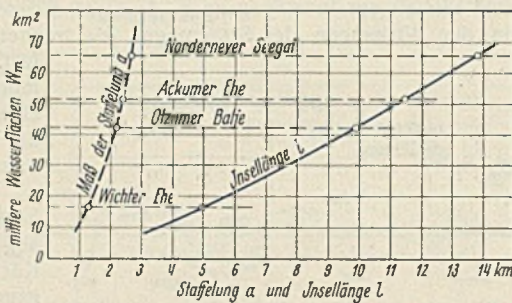


Abb. 4.

3. Rückschlüsse auf die Ursachen der Entwicklung in den letzten Jahrhunderten.

Aus den vorstehenden Ausführungen ist ersichtlich, daß Änderungen eines der untersuchten Hauptmerkmale der Küstengestaltung auch Veränderungen der übrigen Verhältnisse nach sich ziehen werden. Beispielsweise werden künstliche oder natürliche Anlandungen größeren Umfangs an den Ost- und Westenden sowie an der Südseite der Inseln und am Festlande die Wassermengen verkleinern, die durch ein Seegat aus- und einfließen; umgekehrt wird eine Erniedrigung der Watten die Durchflußmengen vergrößern. Auch eine Verlagerung der Wattwasserscheiden würde Veränderungen der Durchflußmengen in den Seegaten hervorrufen können. Unter Umständen kann auch die Lage der Hauptstromrinnen und damit die Hauptangriffsrichtung der Strömung in den Seegaten durch Veränderungen der obigen Art in günstigem oder ungünstigem Sinne beeinflusst werden.

Eine allgemeine Veränderung der Gezeitenverhältnisse in der Nordsee oder eine allgemeine oder örtliche Küstensenkung würde naturgemäß ebenfalls einschneidende Veränderungen in der Küstengestaltung hervorrufen. Auch kann die Küste durch sehr hohe Sturmfluten starke plötzliche Veränderungen erfahren. Die zuletzt genannten Fälle sollen jedoch hier nicht näher erörtert werden.

Die gegenseitige Abhängigkeit der betrachteten Merkmale wird am besten durch die Entwicklung der Harlebucht und des nördlich von ihr liegenden Seegats, der „Harle“, verdeutlicht. Aus den ältesten Karten und zahlreichen Dokumenten ist bekannt, daß um 1600 noch eine tiefe Bucht an der Festlandküste südlich der Inseln Spiekeroog und Wangeroog vorhanden war. Diese ist seitdem vollständig verlandet und bedeckt worden (vgl. Abb. 1 u. 2). Gleichzeitig haben die Inseln Spiekeroog und Wangeroog ihre Lage verändert. Die Inseln haben sich mit der Verlandung der Harlebucht näher an die Küste herangeschoben. Sie sind gleichzeitig unter dem Einfluß der nach Osten gerichteten Kräfte auch nach Osten gewandert. Wangeroog hat sich demnach in ausgesprochen südöstlicher Richtung verlagert, wie der Vergleich von Abb. 1 u. 2 zeigt,

Bezeichnung der Wasserflächen	Norderneyer Seegat			Wichter Ehe			Akkumer Ehe			Otzumer Balje		
	westl.	östl.	zus.	westl.	östl.	zus.	westl.	östl.	zus.	westl.	östl.	zus.
$W_m = \frac{W_o + W_h}{2}$	44,50	21,18	65,68	10,61	6,25	16,86	7,55	44,15	51,70	13,45	28,75	42,20
In % des Gesamtwertes	67,7	32,3	100	63,0	37,0	100	14,6	85,4	100	31,9	68,1	100

und zwar in stärkerem Maße als Spiekeroog⁴⁾. Wenn man annimmt, daß die für 1667 eingezeichnete Lage der Inseln einigermaßen zutreffend ist, so ist das Maß der Staffelung zwischen Spiekeroog und Wangeroog seitdem kleiner geworden; es betrug für

$$1667 \dots \dots \dots a_1 = \text{rd. } 2,9 \text{ km}$$

$$1930 \dots \dots \dots a_2 = \text{rd. } 1,9 \text{ km.}$$

Auch diese Erscheinung ist aus der eingetretenen Verkleinerung des Wattengebietes und der damit ebenfalls verkleinerten Durchflußmenge des Seegats zu erklären. Wenn auch die Ungenauigkeit der Unterlagen weitere zahlenmäßige Rückschlüsse nicht zuläßt, so ist die Tendenz der Entwicklung doch in gleicher Weise erkennbar, wie sie vorstehend für den heutigen Zustand der ostfriesischen Küste näher verfolgt werden konnte⁵⁾.

Im Gebiete des Norderneyer Seegats haben sich seit 1650 ebenfalls beträchtliche Veränderungen vollzogen. Abb. 1 zeigt den Zustand von 1650, der für dieses Gebiet nach der Seekarte aus der holländischen Segelanweisung „Der Zeespiegel“ von 1623 sowie den Angaben eines Kommissionsberichtes von 1650 gezeichnet ist. Abb. 2 zeigt den heutigen Zustand. Die Inseln „Bandt“ und „Buyse“ sind ganz verschwunden. Die getrennten Seegaten Buisdiep (Busetief) und Norderny (Norder Ehe) haben sich zu dem heutigen „Norderneyer Seegat“ vereinigt.

1717 mußte die Siedlung Itzendorf am Festland ausgediecht werden. In der älteren Literatur befinden sich bei Arends⁶⁾ Angaben, daß von 1720 bis 1825 auch eine beträchtliche Erniedrigung des Watts stattgefunden habe; diese soll sich noch im 19. Jahrhundert fortgesetzt haben. Alle diese Umstände deuten darauf hin, daß sich die Wassermassen im Watt und die Durchflußmengen im Norderneyer Seegat im Laufe der letzten drei Jahrhunderte wesentlich vergrößert haben.

Die Insel „Buyse“ lag umklammert von zwei Stromrinnen, dem „Buisdiep“ und der „Norderny“ (auch „Norder Gat“ auf einigen Karten genannt), die infolge der Richtung des Hauptstromstoßes die kleine Insel zwischen sich zermahlen haben⁷⁾. Buyse muß etwa Ende des 18. Jahrhunderts vollständig verschwunden gewesen sein.

Nach der Zerstörung der Insel vereinigten sich beide Stromrinnen zu dem heutigen Rinnensystem (vielleicht bei der großen Sturmflut von 1825). Das große Übergewicht des Busetiefs, das sich im Laufe der Zeit durch die oben geschilderten Umstände noch vergrößert hat, konnte sich von diesem Zeitpunkte ab unmittelbar gegen das Westende der Insel Norderney auswirken. Etwa seit 1825 wird über Abbrüche der westlichen Dünen und des davorliegenden Strandes berichtet, während noch auf einer 1820 von Schlichthorst angefertigten sehr genauen Karte ein Düental im Westen als „neuer Anwachs“ bezeichnet wird.

Auch die vorbeschriebene Entwicklung im Norderneyer Seegat bestätigt die gegenseitige Abhängigkeit der für die Küstengestaltung maßgebenden Hauptmerkmale.

4. Das Westende der Insel Juist.

Die Insel Juist ist die einzige Insel, die nach den vorhandenen Nachrichten mindestens zeitweise nach Westen angewachsen, jedenfalls aber seit langer Zeit hier nicht mehr abgebrochen ist. Die Ursachen dieser Erscheinung können in den gleichen Merkmalen gesehen werden, wie sie für die oben betrachteten Seegaten angegeben wurden: Die Osterems ist als ein großes Seegat anzusehen, das im Verhältnis zu den großen Tidewassermengen nur unwesentliche obere Zuflüsse aus den Sielen erhält; daneben wird vorzugsweise bei Ebbe ein teilweises Überströmen von der Wester- in die Osterems stattfinden.

Die Insel Memmert ist als eine natürliche Hakenbildung der Insel Juist anzusehen; sie wird nur durch die schmale Juister Balje, die vielleicht erst in jüngerer Zeit entstanden ist, von Juist getrennt.

⁴⁾ Die Abbildungen sind gezeichnet nach Wildvang, Der Boden Ostfrieslands. Aurich 1929.

⁵⁾ Über die Entwicklung der Harlebucht vgl. auch: Janssen, Über die Kräfte, die die ostfriesischen Inseln, insbesondere den östlichen Sandstrand der Insel Spiekeroog, gestalten. Diss. T. H. Hannover 1933.

⁶⁾ Arends, Gemälde der Sturmfluten vom 3. bis 5. Februar 1825. Bremen 1826.

⁷⁾ „Norderny“ = Norder Ehe wie Wichtery = Wichter Ehe und Akomy = Akkumer Ehe.

Die Stromrinne der Osterems setzt nun in westnordwestlicher Richtung in See, so daß sich zwischen der Stromrinne und dem Weststrand von Juist und dem Memmert ein großes Gebiet von geringer Wassertiefe gebildet hat, über das sich — ähnlich wie in der Akkumer Ede — die Sandwanderung gegen das Westende von Juist vollziehen kann. Das Westende von Juist erhält so von den der Osterems vorgelagerten Riffen eine ausreichende Sandzufuhr, die auch bis zum Memmert gelangt und an diesen von Nordwesten her Sand heranbringt. Hierdurch werden die dort bei Sturmfluten entstehenden Abbrüche ausgeglichen.

II. Beschreibung der Sandwanderung und Küstenveränderungen.

1. Die Einwirkung von Strömung und Brandung auf den Strand und den Meeresgrund.

Die deutsche Nordseeküste ist eine Flachküste, die sich über den abgesunkenen diluvialen Bodenschichten aus alluvialen Feinsanden aufbaut. Teilweise sind diese Ablagerungen durch Ton- und Moorschichten unterbrochen. Die infolge der Einwirkung der Naturkräfte eintretenden Veränderungen vollziehen sich in der gesamten Küstenzone.

Die auf dem Meeresboden und am Strand vorhandenen Sandmassen, die Korngrößen von 0,05 bis 0,05 mm Durchm. aufweisen, werden durch Wind, Brandung und Strömung verfrachtet.

Der Wind wirkt unmittelbar nur auf den trockenen Strand; er bildet die Dünen.

Der Aufbau und die Veränderung des ständig unter Wasser liegenden Sockels der Küstenzone wird durch Brandung und Strömung bewirkt, deren Gesamtwirkung nach Osten gerichtet ist.

Wellenschlag und Meeresströmung können sich je nach den Umständen in ihrer Wirkung gegenseitig verstärken oder abschwächen und an der einen Stelle Abbruch, an der anderen Stelle Aufbau der Küste herbeiführen.

Die deutsche Nordseeküste weist mit ihren tiefen Strommündungen, Meeresbuchten und Inseln eine reiche Gliederung auf, die das Ergebnis der seit langen Zeiten wirkenden Naturkräfte ist. Die Einwirkung auf die Gesamtgestaltung der Küste ist vorstehend erläutert.

Im folgenden sollen nun Einzelerscheinungen und die Art, wie die Veränderungen vor sich gehen, untersucht werden.

Eine über einen sandigen Untergrund hinwegstreichende Luft- oder Wasserströmung ist bei genügender Stärke in der Lage — je nach Schwere, Größe und Adhäsionskraft der einzelnen Sandteilchen —, aus den oberen Schichten des Untergrundes Sandteilchen in Bewegung zu setzen und fortzuführen. Die Kraft, die hierzu erforderlich ist, wird die „Schleppkraft“ genannt. Ihre Größe ist im allgemeinen abhängig von der lebendigen Kraft der Strömung, d. h. proportional dem Quadrat der Stromgeschwindigkeiten. Im übrigen spielt die Beschaffenheit des Sedimentes an der Bodenfläche eine große Rolle. Beobachtungen und Untersuchungen über diese Fragen liegen zwar schon in größerer Zahl vor; es ist aber nicht möglich gewesen, allgemeine Beziehungen aufzustellen. Vielmehr spielen die örtlichen Umstände eine so große Rolle, daß ein zutreffendes Bild über die Geschlebebewegung jeweils nur durch örtliche Messungen und Beobachtungen gewonnen werden kann.

Die Erscheinung der Sandwanderung wird dadurch noch verwickelter, daß der Untergrund in der Natur meistens keine glatte Oberfläche bildet, sondern mit Riffeln, Strombänken usw. bedeckt ist. So kommt es, daß das einzelne Sandkörnchen an der Oberfläche des Untergrundes keine laminare und ständig fließende Bewegung in gewisser Abhängigkeit von der Stromstärke ausführt, sondern häufig nur kurze Wege durchläuft, um dann im Stromschatten einer Boden-erhebung oder eines Riffes oft für lange Zeit wieder zur Ruhe zu kommen; es wird dann möglicherweise durch mehr oder weniger starke Sandschichten bedeckt und erst später wieder freigespült und von neuem fortgeführt.

Die Unregelmäßigkeiten der Bodenfläche und die turbulente Bewegung des Wassers wirbeln dabei einzelne Sandteilchen vom Boden auf, so daß das Meerwasser bis zu gewisser Höhe über dem Meeresgrunde mit Sandteilchen durchsetzt ist. Es ist häufig beobachtet worden, daß auch auf größeren Meerestiefen nach überschlagenen Brechern auf dem Deck von Schiffen Sandteilchen zurückblieben. Diese Erscheinung beruht aber zum großen Teil auch auf der aufwühlenden Wirkung des Wellenschlages.

Im Tidegebiet ist noch zu beachten, daß die Sandteilchen mit dem Flutstrom eine gewisse Strecke verfrachtet, mit dem Ebbestrom aber dann in umgekehrter Richtung zurückgeworfen werden. Je nachdem, ob die gesamte versetzende Wirkung des Flut- oder Ebbestromes überwiegt, wird sich die resultierende Verschiebung des Sandes in Richtung des einen oder anderen Stromes vollziehen. Ein Anhalt für die Richtung dieser

Bewegung konnte bei der Untersuchung der Strömungen⁸⁾ aus den Restströmen gewonnen werden; diese lassen allerdings keinerlei Rückschlüsse über die Größe der zu erwartenden Verschiebungen zu.

Hinsichtlich der Richtung der Strömung wurde festgestellt, daß vor der ostfriesischen Küste ein im ganzen nach Osten gerichteter Reststrom bzw. „ständiger Küstenstrom“ vorhanden ist.

Gleichzeitig mit den Strömungen wirken häufig Wellenbewegung und Brandung auf den Untergrund ein, und zwar um so stärker, je größer die Wellen sind, d. h. je stärker der Wind ist.

Die nicht brandende Wind- oder Dünungswelle ist theoretisch nicht in der Lage, eine waagerechte Verschiebung von Sandteilchen hervorzurufen, da sich die waagerechten Komponenten ihrer Schwingungen aufheben sollen. Der Sand des Meeresgrundes wird durch die Schwingungen der Wasserteilchen vielmehr hauptsächlich aufgewühlt. Die so aufgewühlten Sandteilchen werden dann um so leichter von der herrschenden Strömung mit fortgeführt.

Dagegen weisen die Brandungswellen starke waagerechte Komponenten ihrer Schwingungen in Richtung der Wellenfortschrittsrichtung auf. Die Brandung ist demnach vornehmlich in der Lage, eine kräftige Verfrachtung von Bodenteilchen zu bewirken; diese Wirkung spielt in der Brandungszone des Strandes die wichtigste Rolle. Die Wirkung der rücklaufenden Welle führt hierbei zur Bildung der „Strandriffe“, die meist in zwei bis drei Reihen hintereinander in gewissen Entfernungen nahezu parallel zur Uferlinie liegen. Schräg auflaufende Wellen begünstigen die Verfrachtung der Sandteilchen längs des Ufers. Die einzelnen Sandteilchen vollführen hierbei mit den auflaufenden und den rücklaufenden Wellen zickzackartige Bewegungen und versetzen sich allmählich längs des Ufers. Bei den überwiegenden Winden aus den westlichen Quadranten ist dieser Einfluß an der ostfriesischen Küste ebenfalls nach Osten gerichtet.

Auf den „Sandbänken“ oder „Sandriffen“, die losgelöst vom Ufer z. B. auf den Riffgürteln vor den Seegaten der ostfriesischen Küste liegen, steht meistens auch eine kräftige Brandung. Wenn die Brandungswellen das Riff überschritten haben und wieder auf tieferes Wasser kommen, schwingen sie in ihrer alten Richtung als Dünungswellen weiter. Auf den Riffen fehlt demnach die Wirkung der rücklaufenden Welle, wie sie am Strande vorhanden ist. Es ist daher anzunehmen, daß die versetzende Wirkung in der Wellenrichtung der auf den Sandbänken der Riffgürtel vor den Seegaten stehenden Brandung besonders stark — stärker als am Strande der Inseln — ist.

Da somit im Bereich der engen Seegaten sowohl die Strömungen als auch die Brandung in besonders großem Maße auf die Verfrachtung der Sandmassen einwirken, so sind dort die Veränderungen besonders stark und am leichtesten zu verfolgen.

2. Erscheinungsformen der Sandwanderung.

Nach den vorstehenden Ausführungen kann man sich nur ein ungefähres Bild davon machen, welche Bewegungen das einzelne Sand-

⁸⁾ vgl. Walther, Fußnote 2.



Abb. 5. Sandriffe vor der „Juister Balje“ zwischen Juist und Memmert. Schrägaufnahme, Blickrichtung nach Nordwest.

Aufnahme: 25. 3. 1930. Freigegeben durch RLM. Hersteller: Luftdienst G. m. b. H., Norderney Nr. 1.



Abb. 6. Das Norderneyer Seegat. Schrägaufnahme, Blickrichtung nach Nordost.
Aufnahme: 22. 3. 1933. Freigegeben durch RLM. Hersteller: Luftdienst G. m. b. H., Norderney Nr. 4.



Abb. 7. Die Wichter Ehe und das Westende von Baltrum.
Schrägaufnahme, Blickrichtung nach Norden.

Aufnahme: 15. 10. 1929. Freigegeben durch RLM. Hersteller: Luftdienst G. m. b. H., Norderney Nr. 5.

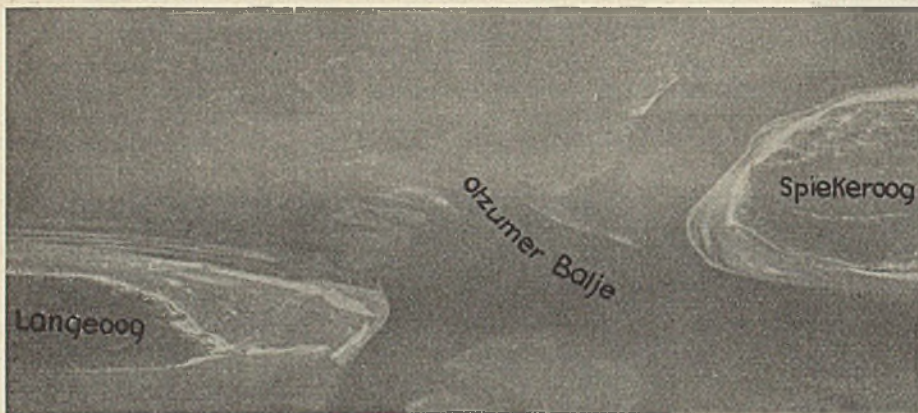


Abb. 8. Die Otzumer Balje. Schrägaufnahme, Blickrichtung nach Norden.

Aufnahme: 2. 10. 1930. Freigegeben durch RLM. Hersteller: Luftdienst G. m. b. H., Norderney Nr. 7.

teilchen infolge der wirkenden Kräfte vollführt; sie im einzelnen zu verfolgen, erscheint sehr schwierig, wenn nicht unmöglich.

Auch die zu beobachtenden „Kleinformen“ der Sandwanderung, wie z. B. die infolge Strömung oder Wellenbewegung entstehenden Bodenriffeln, sind so unbeständig und von so vielerlei örtlichen Einflüssen abhängig, daß sich ihre Veränderungen schwer verfolgen lassen.

Nur die Strandriffe, Sandbänke und Strombänke von größerem Ausmaß, die man als „Großformen“ der Sandwanderung ansehen kann, weisen eine größere Beständigkeit auf. Sie behalten ihre ungefähre Form und Größe meist über längere Zeiträume bei, so daß sich auch ihre Lagenveränderungen durch Peilungen oder Luftbilddaufnahmen in gewissen Abständen verfolgen lassen.

Ebenso wie auf dem trockenen Strande sich der Sand unter Einwirkung des Windes zu geschlossenen Dünen von charakteristischen Formen aufwirft, so haben auch die im Wasser wandernden Sände das

Bestreben, sich — je nach Art, Stärke und Richtung der wirkenden Kräfte — zu Sandbänken oder Sandriffen zusammenzuballen. Diese verändern dann je nach Umständen ihre Lage, d. h. sie wandern.

Die zahlreich vorliegenden Peilpläne aus dem Gebiete der ostfriesischen Inseln können die Gestalt der Riffe und die Formen der Sandwanderung nur ungefähr zeigen. Das beste Mittel sind photographische Aufnahmen. Das Wasserbauamt Norden hat daher in den letzten Jahren zahlreiche Luftbilddaufnahmen der Seegaten und sonstiger wichtiger Punkte bei Niedrigwasser anfertigen lassen⁹⁾.

Abb. 5 bis 8 zeigen Schrägaufnahmen der Seegaten und gewähren einen Gesamtüberblick.

Abb. 5 zeigt das Seegat der Juister Balje mit seinen Riffen. Dieses Seegat ist ein Neben-Seegat der Osterems und nimmt eine besondere Stellung ein, da es in westlicher Richtung in die See ausmündet.

Die Sandriffe wandern aus etwa nordwestlicher Richtung heran, teils am Westende von Juist vorbei, teils unmittelbar auf den Memmert zu. Die Riffe zeigen charakteristische Bogenformen, die überall in ähnlicher Weise wieder zu finden sind.

Abb. 6 (Norderneyer Seegat) und Abb. 7 (Wichter Ehe) zeigen die eine Hauptform der Seegaten, bei denen sich die Hauptstromrinnen scharf gegen die Westenden der östlich benachbarten Insel legen.

Abb. 8 (Otzumer Balje) zeigt die andere Hauptform, bei der die Hauptstromrinne vom Westende der östlich benachbarten Insel absetzt und in nordnordwestlicher bis nördlicher Richtung in See ausmündet.

Besonders Abb. 7 zeigt sehr deutlich die Lage und Gestaltung des Riffgürtels.

Besonders bemerkenswerte Erscheinungsformen, die in den Luftbilddaufnahmen zu verfolgen sind, sind die folgenden:

- a) Strandausbildung und Strandriffe,
- b) Fluthaken an den West- und Ostenden der Inseln,
- c) Form der heranwandernden und von den Inseln absetzenden Sandriffe,
- d) Form der auf dem Riffgürtel vor den Seegaten wandernden Sandriffe,
- e) Großriffeln auf den Sandriffen und am Strand.

Die Dünenbildung auf dem hochwasserfreien Strand infolge der unmittelbaren Windwirkung soll hier nicht näher behandelt werden.

a) Strandausbildung und Strandriffe. Die Strandausbildung ist im Bereich der Seegaten, d. h. innerhalb des die Seegaten umgebenden Riffgürtels durch die hier herrschenden besonderen Strömungs- und Brandungsverhältnisse vielfach gestört. Eine stetige Entwicklung und ziemlich ungestörte Strandausbildung ist nur am Nordstrande der Inseln vorhanden.

Die Breite des über dem MHW liegenden trockenen Strandes ist hier sehr verschieden, da die Dünenbildung oft unregelmäßig ist, während die MHW-Linie einen ziemlich glatten Verlauf zeigt. Dagegen zeigt die zwischen dem MNW und MHW innerhalb des Tidenhubes liegende Strandzone ziemlich gleichmäßige Breiten zwischen 160 und 220 m. Dort, wo der Strand schmaler ist, liegt er auch meistens im Abbruch. Bei einem mittleren Tidenhub von etwa 2,30 m (für den Nordstrand der Inseln) ist also innerhalb des Tidenhubes eine mittlere Strandneigung von etwa 1:70 bis 1:90 vorhanden.

Die Ausbildung des Strandes am Nordstrande der Inseln ist in Abb. 9 und 12 in ihrer charakteristischen

Form gut erkennbar. Etwa parallel zur MHW-Linie bilden sich unterhalb dieser Linie langgestreckte „Strandriffe“ in mehreren Reihen hintereinander aus. Die Abstände dieser Riffe betragen etwa 100 m. Ihre Länge beträgt oft mehrere Kilometer. Sie werden alsdann in kleineren Abständen durch kleine Durchbrüche unterbrochen (vgl. Abb. 9).

Im ganzen sind die Strandriffe nach Abb. 10 staffelförmig gelagert; die freien Enden weisen nach Osten, d. h. in die Wanderrichtung.

b) Fluthaken an den West- und Ostenden der Inseln. In den Seegaten wird die am Nordstrande der Inseln ziemlich regelmäßige west-östliche Wanderung des Sandes unterbrochen und vom Strand auf die Riffgürtel abgelenkt. Hier vollzieht sich daher die Sandwanderung unter dem Einfluß der größeren verfrachtenden Kräfte in besonderen Formen.

⁹⁾ Die Aufnahmen wurden durch die Luftdienst G. m. b. H., Flugleitung Norderney, aufgenommen.

Die werten hinter den Inseln gelegenen Wattflächen werden durch die engen Seegaten bei Flut mit Wasser gefüllt, bei Ebbe wieder entleert. Wegen der großen Durchflußmengen entwickeln sich daher in den Seegaten besonders starke Strömungen, die — zumal bei Flut, wenn die Brandung viel stärker ist als bei Ebbe — große Sandmengen mit sich führen.

Dort, wo sich der Querschnitt eines Seegats nach dem Watt zu ziemlich plötzlich wieder erweitert, werden die Stromgeschwindigkeiten entsprechend geringer. Der mitgeführte Sand kommt je nach seiner Korngröße allmählich zur Ablagerung. Am Strand selbst übt auch der Wellenschlag ähnliche Wirkungen aus. Die durch das enge Seegat eintretenden Windwellen breiten sich im Watt weiter aus und verlieren dadurch an Energie, so daß die durch die Brandung in Bewegung gehaltenen Sandmengen entsprechend zur Ablagerung kommen.

Diesen Umständen verdanken die „Fluthaken“ ihre Entstehung, die an fast allen West- und Ostenden der Inseln zu finden sind. Ihre Bildung ist besonders gut in Abb. 9, 11 u. 12 zu verfolgen. Sie bilden sich immer erst dort, wo sich das Seegat nach dem Watt zu wieder erweitert, d. h. sie entstehen infolge Verringerung der sandverfrachtenden Kräfte. Sie bestehen zumeist aus den gröbsten vorkommenden Sänden, während unmittelbar daneben



Abb. 9. Ostende von Langeoog mit Strandbildung, Fluthaken und Riffen.

Senkrechtaufnahme { 3,16 mm = rd. 100 m
1 cm = rd. 316 m.

Aufnahme: 2. 10. 1930. Freigegeben durch RLM, Hersteller: Luftdienst G. m. b. H., Norderney Nr. 8.

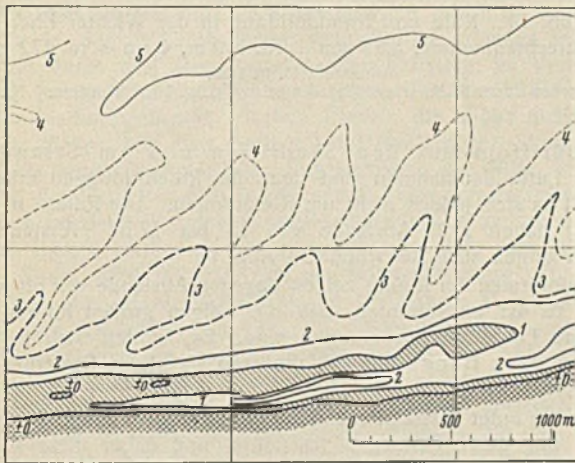


Abb. 10. Tiefenplan am Nordstrand von Norderney.

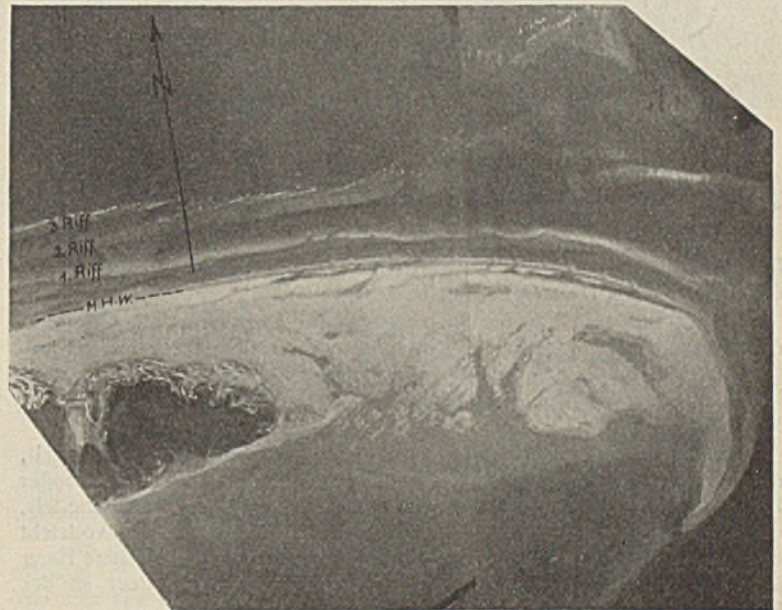


Abb. 12. Ostende von Juist mit Strandbildung, Strandriffen und Fluthaken. Senkrechtaufnahme, 3,77 mm = rd. 100 m, 1 cm = rd. 265 m.

Aufnahme: 16. 9. 1929. Freigegeben durch RLM. Hersteller: Luftdienst G. m. b. H., Norderney Nr. 10.

im Watt — schon im Lichtbild erkennbar — dunklerer und feinerer Sand ansteht¹⁰⁾.

c) Form der heranwandernden und von den Inseln absetzenden Sandriffe. Vor jedem Seegat bildet sich eine Sandbarre oder ein Riffgürtel, auf dem der größte Teil des wandernden Sandes seinen Weg von einer Insel zur anderen nimmt.

Die Riffe, die sich vom Ostende der einen Insel lösen oder an der Nordweststrecke der anderen Insel wieder heranwandern, zeigen oft charakteristische Formen, die in den Abb. 5 bis 9 und 13 bis 15 gut zum Ausdruck kommen.

Abb. 5 zeigt ein an der Westseite des Memmert heranwanderndes Riff. Beide Zipfel des Riffs legen sich allmählich an den Strand heran und führen eine beträchtliche Strandverbreiterung herbei. Allmählich gleicht sich das Riff dann aus bzw. wandert weiter. Auch Abb. 13 u. 15 zeigen ähnliche Zustände für Baltrum und Langeoog.

Abb. 7 u. 8 zeigen die Formen der von den Ostenden von Norderney und Langeoog absetzenden

¹⁰⁾ Vgl. auch: Poppen, Die Sandbänke an der Küste der Deutschen Bucht der Nordsee, Annalen d. Hydrographie 1912, Heft 6 u. 8.

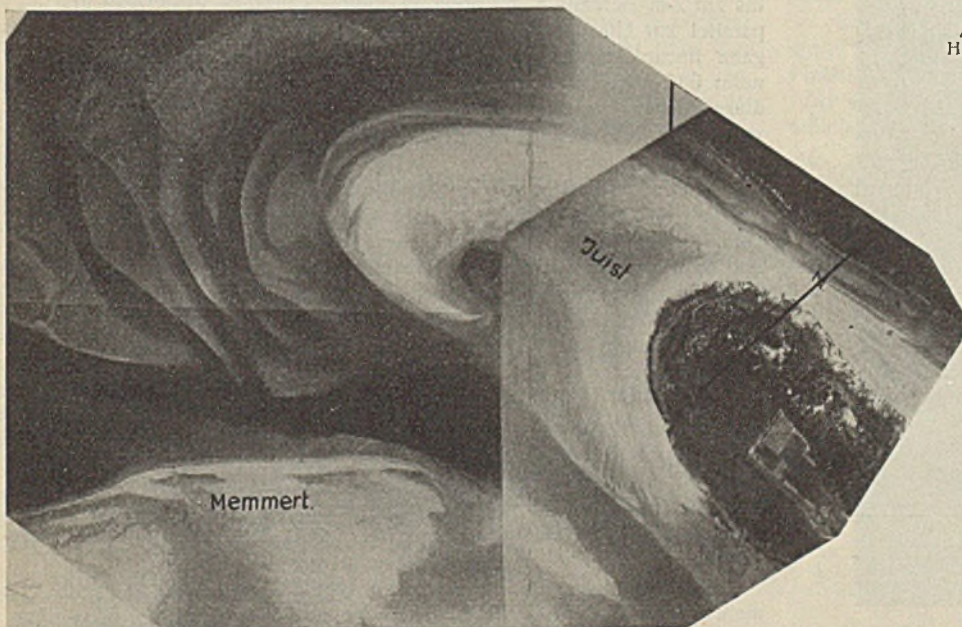


Abb. 11. Westende von Juist und Nordende von Memmert mit Strandbildung, Fluthaken und Sandriffen. Senkrechtaufnahme, 3 mm = rd. 100 m, 1 cm = rd. 334 m.

Aufnahme: 16. 9. 1929. Freigegeben durch RLM. Hersteller: Luftdienst G. m. b. H., Norderney Nr. 9.

Riffe. Abb. 9 zeigt besonders deutlich die Form eines solchen Riffes, wie sie wahrscheinlich durch das Gegenspiel von Flut- und Ebbestrom entsteht.

d) Form der auf den Riffgürteln vor den Seegaten wandernden Sandriffe. Der Hauptanteil der Sandwanderung auf den Riffgürteln vor den Seegaten vollzieht sich in den Tiefen von 0 bis 3 m,



Abb. 13. Heranwandernde Sandbank am Nordstrand von Baltrum.
Senkrechtaufnahme, 5,81 mm = rd. 100 m, 1 cm = rd. 172 m.
Aufnahme: 15. 10. 1929.
Freigegeben durch RLM. Hersteller: Luftdienst G. m. b. H., Norderney Nr. 13.

bezogen auf M.Spr.-NW. In den Peilplänen lassen sich Veränderungen der Riffe an den Tiefenlinien am besten verfolgen.

Die Luftbildaufnahmen zeigen dagegen die charakteristischen Formen der Riffe nur bis zu geringen Wassertiefen an. Im wesentlichen ist nur das erkennbar, was aus dem Wasser während der Aufnahme herausragt. In den Abb. 5 bis 8 und 14 sind derartige wandernde Riffe gut erkennbar.

Im Grundriß zeigen sie meist eine sichel- oder bogenförmige Gestalt, deren ausbuchtender Rand steil, deren Sehne aber ein flach auslaufender Hang ist. Die Riffe verschieben sich in Richtung des Bogenscheitels, wie in Abb. 14 durch kleine Pfeile angedeutet. Die Wanderung vollzieht sich also in ganz ähnlicher Form, wie bei den Dünen: Der flachere Hang ist den wirkenden Kräften zugekehrt; der steilere Hang liegt an der Leeseite.



Abb. 15. Heranwandernde Sandbank an der Nordwestecke von Langeoog.
Senkrechtaufnahme, 4,72 mm = rd. 100 m, 1 cm = rd. 212 m.
Aufnahme: 19. 6. 1930.
Freigegeben durch RLM. Hersteller: Luftdienst G. m. b. H., Norderney Nr. 15.

Die sichelförmige Grundrißgestalt der Riffe entspricht der natürlichen Neigung des Sandes, sich in bestimmten Formen anzuhäufen, wie sie auch häufig bei den kleinen Dünenhaufen auf dem trockenen Strand in kleinem Maßstab infolge der Windwirkung anzutreffen ist. Die im Wasser wandernden Riffe weisen dagegen viel größere Abmessungen auf; die Breite der in Abb. 14 dargestellten Riffe beträgt etwa 550 bis 700 m. Die bogenförmige Gestalt der Riffe ist wahrscheinlich auch eine Folge des Wechselspiels zwischen Flut- und Ebbestrom, da die Flut- und Ebbeströmungen im Riffgebiet oft sich kreuzende Hauptrichtungen aufweisen.

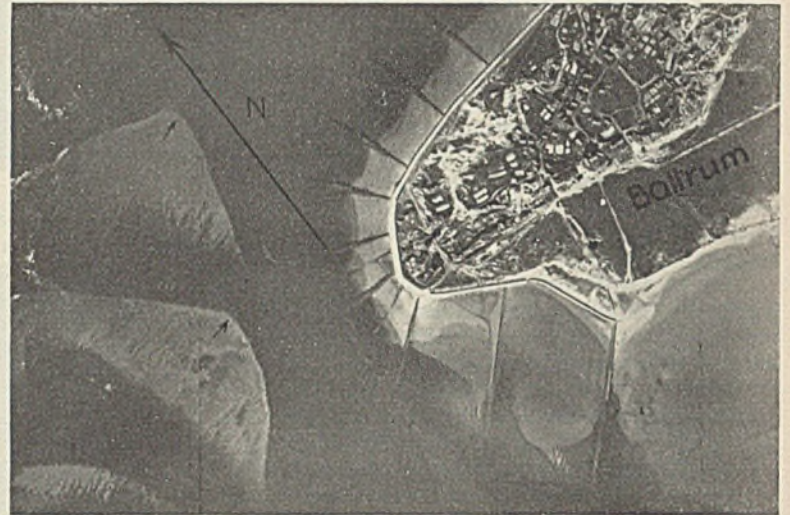


Abb. 14. Riffe und Strandbildung in der Wichter Ehe.
Senkrechtaufnahme, 5,81 mm = rd. 100 m, 1 cm = rd. 172 m.
Aufnahme: 15. 10. 1929.
Freigegeben durch RLM. Hersteller: Luftdienst G. m. b. H., Norderney Nr. 14.

e) Großriffeln auf den Sandriffen und am Strand. Auf einigen der Luftbildaufnahmen sind deutliche Riffelbildungen erkennbar. Hier handelt es sich jedoch nicht um Kleinformen. Die Riffeln in Abb. 9 (Südostecke) haben z. B. Abstände von 15 bis 17 m. Abstände von 10 bis 14 m zeigen auch die Riffeln in Abb. 14.

Die Kleinformen der Riffeln zeigen dagegen Abstände von oft weniger als 10 cm. Es ist zu vermuten, das die obigen großen Riffeln hauptsächlich eine Folge der Strömungen sind. Es handelt sich bei ihnen auch nur um ganz flache Rücken, die man als kleine Strombänke bezeichnen kann.

Die ständig unter Wasser liegenden Formen der Riffe und Strombänke lassen sich nur durch Peilungen feststellen und daher nicht so genau verfolgen, wie es im Luftbilde möglich ist. Das Relief des Meeresgrundes zeigt von der 4-m-Tiefenlinie an ein gleichmäßigeres Bild mit geringeren Höhenunterschieden als in den höheren Lagen. Abb. 10 zeigt den Tiefenplan eines Abschnittes vor dem Nordstrand von Norderney. Während bis zur 2-m-Tiefenlinie die oben geschilderte Bildung der Strandriffe etwa parallel zur Uferlinie zu erkennen ist, treten zwischen 2 und 5 m Tiefe ganz flache Sandrücken auf, deren Achsen im vorliegenden Falle etwa unter 60° gegen die Uferlinie geneigt sind. In noch größerer Tiefe sind diese Formen weniger erkennbar. Vergleichspeilungen haben kein einwandfreies Bild darüber ergeben, in welchem Maße sich diese Sandrücken verändern.

In den tiefen Stromrinnen der Flußmündungen und Seegaten bilden sich an der Sohle außerdem noch Querbänke, die „Strombänke“ oder „Großbrücken“ genannt werden. Diese haben je nach Größe der Rinnen und den herrschenden Strömungsverhältnissen oft eine beträchtliche Breite bis zu mehreren hundert Metern und Höhen von 5 m und mehr; hierüber liegen für das Gebiet der ostfriesischen Inseln keine Beobachtungen vor. Ihre Entstehung und ihr Aufbau ist von Lüders beschrieben¹¹⁾.

3. Die Veränderungen der Seegaten seit 1860.

Seekarten, die die Veränderungen des Meeresgrundes, der Riffe und der Stromrinnen mit solcher Genauigkeit zeigen, daß ein Vergleich möglich ist, gibt es erst etwa seit 1860. Eine der ersten brauchbaren Karten ist z. B. die im Jahre 1866 von der hannoverschen Regierung herausgegebene Küstenkarte (1:50 000 und 1:100 000). Seit 1870 gibt es Admiralitätskarten.

Die Peilungen für diese Karten werden meist im Abstände von mehreren Jahren durch Marinefahrzeuge und Fahrzeuge der Wasserbau-

¹¹⁾ Lüders, Entstehung und Aufbau von Großbrücken mit Schilfbedeckung in Flut- bzw. Ebbebettern der Außenjade. Senkenbergiana, Bd. 11, Nr. 3.

behörden vorgenommen. In den letzten 15 Jahren sind die Peilungen des Wasserbauamts Norden, die insbesondere die Seegaten selbst umfassen, für die Seekarten mit verwendet.

Am reichhaltigsten sind die Unterlagen für das Norderneyer Seegat, da dieses von jeher für die Schifffahrt, Fischerei und die Aufgaben des Küstenschutzes besonders wichtig war. Aus den Unterlagen für das Norderneyer Seegat lassen sich daher auch die wertvollsten Rückschlüsse über die Art der Veränderungen ziehen.

III. Beobachtungen über die Riffwanderung und Strandveränderungen.

1. Die Wanderung der Sandriffe im Norderneyer Seegat zwischen dem Ostende von Juist und dem Schluchter.

Nach der allgemeinen Beschreibung der Erscheinungen der Sandwanderung in II. soll nunmehr im folgenden versucht werden, aus den vorgenommenen Peilungen die Richtung und die Größe der Verschiebungen des Sandes zu ermitteln.

Wie bereits dargelegt, sind die auftretenden Veränderungen vorzugsweise bei den Großformen der Sandwanderung zu verfolgen. Am leichtesten sind die Veränderungen der Riffe dort festzustellen, wo die verschiebenden Kräfte am größten sind und sich in Jahresfrist, d. h. zwischen zwei Peilungen, merkbare Verschiebungen vollziehen. Das ist besonders im Bereich der Seegaten der Fall.

Aus den Peilplänen ist festzustellen, daß in gewissen Gebieten die Größe und die Form der Riffe sich, ganz allgemein gesehen, nur wenig ändert, so daß der Übergang von der einen in die andere Form und die örtlichen Verschiebungen mit großer Wahrscheinlichkeit ermittelt werden können. Diese Erscheinungen sollen hier näher verfolgt werden.

Zunächst soll die Wanderung der Riffe im Norderneyer Seegat vom Ostende von Juist bis an den „Schluchter“ — ein west-östlich gerichtetes Nebengat — betrachtet werden. Dieses große Riffgebiet wird im Osten durch das tiefe Busetief und die Stromrinne am Westende von Norderney begrenzt. In den früheren Untersuchungen ist erläutert worden, daß diese Riffe durch den hier überwiegenden Flutstrom im Verein mit der Brandung immer wieder aufgebaut werden. Die durch das betrachtete Riffgebiet hindurchgehenden flachen Rinnen, die meist nicht tiefer als 2 m unter M. Spr.-NW sind, stellen keine beständigen Stromrinnen dar, sondern sie sind die natürlichen Begrenzungen der Riffe, die sich entsprechend den örtlichen Strömungs- und Brandungsverhältnissen zu Einheiten von bestimmter Größe zusammenlagern. Die zwischen den Riffen liegenden Rinnen machen deren Lageänderungen mit. Der in ihnen vorhandene Strom wirkt seinerseits an der Riffverschiebung mit.

Für das betrachtete Gebiet liegen brauchbare Vergleichspeilungen nur aus dem Jahre 1931 und 1932 vor; diese Peilungen sind in einem Abstände von etwa 13 Monaten aufgenommen. In Abb. 16 sind die Peilungen für beide Jahre nebeneinander gezeichnet. Die Tiefenlinien sind in Abständen von 1 m aufgetragen. Schon ein oberflächlicher Vergleich zeigt die große Ähnlichkeit mancher Formen, die sich also in der Zwischenzeit nur wenig verändert haben. Es sei nur hingewiesen auf das Riff I (auf der Robbenplate) und das Riff VI (auf den Westergründen).

Um die Größe und Richtung der zwischen den beiden Peilungen eingetretenen Verschiebungen festzustellen, wurden in den Peilplänen von 1931 besonders bemerkenswerte Punkte mit a, b, c usw. und die vergleichbaren Punkte im Plan von 1932 mit a_1, b_1, c_1 usw. bezeichnet. Die Lage der Punkte a, b, c usw. von 1931 wurde nun in dem Plan von 1932 mit eingezeichnet. Die Verbindungslinien $a-a_1, b-b_1, c-c_1$ usw. geben dann die wahrscheinliche Größe und Richtung an, in der sich die Riffe verschoben haben. Wenn auch nicht einwandfrei feststeht, daß die verbundenen Punkte zueinander gehören, so ergibt sich doch hieraus ein richtunggebender Anhalt.

Die eingetragenen Pfeile zeigen ein sehr einheitliches Bild der Riffwanderung. Die Größe der beobachteten Verschiebungen schwankt zwischen 270 und 680 m in 13 Monaten. Gute übereinstimmende Mittelwerte ergeben sich aus den Punkten der Riffe I (Robbenplate), II und III (Spaniergat) sowie den östlichen Punkten der Riffe IV und V. Die Mittelwerte der übrigen Punkte weichen aus noch zu erläuternden Gründen davon ab. Der Mittelwert für die Größe der Bewegung ergibt sich aus allen Werten zu 431 m in 13 Monaten oder umgerechnet zu 398 m in 12 Monaten.

Schaltet man das Riff VII (Ostrand von Juist) aus, so ergibt sich aus den Riffen I bis VI ein Mittelwert

von 421 m in 13 Monaten
oder von 388 m in 12 Monaten.

Die Bewegungsrichtung ist im ganzen nach Osten gerichtet. Gewisse Unterschiede ergeben sich aus der Lage der Punkte.

Die Wanderung der Sandriffe vom Ostende von Juist nach dem Schluchter vollzieht sich nach den obigen Ergebnissen wie folgt:

Das Riff VI hat sich etwa im Jahre 1930 von den Strandriffen der Insel Juist losgelöst und wandert von 1931 bis 1932 mit einer Geschwindigkeit von rd. 290 m im Jahr fast genau nach Osten. Die Form in der Null-Linie (M. Spr.-NW) ist nur wenig verändert.

Zwischen Riff VI und dem Strand von Juist bewirken die überwiegenden und mit der Annäherung an das Seegat stärker werdenden Flutströmungen eine schnellere Verschiebung des Sandes, die in den Strecken $t-t_1$ und $u-u_1$ zu 485 bis 555 m beobachtet wurde. Die Richtung zieht sich in mehr südöstlicher Richtung in das Seegat hinein. Von Riff VI aus hat sich der Punkt t nach t_1 südöstlich verschoben. Hierin prägt sich bereits die Umformung des Riffes VI in die bogenförmige Gestalt der Riffe V und IV aus. Diese beiden Riffe zeigen die auch in den Luftbildaufnahmen erkennbare bogenförmige Gestalt. Die Riffe bilden sich aus einer mehr flächenhaften Form (VI) in eine langgestreckte Bogenform mit einem west-östlichen und einem nord-südlich gerichteten Schenkel um. Diese geschlossene Bogenform zerreißt schließlich mit fortschreitender Wanderung (vgl. Riff IV 1932).

Die östlichen Teile der Riffe V und IV wandern unter dem Einfluß der überwiegenden Flutstromes mit einer Geschwindigkeit von rd. 375 m im Jahr in ebenfalls fast rein östlicher Richtung dem Busetief zu. Durch den in der Rinne des Busetiefs herrschenden starken Ebbestrom werden die ankommenden Sandmassen abrasiert und weiter nördlich, etwa im südlichen Teile der Robbenplate, wieder abgelagert. Hierdurch ist der West-Ostbewegung der Sände eine Grenze gesetzt.

Die westlichen Teile der Riffe V und IV sowie ebenfalls die Riffe II und III im Spaniergat vollführen eine ostnordöstlich gerichtete Bewegung (i. M. etwa 60°) mit teilweise recht hohen Jahreswerten (540 bis 680 m). Diese veränderte und schnellere Bewegung mag daher rühren, daß in diesem Gebiete nicht nur Flutstrom und Brandung die Richtung bestimmen, sondern auch der aus dem Spaniergat in etwa nordwestlicher Richtung heraussetzende ziemlich starke Ebbestrom. Hierdurch wird eine Ablenkung in nordwestlicher Richtung bewirkt. Bemerkenswert ist, daß die Riffe das flache „Spaniergat“ anscheinend durchqueren, wenn vielleicht hierbei auch starke Sandverluste und Umlagerungen stattfinden.

Die Sände auf der Robbenplate (Riff I) wandern wiederum mit Jahreswerten von i. M. 370 m in fast östlicher Richtung gegen die tiefe Stromrinne. Die Wanderrichtung wird bestimmt durch den im Schluchter festgestellten überwiegenden Flutstrom und die Brandung.

Die bis an den Ostrand der Robbenplate gelangten Sandmassen fallen alsdann den starken Strömungen der tiefen Rinne anheim und werden von hier aus weiter verfrachtet. Der Hauptteil der Sandmassen wandert offenbar auf dem Westhang der Stromrinne mit dem in der tiefen Rinne überwiegenden Ebbestrom nach Norden und füllt die Riffe nördlich des Schluchters auf.

Im Schluchter ist nach dem Ergebnis der Strommessungen der Flutstrom bedeutend stärker als der Ebbestrom. Mit dem überwiegenden Flutstrom werden dauernd so große Sandmassen herangetragen, daß sich trotz der großen Durchflußmengen keine tiefe Stromrinne ausbildet. Im äußeren Trichter des Schluchters treten selten Tiefen von mehr als 4 m auf.

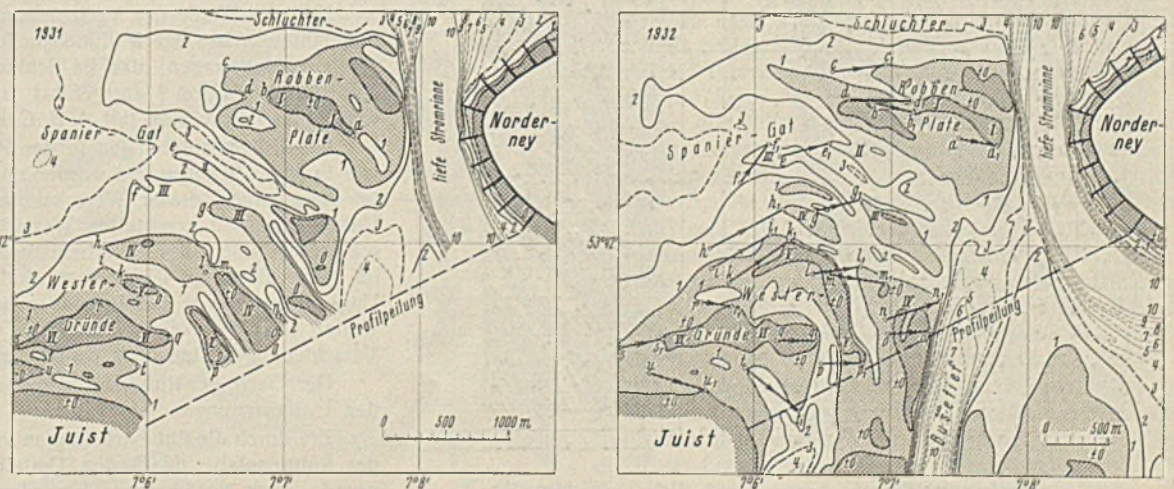


Abb. 16. Wanderung der Sandriffe im Norderneyer Seegat zwischen dem Ostende von Juist und dem Schluchter (1931 bis 1932).

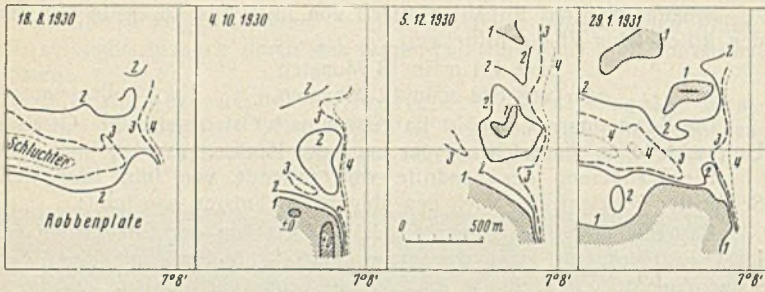


Abb. 17. Wanderung der Sandriffe im Norderneyer Seegat von der Robbenplate in nördlicher Richtung.

Dabei ist auf dem größten Teile seiner Länge die Lage des Schluchterfahrwassers nur sehr geringen Veränderungen unterworfen. Starke Veränderungen treten lediglich an der Einmündung in die tiefe Stromrinne auf. Hier vollzieht sich über die dort befindliche Barre in einer Breite von nur 400 bis 500 m der obenerwähnte Übergang der Sandmassen von der Robbenplate zu den Riffen nördlich des Schluchters (Nordwestgrund).

In Abb. 17 ist der Übergang dieser Riffe durch eine Anzahl von Peilungen aus der Zeit vom 18. August 1930 bis 29. Januar 1931 dargestellt. Die Wandergeschwindigkeit dieser Sandbank hat rd. 500 m in fünf Monaten oder rd. 1200 m im Jahr betragen.

Die große Wandergeschwindigkeit des Sandes an dieser Übergangsstelle ist ein Zeichen für die hier besonders starken verschiebenden Kräfte, die ihre Hauptursache an dieser Stelle wohl in den starken Strömungen haben.

2. Die Wanderung der Sandriffe in den engsten Querschnitten des Norderneyer Seegats und der Wichter Ehe.

Eine Bestätigung der vorstehend erläuterten Riffwanderung ergibt sich aus der Auswertung einer Profilleistung, die im engsten Querschnitt des Norderneyer Seegats von der Nordostecke von Juist zum Kopfe der

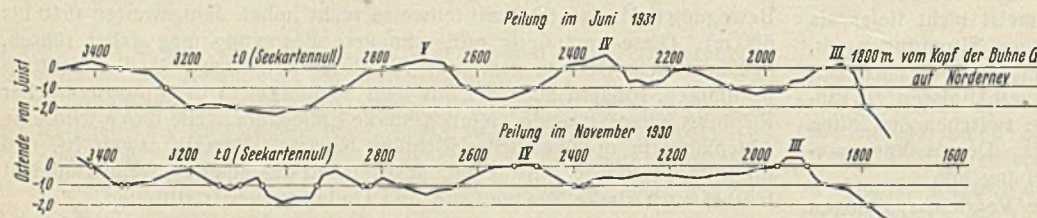


Abb. 18. Peilung im engsten Querschnitt des Norderneyer Seegats.

Buhne G am Südweststrande von Norderney von Sommer 1929 bis Frühjahr 1933 regelmäßig in Abständen von drei bis sieben Monaten vorgenommen wurde.

In Abb. 16 ist die Lage des Profils eingetragen. In Abb. 18 sind einige der aufgenommenen Profile als Beispiel aufgezeichnet. Die Wanderung der Sände ist in Abb. 19 für sämtliche Peilungen in Abhängigkeit von der Zeit graphisch aufgetragen. Für jede Peilung ist die Lage der 0-, 1-, 2-, 3-m- usw. -Tiefenlinie ermittelt. Die einander entsprechenden Punkte sind dann von Peilung zu Peilung untereinander verbunden. Es ergibt sich durch diese Zeit-Weg-Linien ein sehr deutliches Bild der Verschiebungen von verhältnismäßig großer Regelmäßigkeit.

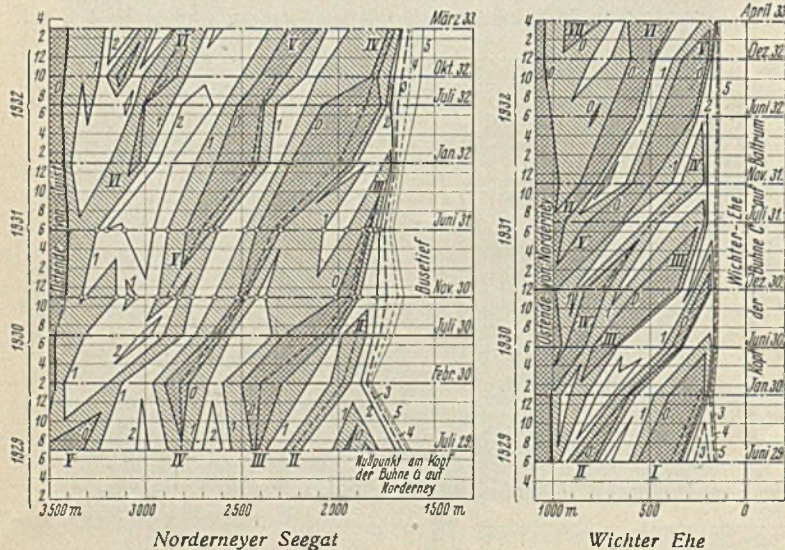


Abb. 19. Graphische Auftragung der Wanderung der Sandriffe in den engsten Querschnitten des Norderneyer Seegats und der Wichter Ehe.

Zu beachten ist, daß in dieser Darstellung nur die Verschiebungskomponenten in Richtung des Profils enthalten sind. Diese sind jedoch die Projektionen der wirklichen Verschiebungen auf die Profillinie. Wie aus Abb. 16 ersichtlich, vollzieht sich die Wanderung schräg zur Profillinie (vgl. die dortigen Pfeile $o-o_1$, $p-p_1$ und $t-t_1$, die schräg von Norden her durch die Profillinie durchstoßen).

Die Bezeichnung der Riffe in Abb. 18 u. 19 ist gleichlautend mit der Bezeichnung in Abb. 16. So läßt sich die Wanderung der Riffe III, IV und V vom Ostende von Juist bis zum Busetief in Abb. 19 gut verfolgen.

Die Größe der Verschiebungen in der Profillrichtung beträgt i. M. aller Werte rd. 380 m im Jahr. Dieser Wert stimmt mit den oben ermittelten Werten sehr gut überein.

In dem kleineren Seegat der Wichter Ehe, das in seiner Gestaltung dem Norderneyer Seegat sehr ähnlich ist, sind ebenfalls seit 1929 regelmäßige Profilleistungen im engsten Querschnitt des Seegats vorgenommen. Die graphische Darstellung der Verschiebungen ist ebenfalls in Abb. 19 aufgetragen. Diese Darstellung zeigt eine bemerkenswerte Übereinstimmung mit den Verhältnissen im Norderneyer Seegat. Die Sandmassen in der Wichter Ehe wandern vom Ostende von Norderney nach Osten bis zur tiefen Stromrinne und werden dann in dieser weiter verfrachtet.

Die Größe der Verschiebungen in Richtung des Profils beträgt in der Wichter Ehe im Mittel aller Werte rd. 360 bis 380 m im Jahr.

Die bemerkenswerte Übereinstimmung mit den im Norderneyer Seegat an vergleichbarer Stelle festgestellten Werten läßt auch hier den Schluß zu, daß die verschiebenden Kräfte an der ostfriesischen Küste, auf längere Zeit betrachtet, eine große Gleichmäßigkeit haben.

3. Die Wanderung der Sandriffe im Norderneyer Seegat vom Schluchter aus nach Osten.

Die dem Norderneyer Seegat vorgelagerte Rifflinie zieht sich nördlich des Schluchtergats zunächst noch etwa 2 km in nördlicher Richtung hin und biegt dann scharf nach Osten um, nachdem hier der Einfluß des östlich setzenden Flutstromes und der Brandung größer geworden ist als der des nördlich setzenden Ebbestromes. Die Riffe wandern dann in östlicher Richtung weiter und treffen erst in einer Entfernung von etwa 3,5 bis 4 km vom Westende der Insel auf den Nordstrand auf.

Der nördlich des Schluchters liegende Nordwestgrund ist ein Riffgebiet von mehr als 1000 m Länge und Breite. Es ist jedoch bereits schmaler als die südlich des Schluchters liegenden Riffe und bildet den Übergang zu dem wesentlich schmaleren, meist in Einzelriffen aufgelösten Abschnitt, der sich östlich des Nordwestgrundes anschließt.

Vor dem Auftreffen der Riffe auf den Nordstrand schließen sich diese wieder zu größeren Einheiten zusammen.

Die Wanderung der Riffe in diesem Gebiet kann besonders gut an den seit 1926 aufgenommenen Peilplänen verfolgt werden. Die seitdem vorliegenden sechs Peilpläne aus der Zeit von 1926 bis 1932 sind in Abb. 20 aufgetragen.

Ein Vergleich zeigt ohne weiteres die stetigen Verschiebungen der Riffe nach Osten. Es sei z. B. auf die beiden mit C und D bezeichneten Riffe hingewiesen, die sich über die ganze Reihe der Pläne deutlich verfolgen lassen. Über mehrere Jahre bleiben sich auch vielfach die Formen der Riffe ähnlich, so daß es möglich ist, die Verschiebungen besonders hervorspringender Punkte zu verfolgen.

Um die Größe der Verschiebungen verfolgen zu können, ist in der ungefähren Achse der Rifflinie ein ideales Längsprofil in den Plänen gestrichelt eingetragen, das im Schluchter mit km 0 beginnt und bis zum Nordstrand bis km 9 fortgeführt ist. Die einzelnen deutlich zu unterscheidenden Riffe sind mit A, B, C usw. bezeichnet.

Die Riffverschiebungen in der Profillrichtung sind in ähnlicher Weise wie in Abb. 19 untersucht worden und ergeben sich im Mittel zu rd. 384 m im Jahr. Auch dieser Wert stimmt mit den in den vorhergehenden Unterabschnitten ermittelten Werten sehr gut überein. Die Einzelwerte schwanken allerdings in erheblichen Grenzen zwischen 100 und 900 m im Jahr. Derartige Gegensätze sind jedoch meist durch Störungen oder Ungenauigkeiten in den Peilungen bedingt. Erst die Bildung von Mittelwerten ermöglicht einen Vergleich. Die Unterschiede in der Größe der Verschiebungen sind auch örtlich bedingt.

Der Gang der Riffwanderung vom Schluchter aus nach Osten ist nach den Untersuchungen folgender:

Die durch die Ebbeströmungen verfrachteten Sandmassen gelangen von der Robbenplate durch den Ostteil des Schluchters auf den Nordwestgrund. Dem Nordwestgrund werden wahrscheinlich ebenfalls von Westen oder Südwesten her mit dem dort überwiegenen Flutstrom und der Brandung noch bedeutende Sandmengen zugeführt. Alle zusammen

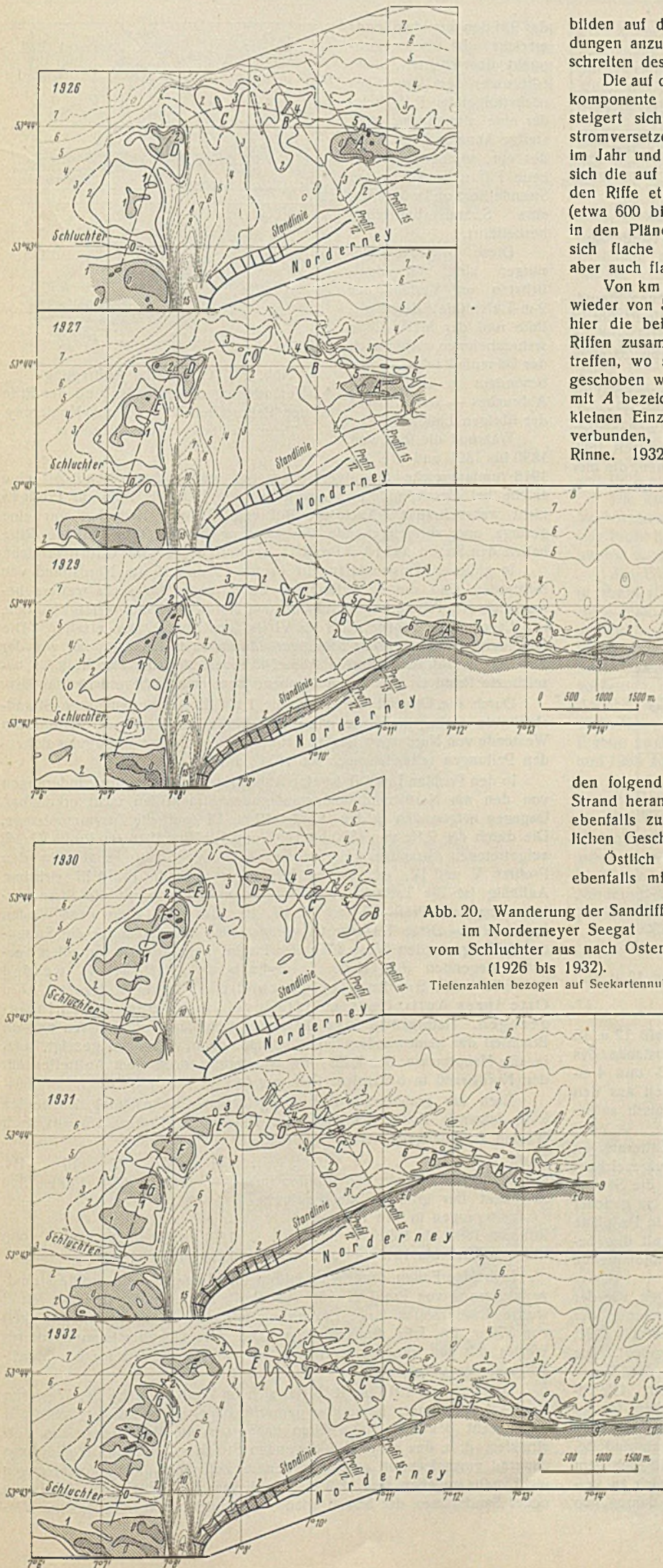


Abb. 20. Wanderung der Sandriffe im Norderneyer Seegat vom Schluchter aus nach Osten (1926 bis 1932).
Tiefenzahlen bezogen auf Seekartennull.

bilden auf dem Nordwestgrund Riffe, und zwar sind diese als Neubildungen anzusehen, da die weiter südlich gebildeten Formen beim Überschreiten des Schluchters aufgelöst worden sind.

Die auf dem Nordwestgrund nach Nordnordosten gerichtete Bewegungskomponente der Riffe beträgt zunächst nur etwa 325 m im Jahr. Sie steigert sich an der Umbiegung der Rifflinie (etwa bei km 2), wo die stromversetzenden Kräfte als besonders groß festgestellt waren, auf 500 m im Jahr und behält diesen Wert bis etwa km 5 bei. Infolgedessen lösen sich die auf dem Nordwestgrund noch in großer Fläche zusammenhängenden Riffe etwa bei km 1,5 bis 2 in Einzelgebilde von geringerer Größe (etwa 600 bis 800 m Länge und Breite) auf. Das Ablösen der Riffe ist in den Plänen (Abb. 22) deutlich erkennbar. Zwischen diesen befinden sich flache Stromrinnen, die zeitweise über 3 m Tiefe erreichen, oft aber auch flacher sind; auch die Breite ist sehr wechselnd.

Von km 5 ab nach Osten nimmt die Wandergeschwindigkeit allmählich wieder von 500 bis 550 auf 300 m im Jahr ab. Die Folge ist, daß sich hier die bei km 1,5 bis 2 entstandenen Einzelriffe wieder zu größeren Riffen zusammendrängen und in dieser größeren Einheit auf den Strand treffen, wo sie dann mit der obigen geringeren Geschwindigkeit weitergeschoben werden. So ist z. B. anzunehmen, daß das im Plan von 1926 mit A bezeichnete große Riff bereits den Zusammenschluß von mehreren kleinen Einzelriffen darstellt. Von 1927 ab ist auch noch Riff B mit A verbunden, und erst zwischen B und C erhält sich eine bedeutendere Rinne. 1932 haben sich Riff C und D bereits wieder zu einer neuen größeren Einheit zusammengeschlossen; es ist anzunehmen, daß sich auch Riff E noch dazu gesellen wird.

Die Riffe legen sich schließlich etwa bei km 6 auf den Nordstrand der Insel Norderney auf und verteilen sich in großer Länge, wobei sie meist ihre ostwärts gerichtete Bewegung beibehalten. Mit diesem Vorgang sind gewisse Einwirkungen auf den Strand verbunden, die im folgenden näher untersucht werden sollen.

4. Die Einwirkung der Riffwanderung auf die Strandverhältnisse am Westende von Norderney im Bereich des Seegats.

Die aus den Riffen A und B gebildete Riffgruppe hat sich nach Abb. 22 im Jahre 1927 bei km 6 auf den Nordstrand von Norderney aufgelegt. Die Berührung fand zunächst nur an einer schmalen Stelle statt. In den folgenden Jahren hat sich jedoch das Riff in ganzer Front an den Strand herangelegt; seine weitere Verschiebung nach Osten ist in Abb. 22 ebenfalls zu verfolgen. Der Ostrand des Riffes hat sich mit einer jährlichen Geschwindigkeit von etwa 320 m nach Osten weiter verschoben.

Östlich des Riffes befindet sich eine Einbuchtung im Strand, die sich ebenfalls mit nach Osten verschiebt. Wiederum östlich dieser Einbuchtung sind an dem breiteren Strand (vgl. die Peilungen von 1929 und 1932) noch die Reste des vorhergehenden großen Riffes zu erkennen, das sich nach den Peilungen in den Jahren 1917 bis 1918 an den Strand gelegt hatte.

In ähnlicher Weise wie oben beschrieben hat sich die Heranwanderung der Riffe auch in früheren Jahren auf allen Inseln vollzogen. Leider sind die Peilungen meistens nicht weit genug nach Osten ausgedehnt, so daß die weitere Bewegung der durch die Riffe gebildeten Strandverbreiterung nicht so deutlich zu verfolgen ist. Soviel ist aber sicher, daß sich die Riffe, die etwa in der Form der Peilungen von 1929 auf den Strand treffen, allmählich unter ständiger Ostwanderung in die Form von 1932 umbilden. Sie breiten sich dann immer mehr längs des Strandes aus und gehen schließlich in die Strandriffe über, die etwa parallel zur Uferlinie oft in zwei bis drei Reihen hintereinander liegen. Ein Ansatz zu dieser Entwicklung ist durch die Bildung der östlichen Nase des Riffes A erkennbar, die das Bestreben zeigt, sich immer schmaler und weiter nach Osten herauszuziehen.

Mit dem Wiederauftreffen auf den Strand verlassen die Sandmassen den Bereich des Seegats. Der Einfluß der Strömungen auf ihre Wanderung wird bedeutend geringer, da nach dem Ergebnis der Strommessungen die Meeresströmungen vor dem Nordstrand der Inseln geringer sind als im Bereich der Seegaten.

Während sich die Strandverhältnisse am Nordstrand der Inseln infolge der ständigen und starken Sandzufuhr immer wieder auszugleichen pflegen, sind die Strandverhältnisse an den Westenden der Inseln innerhalb des Kranzes der Rifflinie in hohem Maße von der meist stoßweise auftretenden Riffwanderung abhängig. Die Entwicklung des Strandes in diesen Küstenabschnitten

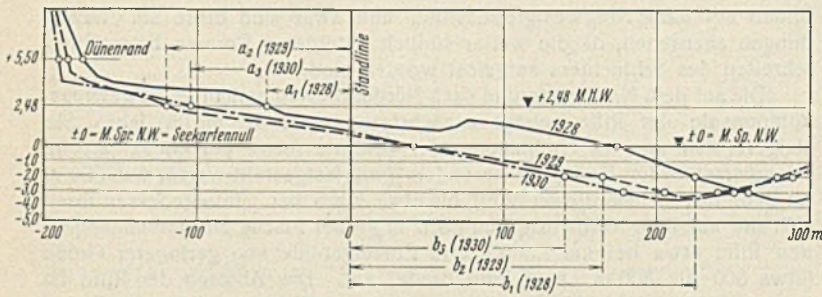


Abb. 21. Beispiel einer Strandpeilung am Nordstrand von Norderney bei abnehmendem Strand.

läßt sich an den hier seit mehreren Jahrzehnten aufgenommenen Strandpeilungen verfolgen (vgl. Abb. 21). Es sollen hier zunächst die Profile 12 und 15 am Nordstrand von Norderney betrachtet werden. Die Lage dieser Profile, die einen Abstand von 600 m haben, ist in Abb. 20 u. 22 eingetragen.

Die Strandpeilungen selbst sind jeweils nur in einer Länge von 500 bis 600 m von der Standlinie am Strande aufgenommen, und zwar regelmäßig in jedem Jahr seit 1888 bzw. 1891. Die Lage der weiter vom Strand entfernten Riffe in den einzelnen Jahren kann aus den seit 1886 mit Zwischenräumen vorliegenden Peilplänen entnommen werden, die hier aus Raumangel nicht wiedergegeben werden können.

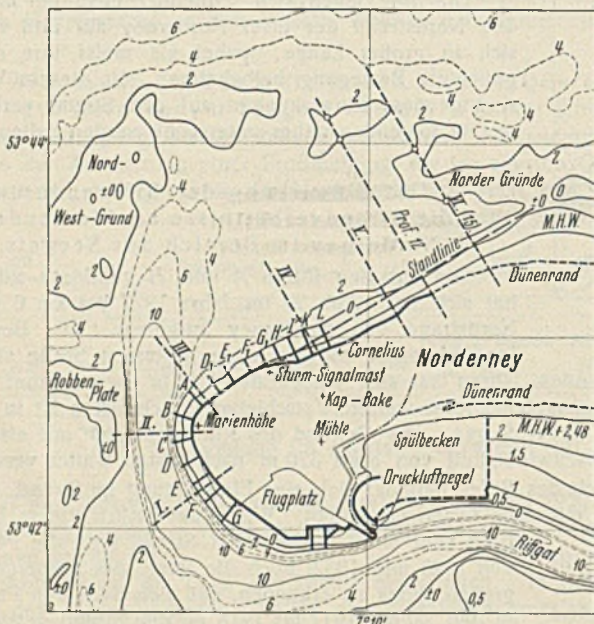


Abb. 22. Übersichtsplan mit Lage der Peilprofile I—VI bzw. 12 u. 15 am Westende von Norderney.

Um einen Überblick über die im Laufe der Zeit bei Profil 12 u. 15 entstandenen Strandveränderungen zu erhalten, sind die Abstände des Dünenfußes, des M.H.W., des Seekartennulls sowie der 2-, 3- und 4-m-Tiefenlinien von der Standlinie in Abhängigkeit von der Zeit aus den jährlichen Strandpeilungen in Abb. 23 seit etwa 1886 graphisch aufgetragen.

In den Abszissen sind die Jahre, in den Ordinaten die Entfernungen der einzelnen Höhen bzw. Tiefenangaben von der Standlinie aufgezeichnet (vgl. die Maße *a* und *b* in Abb. 21). Die Maße sind, soweit die Strandpeilungen reichen, diesen entnommen. Darüber hinaus sind in gleicher Weise, wie in Abb. 20 dargestellt, die beiden Profile in die Peilpläne eingetragen und dann die Schnittpunkte der Tiefenlinien mit den betreffenden Tiefenlinien abgegriffen. Alle aus den Peilplänen entnommenen Werte sind in Abb. 23 durch kleine Kreise gekennzeichnet.

Abb. 23 gibt ein anschauliches Bild über die Veränderungen, die der Strand in den Profilen 12 und 15 seit 1890 durch die Wanderung der Riffe erfahren hat. In Profil 15 haben sich in den Jahren 1890 bis 1891, 1905 bis 1906 und 1917 bis 1918 große Riffe an den Strand gelegt. Die allmähliche Bildung weit draußen und das Näherkommen an den Strand ist durch die Veränderungen der 2-m-Tiefenlinien erkennbar. Gleichlaufende Veränderungen zeigen sich etwas zeitlich verschoben in der Auftragung von Profil 12. In diesem 600 m weiter westlich gelegenen Profil hat aber das Riff, das 1905 bis 1906 bei Profil 15 heranwanderte, den Strand schon nicht mehr erreicht. Immer wenn ein Riff sich dem Strand auf 250 bis 300 m genähert hat, beginnt der Strand sich zu verbreitern. Die Verbreiterung erreicht ihren Höhepunkt in den Jahren, wo

das Riff den Strand vollends erreicht. Ist dieser Zeitpunkt überschritten, dann tritt unter dem Druck des nächstfolgenden Riffes wieder eine allmähliche, aber stetige Abnahme des Strandes ein, solange, bis das neue Riff nahe genug am Strande liegt und wiederum eine Strandverbreiterung herbeiführt.

Diese Strandveränderungen sind am deutlichsten im Verlauf der 2-m-Tiefenlinie, der Nulllinie und der M.H.W.-Linie wahrzunehmen. Aber auch der Dünenfuß folgt — insbesondere in Zeiten des Abbruchs — dem Verlauf der übrigen Linien.

Während die Riffe von 1890 bis 1891 und 1917 bis

1918 umfangreiche Strandverbreiterungen verursacht hatten, ist eine solche bei Heranwanderung des Riffes von 1905 bis 1906 im Profil 15 nicht wahrnehmbar. Auch das Riff von 1927 bis 1928 hat nur eine geringe und vorübergehende Verbesserung herbeigeführt. Beide Riffe haben den Strand nicht bei Profil 15, sondern noch weiter östlich erreicht.

In gleicher Weise wie für die Profile 12 und 15 am Nordstrand von Norderney sind die Veränderungen des Strandes für sechs weitere bemerkenswerte Profile am Weststrand und Nordweststrand verfolgt worden. Die Lage dieser Profile (Nr. I bis VI) ist aus Abb. 22 zu ersehen. Die graphische Auftragung der Strandveränderungen in Abhängigkeit von der Zeit ist für diese Profile in Abb. 24 dargestellt; das als Profil VI bezeichnete Profil ist mit dem vorstehend besprochenen Profil 15 identisch.

Durch die Darstellung der Profile I bis III werden auch die Strandabschnitte einbegriffen, die unter dem Einfluß der tiefen Stromrinne am Westende von Norderney liegen. Hier reichen die zur Verfügung stehenden Peilungen teilweise noch bis 1854 zurück.

In den Profilen I und II ist eine Abhängigkeit der Strandveränderungen von den am Nordstrand heranwandernden Sandriffen nicht erkennbar. Dagegen zeigen sich in den Profilen III bis VI deutliche Zusammenhänge. Die durch die Riffe von 1890 bis 1891 und 1917 bis 1918 im Profil VI (15) aufgetretenen Strandverbreiterungen sind einige Jahre später in den Profilen V und IV, das erstere Riff sogar noch im Profil III sichtbar. Auffällig ist die Tatsache, daß in beiden Fällen somit die Strandverbesserung von Profil VI nach V, IV, III, also von Osten nach Westen fortschreitet. Diese Tatsache ist grundsätzlich bedeutsam für die Strandentwicklung an den Westenden der Inseln innerhalb des vor allen Seegaten liegenden Riffgürtels. Innerhalb des Riffgürtels werden offenbar die Sandmassen durch die wirksamen Kräfte vom Orte ihres Auftreffens auf die Insel in die Seegaten hineingezogen. Naturgemäß kann dieses je nach den Verhältnissen nur ein Bruchteil der heranwandernden Riffe sein, denn, wie oben gezeigt, setzt ja die Hauptmasse der Riffe ihre Wanderung nach dem Auftreffen auf den Nordstrand in östlicher Richtung fort.

Nach der graphischen Auftragung haben die Ausläufer der beiden Riffe folgende Zellen benötigt, um von Profil VI (bzw. 15) aus nach Westen zu gelangen:

Profil	VI	V	IV	III	II
Entfernungen zwischen den Profilen (m)	—	1000	850	1200	500
Zeitpunkt der größten Strandverbreiterungen in den Profilen					
Riff von 1890 bis 1891	1891	1894	1896	1898	1900
Riff von 1917 bis 1918	1918	1922	1923	—	—

In beiden Fällen dauerte es mithin fünf Jahre, bis die größte Strandverbreiterung von Profil VI (15) nach Profil IV gelangte, d. h. im Mittel wurde diese 1850 m lange Entfernung mit einer Wandergeschwindigkeit von 370 m im Jahr durchschritten. Die gute Übereinstimmung dieses Wertes mit den früheren Werten ist ein erneuter Beweis für die Gleichartigkeit der Verhältnisse.

Das Riff von 1917 bis 1918 hat sich im Profil III, nahe der Westecke der Insel, nicht mehr bemerkbar gemacht, dagegen das Riff von 1890/1891 noch recht deutlich. Inzwischen haben sich die Verhältnisse des Vorstrandes, d. h. des unter NW liegenden Strandes, im Profil III allerdings dauernd verschlechtert, so daß in neuerer Zeit wohl die Voraussetzungen nicht mehr gegeben sind, daß sich in diesem Abschnitt durch Zuführung neuer Sandmassen der Strand wieder verbreitert. Die eingetretene Ver-

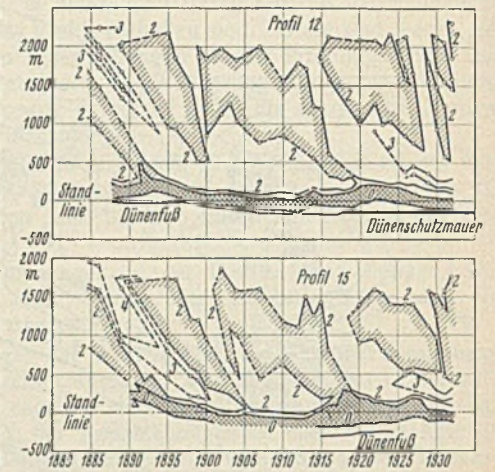


Abb. 23. Graphische Auftragung der Veränderung des Strandes und der Riffe in den Peilprofilen 12 u. 15 auf Norderney. Tiefenzahlen bezogen auf Seekartennull.

schlechterung in der Lage des Meeresgrundes im Profil III kommt in dem stetigen Herandrängen der Tiefenlinien zum Ausdruck. Nachdem die Strandverbreiterung in den Jahren 1898 bis 1900 hier ihren Höchststand erreicht hatte, ist im Laufe von zehn Jahren der hochwasserfreie Strand

bis 1900 hergestellt. Die Wirkung dieses Bauwerks ist in der graphischen Auftragung des Profils III deutlich zu erkennen. Einmal traf der Zeitpunft des Einbaues offenbar mit dem Zeitpunkte zusammen, wo die Ausläufer des Rifves von 1890 bis 1891 das Profil III erreichten. Dann aber hat sich seitdem unterhalb der 6-m-Tiefenlinie im Profil III eine viel gleichmäßigere, flachere Strandneigung gehalten, als sie vor 1899 vorhanden war. Die Tiefenlinien sind sogar teilweise hinausgerückt. Die Rinne hat sich aus obigen Gründen andererseits mehr nach der Tiefe entwickelt. Seit 1895 ist die 20-m-Tiefenlinie nicht mehr verschwunden.

Nur oberhalb der 6-m-Tiefenlinie im Bereich der Brandung ist eine weitere Strandabnahme zu verzeichnen. Im Bühnenfeld B—C herrscht besonders bei Ebbe ein beträchtlicher Nehrstrom, der die durch die Brandung aufgewühlten Sandteilchen in die tiefe Stromrinne führt, von wo sie weiter verfrachtet werden.

Die in den Jahren 1906 bis 1909 in den Profilen I bis III erkennbare Strandverbesserung ist teilweise auch eine Folge von Baggerungen im Schluchterfahrwasser. Das Baggergut wurde damals am Westrand verkippt und hat zur Aufhöhung des Strandes beigetragen. Es sind im Jahre 1899 150 000 m³ und in den Jahren 1906 bis 1909 zusammen 500 000 m³ gebaggert worden.

Im Profil I sind die Strandveränderungen seit 1890 unbedeutend. Erkennbar ist ebenfalls (wie in Profil II) das allmähliche Herandrängen des westlichen Hanges der Stromrinne. Der östliche Hang hat sich dagegen seit 1900 ebenfalls gut gehalten. Der hochwasserfreie Strand nimmt seit 1923 etwas ab.

Die Einwirkung der am Nordstrand heranwandernden Riffe auf die Verbesserung des Strandes ist in neuerer Zeit demnach nur noch östlich von Profil III erkennbar. Die Verbesserung der Strandverhältnisse schreitet hierbei in diesem Abschnitt von Osten nach Westen fort.

Am Westende der Insel macht sich in Profil II eine Vertiefung und in Profil III ein Herandrängen der Stromrinne bemerkbar. Die Stromrinne hat nach den Auftragungen in Profil III das Bestreben, nördlich der Bühne B nach Osten gegen die Insel herumschwenken. Ein weiteres Herandrängen der tiefen Stromrinne ist im Bereich der Bühnen B, C, D und E durch die in den Jahren 1897 bis 1900 eingebrachten Sinkstückvorbauten verhindert worden. Dagegen konnte die Abnahme des im Bereich des Brandungschlages liegenden Strandes (oberhalb der 6-m-Tiefenlinie) durch diese Maßnahmen nicht verhindert werden. Durch den Einbau zweier Zwischenbühnen am Westende der Insel in den Jahren 1933 und 1934 soll eine weitere Abnahme nach Möglichkeit verhindert werden.

5. Die Wanderung der Sandriffe in der Akkumer Ee.

Die Peilungen in der Wichter Ee, Akkumer Ee und Otzumer Balje sind nicht so zahlreich wie im Norderneyer Seegat und in größeren Abständen aufgenommen worden. In diesen Seegaten läßt sich die Riffwanderung daher nicht mit der gleichen Deutlichkeit verfolgen wie im Norderneyer Seegat; die Peilungen gestatten jedoch auch hier wertvolle Rückschlüsse.

Auf die Verhältnisse in der Wichter Ee soll hier nicht näher eingegangen werden, da sich dort die Riffwanderung ähnlich wie im Norder-

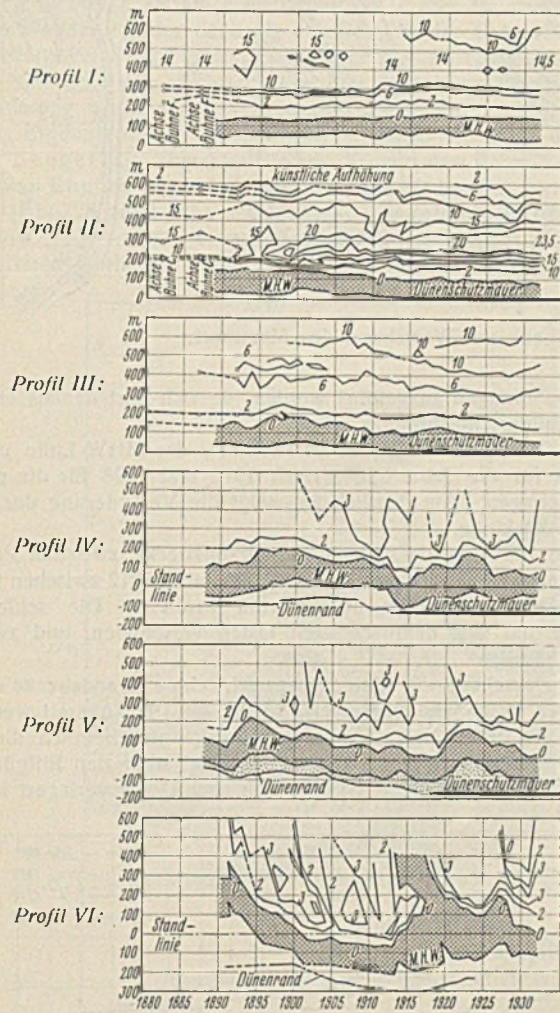


Abb. 24. Graphische Auftragung der Veränderungen des Strandes und der Tiefenlinien in den Peilprofilen I—VI auf Norderney. Tiefenzahlen bezogen auf Seekartennull.

ganz verschwunden, und auch die Breite des über Kartennull (NW) liegenden Strandes wird ständig geringer. Die gleiche Verschiebungstendenz zeigen die 2-, 6- und 10-m-Tiefenlinien; letztere ist im Profil III seit 1900 dem Strand um etwa 160 bis 180 m näher gekommen.

Profil II liegt unmittelbar an der Westecke von Norderney, 60 m nördlich Bühne C, an der ungünstigsten Stelle. Die graphische Auftragung zeigt das Herandrängen der tiefen Stromrinne. Die westlich der tiefen Stromrinne liegende Robbenplate ist seit den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts um etwa 100 bis 120 m näher gekommen. Diese Erscheinung ist eine Folge der infolge des überwiegenden Flutstromes und der Brandung auf den Riffen vorhandenen ostwärts gerichteten Sandwanderung. Ferner wirken die in der tiefen Stromrinne vorherrschenden Ebberströmungen mit, deren Angriff gegen das Westende von Norderney gerichtet ist. Da seit 1859 das Westende von Norderney durch Uferschutzwerke geschützt ist, wurde die Stromrinne eingengt; sie wurde entsprechend tiefer und hatte das Bestreben, sich nach Osten zu verlegen. Infolgedessen zeigte auch die unter Wasser liegende Böschung des Profils III im Bühnenfeld B bis C von jeher eine sehr steile Nelgung. Ende der 90er Jahre bestand eine ernste Gefahr für den Bestand der Bauwerke. Es wurden daher in den Jahren 1897 bis 1900 vor den Bühnen B, C, D und E tief reichende Sinkstückvorbauten von 80 bis 115 m Länge eingebracht¹²⁾. Dieser Einbau wurde an der dem Profil III zunächst liegenden Bühne C in den Jahren 1899

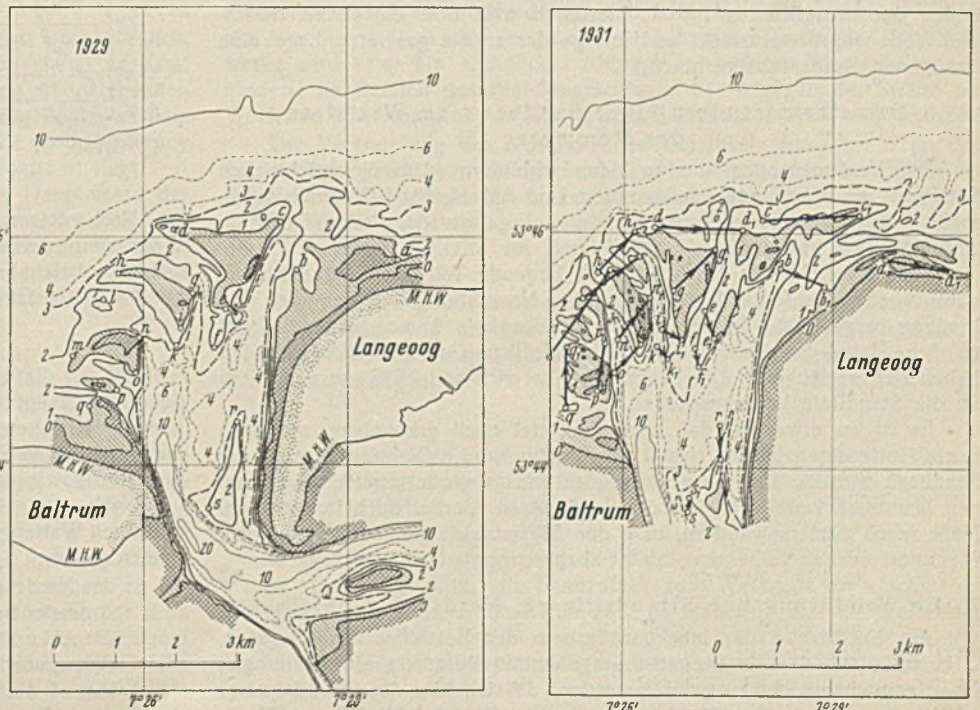


Abb. 25. Wanderung der Sandriffe in der Akkumer Ee (1929 bis 1931).

¹²⁾ Vgl. Fülischer, Fußnote 1.

neyer Seegat vollzieht. Dagegen liegen die Verhältnisse in der Akkumer Ehe und der Otzumer Balje wegen der Gestaltung der zugehörigen Wattengebiete grundlegend anders.

In Abb. 25 ist nach dem Vorgang wie beim Norderneyer Seegat die Wanderung der Sandriffe in der Akkumer Ehe für den Zeitraum von 1929 bis 1931 verfolgt. Die Pfeile geben wieder die wahrscheinliche Art der in den betrachteten Zeiträumen ent-

standenen Verschiebungen von charakteristischen Punkten der Riffe an. Die Riffe wandern zunächst vom Ostende von Baltrum in nördlicher bis nordöstlicher Richtung im Gebiete westlich der tiefen Stromrinne; dann biegen sie nach Osten ab und wandern auf die Nordwestecke der Insel Langeoog zu. Ein Teil des Sandes wird jedoch durch Brandung und den starken Flutstrom „In das Seegat hineingezogen“. Es ist zu bemerken, daß die Südzipfel der Riffe (Punkte e, f, i und k in Abb. 25) sich nach Süden bis Südosten verlängern. Diese Zipfel können sich, wie viele Peilungen zeigen, auf beträchtliche Länge nach Süden erstrecken. Sie legen sich alsdann gegen den Westrand der Inseln und führen diesem Sand zu. Es hat also den Anschein, daß in dem flachen Gebiet östlich der tiefen Stromrinne der Sand — wenn auch langsam — gegen den Strand von Langeoog wandert.

Auf dem äußeren Kreis der Riffe zeigen die Verschiebungen Mittelwerte von 450 bzw. 500 m, die mit den Werten vom Norderneyer Seegat hinreichend übereinstimmen. In dem Inneren Kreis dagegen, wo die Riffe sich in südlicher bis südöstlicher Richtung in das Seegat hinein verschieben, ist die Bewegung langsamer; es wurden Mittelwerte von 200 bis 250 m festgestellt.

Nach angestellten Vergleichen geht in der Otzumer Balje die Riffwanderung in ähnlicher Weise wie in der Akkumer Ehe vor sich. Aus den Strandpeilungen ist bekannt, daß sich westlich von Spiekeroog vor den Uferschutzwerken ein ausgedehntes, langgestrecktes Riff zu bilden pflegt, das sich dann langsam gegen den Weststrand der Insel vorschiebt. Hierbei tritt zeitweise eine beträchtliche Strandabnahme ein. Jedenfalls ist auch hier festzustellen, daß der Weststrand von Spiekeroog Sandzufuhr von den Riffen über das flachere Gebiet östlich der tiefen Stromrinne erhält. Die Tatsache, daß sowohl bei der Akkumer Ehe als auch der Otzumer Balje die tiefen Stromrinnen sich von den Westenden der benachbarten Inseln absetzen, ermöglicht diese Sandzufuhr. Beim Norderneyer Seegat und der Wichter Ehe liegen im Gegensatz hierzu die tiefen Stromrinnen hart an den Westenden der benachbarten Inseln; hierdurch wird dort ein starker Strom- und Wellenangriff verursacht und infolge der anders gearteten Lage eine genügende Sandzufuhr verhindert.

6. Das Heranwandern einer Sandbank am Weststrand des Memmert.

Die Veränderungen der in den Luftbildern (Abb. 5) ersichtlichen Sandbank am Weststrand des Memmert sind seit Herbst 1928 durch regelmäßige Peilungen verfolgt worden. Das Ergebnis der Peilungen ist in Abb. 26 aufgetragen.

1928 bis 1929 war der über MHW liegende Teil der Sandbank noch vom eigentlichen Strand getrennt. Im November 1929 war die Verbindung hergestellt. Seitdem ist die Sandbank in immer breiterer Front an den Strand herangewachsen. Die nördlichen und südlichen Enden haben sich verlängert. Die ganze Bank hat sich seit 1928 um rd. 320 m an die Standlinie herangeschoben.

Es ist zu erwarten, daß auch die jetzt noch erkennbare nördliche Bucht in einigen Jahren ganz zugeworfen wird. Die Sandmassen der Sandbank werden sich dann voraussichtlich in großer Breite am Strand des Memmert verteilen. Ob die Sandmassen hierbei auch in größerem Maße nach Süden wandern und den Weststrand vor den Dünen des Memmert wieder verbessern, bleibt abzuwarten.

7. Die Wanderung der Strandriffe am Nordstrand der Inseln.

Am Nordstrand der Inseln außerhalb des Bereiches der Seegaten, d. h. außerhalb der die Seegaten umgebenden Riffgürtel, sind Peilungen im allgemeinen nicht ausgeführt worden, da sich hier der Strand immer wieder in genügendem Maße zu ergänzen pflegt. Lediglich am Nordstrand der Insel Juist sind seit 1901 auf einer über 5 km langen Strecke

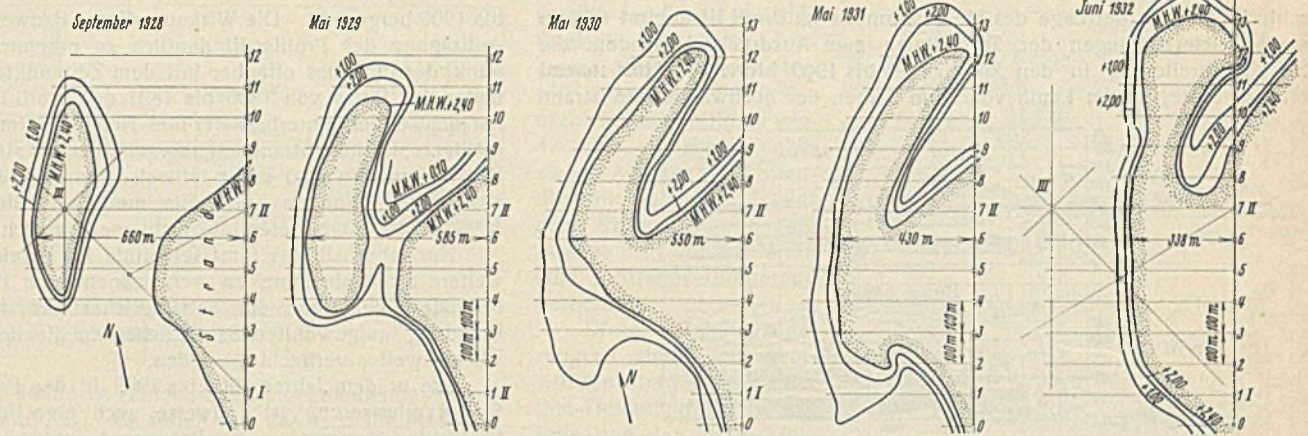


Abb. 26. Heranwanderung einer Sandbank am Weststrand des Memmert.

regelmäßige Peilungen ausgeführt worden, da sich dort damals eine auffallende Strandverschlechterung zeigte.

In Abb. 27 ist die Lage der MNW-Linie, der MHW-Linie und des Dünenrandes für die Jahre 1901, 1907, 1912 und 1928 für die gepellte Strecke aufgetragen. Am deutlichsten zeigt die Veränderung der MHW-Linie die Entwicklung.

Im Jahre 1901 lag die schlechteste Strandstrecke zwischen Profil 12 und 17, im Jahre 1907 zwischen 7 und 12, im Jahre 1912 zwischen Profil 5 und 9, im Jahre 1928 noch östlich vom Profil 1. Die schlechteste Strandstrecke hat sich demnach nach Osten verschoben, und zwar um etwa 150 m jährlich.

Es ist zu ersehen, wie hinter dieser schlechten Strandstrecke sich der Strand wieder fortlaufend verbessert, so daß er 1928 überall wesentlich besser liegt als 1901. Diese Verbesserung ist wahrscheinlich die Folge eines Riffes, das vor 1901 im Westen der Insel über den Riffgürtel vor der Osterems herangewandert ist und sich nach Osten verlagert hat.

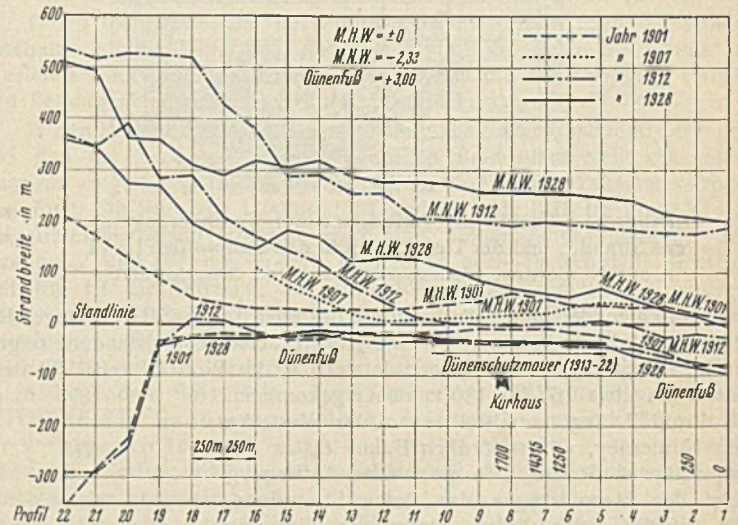


Abb. 27. Graphische Auftragung der Strandveränderungen am Nordstrand von Juist von 1901 bis 1928.

Nach diesem Ergebnis darf angenommen werden, daß sich die Wanderung der Riffe vor dem Nordstrand der Inseln wesentlich langsamer vollzieht als im Bereich der Seegaten mit Werten, die weniger als 300 m im Jahre betragen.

IV. Zusammenfassung.

Die für die allgemeine Gestaltung der ostfriesischen Inselküste maßgebenden Hauptmerkmale wurden untersucht. Hierbei konnte das Vorhandensein gesetzmäßiger Abhängigkeiten zwischen Staffellung und Länge der Inseln, den Durchflußquerschnitten zwischen Staffellung und Länge der Seegaten sowie der Größe der Wattflächen nachgewiesen werden.

Nach der Wassermengenverteilung bzw. Grundrißgestaltung der einzelnen Wattengebiete lassen sich zwei Hauptformen der Seegaten unterscheiden:

1. das Norderneyer Seegat und die Wichter Ehe, bei denen die Hauptstromrinnen am Westende der östlicher gelegenen Inseln liegen,
2. die Akkumer Ehe und die Otzumer Balje, bei denen die tiefen Stromrinnen von den Westenden der östlicher gelegenen Inseln absetzen.

Während die Westenden der Inseln bei der Form 1 stark angegriffen werden, erhalten die Westenden der Inseln bei Form 2 eine genügende Sandzufuhr, so daß hier dauernde und größere Abbrüche vermieden werden.

Die Wirkungsweise von Strömung und Brandung auf den Untergrund wurde allgemein erläutert. Die verfrachtenden Kräfte im Einflußgebiet der Seegaten weisen eine größere Stärke auf als am Nordstrand der Inseln. Die Sandwanderung im Bereich der Seegaten vollzieht sich daher in verwickelteren Formen als am Nordstrande der Inseln.

Die Wanderung der Sandriffe im Bereich der Seegaten wurde für das Norderneyer Seegat und die Akkumer Ehe an einer Reihe von Peilplänen verfolgt. Die Richtung und das ungefähre jährliche Maß der Riffwanderung wurde für diese Seegaten festgestellt.

Das Ergebnis dieser Untersuchung ist nachfolgend für das Norderneyer Seegat als charakteristisches Seegat der Form 1 und für die Akkumer Ehe als charakteristisches Seegat der Form 2 kurz zusammengefaßt. Abb. 28 zeigt eine schematische Darstellung der Riffwanderung in beiden Seegaten; die eingetragenen Pfeile zeigen das ungefähre Maß der mittleren jährlichen Verschiebung und die Richtung an.

Die auf die Nordwestecke der Insel treffenden Hauptteile der Riffe wandern in östlicher Richtung am Nordstrand von Langeoog weiter.

Das Maß der jährlichen Wanderung der Riffe liegt im Norderneyer Seegat zwischen 350 und 500 m. Am Ostende von Juist und auch beim Auftreffen auf den Strand von Norderney sind die Geschwindigkeiten geringer; sie betragen nur etwa 300 m jährlich.

In der Akkumer Ehe ergaben sich auf dem äußeren Riffkranz etwa 400 bis 500 m jährlich. Die Südzügel der Riffe wandern dagegen auf dem kleineren Kreis mit geringerer Geschwindigkeit von 200 bis 300 m jährlich in südöstlicher Richtung gegen den Weststrand von Langeoog.

Der Zusammenhang zwischen der Riffwanderung und den Veränderungen der innerhalb der Riffgürtel der Seegaten liegenden Strandabschnitte wurde am Beispiel des Norderneyer Seegats gezeigt. Strandabnahme und Strandverbesserung sind hier wesentlich durch die heran-

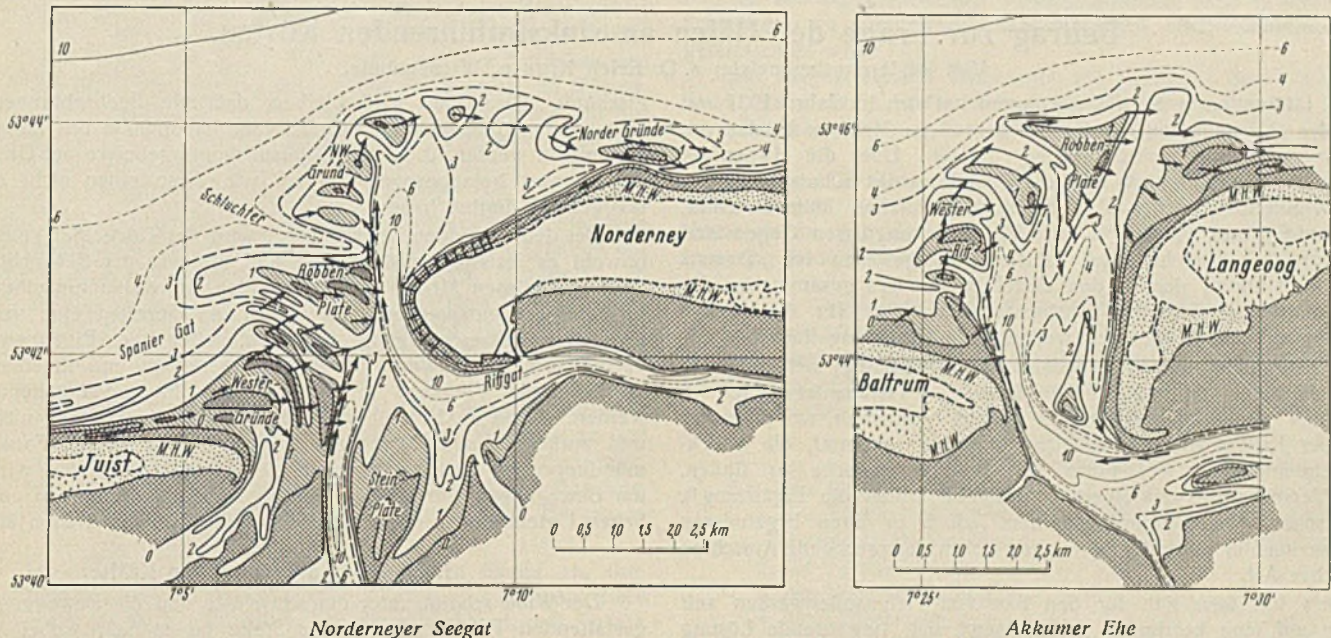


Abb. 28. Schematische Darstellung der Riffwanderung in den Seegaten.

Tiefenzahlen bezogen auf Seekartennull; die Pfeile geben die Richtung der Riffwanderung an; ihre Länge gibt das ungefähre Maß der mittleren jährlichen Verschiebung an.

Für Form 1 (Norderneyer Seegat) ergibt sich folgendes:

Die mit der Brandung und dem stärkeren Flutstrom von Westen herangebrachten Sandmassen bauen die Riffe „Wester Gründe“ und „Robbenplate“ auf. Die Einzelriffe wandern teils in nordöstlicher, teils in östlicher Richtung weiter, bis sie an das Busetief kommen. Die starken Ebbeströmungen verfrachten die Sandmassen hier nach Norden weiter und führen zur Neubildung von Riffen auf dem Nordwestgrunde. Der Schlachter ist eine ziemlich beständige Stromrinne.

Vom Nordwestgrunde aus wandern die Riffe zunächst noch nördlich, bis der Ebbestrom infolge der Querschnittsvergrößerung soviel an Kraft verloren hat, daß sie durch den in östlicher Richtung überwiegenden Flutstrom und die Wirkung der Brandung nach Osten abgelenkt werden. Die Riffe treffen dann schließlich in einem Punkte auf die Insel Norderney auf, der etwa 3,5 bis 4,0 km vom Westende der Insel entfernt liegt.

Nach dem Auftreffen auf den Strand wandert die Hauptmasse der Riffe in östlicher Richtung am Nordstrand weiter; der kleinere Teil wird in südwestlicher Richtung nach dem Seegat zu verfrachtet und führt hier zu vorübergehenden Strandverbesserungen. Am Westende der Insel selbst haben sich derartige Strandverbesserungen in den letzten Jahrzehnten jedoch nicht mehr bemerkbar gemacht.

Für Form 2 (Akkumer Ehe) ergibt sich folgendes:

Die von Westen herangebrachten Sandmassen bilden das „Wester Riff“. Sie stoßen dann teils in nördlicher, teils in östlicher Richtung vor und treffen hier sogleich am Ostende von Baltrum auf die tiefe Stromrinne der Akkumer Ehe, deren Lage durch die Wassermengenverteilung im Wattengebiet bedingt ist. Hier wird der Sand abrasiert und mit dem stärkeren Ebbestrom in nördlicher Richtung verfrachtet, wo er zur Speisung der nördlichen Riffe dient.

Dort, wo nach See zu der Flutstrom in östlicher Richtung wieder überwiegt, werden die Riffe nach Osten abgelenkt und wandern an der Nordwestecke von Langeoog auf die Insel auf. Die Südzügel der Riffe werden jedoch mit dem auf dem flacheren Wasser stärkeren Flutstrom und der Brandung nach Südosten zu in das Seegat hineingezogen. Sie legen sich dann gegen den Weststrand der Insel und führen auch diesem ausreichende Sandmengen zu. Hierin liegt der grundlegende Unterschied gegenüber Form 1.

wandernden Riffe beeinflusst. Eine gewisse Regelmäßigkeit dieser Erscheinung ist unverkennbar.

An den graphischen Auftragungen einiger Strandprofile am Westende von Norderney konnte jedoch auch gezeigt werden, daß hier seit der Befestigung des Weststrandes durch den ostwärts gerichteten Druck der Robbenplate im Laufe der Jahrzehnte eine Einengung und Vertiefung der tiefen Stromrinne eingetreten ist. Als Folge davon ist eine Abnahme des Strandes von Norderney und teilweise auch des unter Wasser vor dem Strand liegenden Seegrundes eingetreten. Durch die Uferschutzwerke wird zwar ein schädlicher Abbruch in größeren Wassertiefen verhindert; im Bereich des Brandungsschlages hat dagegen der Strand am Westende von Norderney in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen.

Die Veränderung des Nordstrandes der Inseln konnte nur an den Juister Strandpeilungen verfolgt werden. Hier ergab sich, daß die in der M.H.W.-Linie zu verfolgenden großen Verschiebungen in östlicher Richtung nur mit Werten von etwa 150 m jährlich stattfanden. Die größere Wirkung der verfrachtenden Kräfte im Bereich der Seegaten wird hierdurch verdeutlicht.

Die Verfolgung der Riffwanderung war nur für die Großformen der Sandwanderung, wie sie aus den Peilungen ersichtlich sind, möglich. Den Weg des einzelnen Sandteilchens und die Veränderung der Kleinformen zu verfolgen, ist sehr schwierig und noch nicht möglich gewesen.

Die vorstehenden Untersuchungen haben gezeigt, daß die Voraussetzungen für eine ausreichende Sandzufuhr zu den Westenden der Inseln Norderney und Baltrum ungünstiger sind als für die Westenden von Langeoog und Spiekeroog. Während die letzteren Inseln an ihren Westenden Sandzufuhr erhalten, sind bei Norderney und Baltrum alle Umstände darauf gerichtet, die Sandzufuhr zum Westende zu erschweren. Andererseits greifen die Strömungen und die Brandung hier die Westenden an und suchen Abbrüche herbeizuführen, die durch künstliche Schutzbauten nach Möglichkeit verhindert werden müssen, wenn es nicht durch geeignete Bauten gelingt, die Strömungen so zu lenken, daß sich auch die Westenden der Inseln nach Hochwasserabbrüchen von selbst durch die Sandzufuhr wiederaufbauen.

Alle Rechte vorbehalten.

Beitrag zur Frage der Häfen an sinkstoffführenden Küsten.

Von Regierungsbaumeister a. D. Erich Krause, Warnemünde.

Der 15. Internationale Schiffahrtskongreß hat sich im Jahre 1931 mit der Frage der „Verteidigung der Küsten gegen das Meer an Küsten mit und ohne vorwiegende Sinkstoffführung“ befaßt. Über die Häfen an diesen Küsten — im Anschluß an die Behandlung des Schutzes der anschließenden Strandstrecken — wurde nur von Italien kurz berichtet, obwohl gerade dieses Gebiet in den Vorkriegskongressen Gegenstand sehr umfangreicher Berichte und Erörterungen gewesen ist. Damals stellte man auf Grund der in den einzelnen Ländern gesammelten Erfahrungen und Beobachtungen bestimmte Grundsätze für die Anlage solcher Häfen auf, die heute noch weitgehende Beachtung finden.

Das Schrifttum der letzten zwei Jahrzehnte beschäftigt sich mehrfach mit den Einbauten am Strande. Uferschutz- und Hafenanlagen des In- und Auslandes werden behandelt und kritisch verglichen, wobei es für die Häfen an Küsten mit Sinkstoffführung darauf ankommt, die zweckmäßigste Linienführung und Form der Hafenaußenwerke zu finden. Praktische Versuche im verkleinerten Maßstabe bilden die Ergänzung¹⁾. Die literarischen Abhandlungen weichen jedoch in ihren Ergebnissen teilweise voneinander ab und zeigen auch sich widersprechende Ansichten grundsätzlicher Art.

Trotzdem hat man sich für den Bau von Hafenaußenwerken seit Jahrzehnten auf eine bestimmte, anscheinend sich bewährende Lösung (Grundsätze der Schiffahrtskongresse) festgelegt. Doch zeigen sich in mehr oder weniger starkem Maße Nachteile, denen man wohl mit einem allerdings nicht vertretbaren Aufwand an Geldmitteln unter Umständen begegnen könnte, die man jedoch nicht ausschalten kann, da keine ausreichende Klarheit über ihre Ursachen besteht. Eine gewisse Verzichtstimmung zeigt sich oft in den Hafenbeschreibungen, die ihren Ausdruck meistens in der Feststellung findet, daß man ohne Baggerungen nicht auskommen werde.

Da die Tatsache besteht, daß von einem endgültig befriedigenden Erfolge der seither bei der Anlage von Hafenaußenwerken an sinkstoffführenden Küsten beachteten Grundsätze nicht die Rede sein kann, bleiben diese weiterhin ständig daraufhin zu untersuchen, wie

- a) die Sinkstoffablagerungen und damit die Baggerungen vor und in den Hafeneinfahrungen auf ein Kleinmaß beschränkt werden können und
- b) die Einfahrt möglichst allen Anforderungen der Schiffahrt angepaßt werden kann.

Einige Wissenschaftler und Ingenieure der Hafenunterhaltung halten zwar die Entwicklung der Hafenaufgabe im Fluß, die jedoch besonders in Deutschland in dem engen Rahmen der zur Verfügung stehenden Mittel nur langsam vor sich gehen kann.

Die Beobachtung und der Versuch in der Natur sowie eine möglichst naturgemäße Übertragung in das Versuchsbecken sind unerläßliche Vorbedingungen zur Erzielung von wissenschaftlichen und somit wirtschaftlichen Erfolgen.

Es muß daher erneut versucht werden, diejenige Form der Linienführung für die Hafenaußenwerke zu entwickeln, die den Gesamtanforderungen in höherem Maße als bisher entsprechen kann, nachdem auf Grund der ersten Erkenntnisse die fraglichen Häfen ständig beobachtet sowie die Erfahrungen über die Ursachen der Veränderungen der sandigen Küsten sich ebenfalls erweitert haben. Es kann sich nicht darum handeln, genaue, für jeden Fall anwendbare Richtlinien aufzustellen. Eine exakte Lösung auf diesem Gebiete ist nicht möglich, da sowohl Litho- als auch Hydrosphäre im Laufe der Zeit einer ständigen Veränderung unterliegen, die sich an der Küste als Grenzgebiet besonders bemerkbar macht.

Man wird die Forschungen der Ozeanographie, Geologie, Meteorologie usw. nicht unbeachtet lassen dürfen, jedoch nur in dem Maße, in dem sich ihre praktische Bedeutung für die hier rein technischen Lösungen

¹⁾ Rohr, Wasser- und Sinkstoffbewegungen in Fluß- und Seehäfen. Verlag von R. Oldenbourg.

erschöpft. Grundsatz muß bleiben, daß alle Beobachtungen und anzustellenden Untersuchungen immer vom Standpunkte des Ingenieurs vorgenommen werden, d. h. daß Untersuchungsergebnisse auf Grenzgebieten nur so weit herangezogen werden, wie diese einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß haben.

Bei den folgenden Betrachtungen wird das Tidegebiet²⁾ ausgeschaltet, obwohl es feststeht, daß Ursache und Wirkung der Beobachtungen, die im gezeitenlosen Meere gemacht werden, in vielen Einzelheiten denen im Tidemeer entsprechen. Da jedoch die Gezeiten eine verwickeltere Form der Wasserbewegung darstellen, sollen ihre Eigenbewegung zunächst noch der weiteren Forschung überlassen und für den Hafenaufbau vorläufig die Vorgänge im gezeitenlosen Meere eingehender geklärt werden. Denn es handelt sich bei den Gezeitenströmen nicht um hin- und zurückgehende Bewegungen, die man in dieser Form in Flußmündungen an Tidemeeren oder in Meeresengen finden wird, sondern um Bewegungen, die ständig Richtungswechsel vornehmen und mit zeitlichen Unterschieden durch alle Richtungen hindurchdrehen können.

I. Die küstengestaltenden Kräfte.

Der Wind scheint unter den die Küste und die Bewegung im Meere gestaltenden Faktoren an erster Stelle zu stehen, wobei die größte Wirkung von den stürmischen Winden ausgeht.

Der unmittelbare Einfluß des Windes auf eine sandführende Küste macht sich parallel zur Küstenlinie durch den Sandflug auf dem Strande und die Verfrachtung des Sandes senkrecht zum Strande in der Dünenbildung bemerkbar, und mittelbar in der Strandvertriftung innerhalb der Brandungszone. Mittelbare Wirkungen sind die auflaufenden Wellen, Strömungen außerhalb der Brandungszone und — abgesehen vom Gezeiteneinfluß — die lotrechten Schwankungen des Wasserspiegels (Wasserstand).

Für die letzte Erscheinung besteht bekanntlich zur Messung der Niveauunterschiede das MW als Ausgangspunkt. Der Einfluß der Winddauer mit seiner Stauwirkung³⁾ auf die Wassermassen ist besonders zu beachten.

Über die Entstehung der Wellen und die Bewegungsvorgänge liegen eingehende Darstellungen in mehrfacher Behandlung vor.

Die äußeren, stromerzeugenden Kräfte sind die zeitlichen und örtlichen Luftdruckänderungen an der Meeresoberfläche. Infolge der Reibung zwischen Wind und Wasseroberfläche ist die Bewegungsrichtung des Oberstromes im allgemeinen die des Windes. Auf das Wasser in der Bewegung hat jedoch die Rotation der Erde Einfluß. Die Wirkung ist auf der nördlichen Halbkugel eine Abweichung nach rechts, auf der südlichen nach links. (Nach dem Segelhandbuch für die Ostsee 36°, nach Witting im Mittel 19° für die im freien Meere liegenden Beobachtungsstationen.) Der Grad der Ablenkung kann in lotrechter Richtung verschiedene Werte annehmen, da die Wirkung der an der Oberfläche auftretenden Luftkräfte mit der Wassertiefe abnimmt.

Die inneren Ursachen einer Bewegung des Meeres sind seine physikalischen Zustände. Naturgemäß stellt die Meeresoberfläche die Hauptstörungsfläche dar. Durch die darüberliegende Atmosphäre bedingt, tritt in den obersten Wasserschichten ein ständiger Wechsel der Temperatur ein. Hierdurch sowie durch die Verteilung des Salzgehaltes tritt eine Störung des Gleichgewichts auf, die eine Bewegung auslöst. Der Salzgehalt ist von verschiedenen Faktoren abhängig. An Stellen starker Verdunstung nimmt der Salzgehalt zu. Eine Schwächung tritt durch Niederschläge, Eis, Schmelz- und Flußwasser ein.

²⁾ R. Winkel, Modellversuche für Tidebewegung. Bautechn. 1923, Heft 21. — Ders., Modellversuche über Beeinflussung der Schlickablagerung durch verschiedenartige Hafenanlagen im Tidegebiete. Bautechn. 1924, Heft 18 u. 20.

³⁾ R. Winkel, Windeinwirkung auf Gewässer. Ztrbl. d. Bauv. 1917, Heft 9.

Dichteunterschiede als Ursache von Strömen werden in den Meeren ausgeschaltet sein, in denen Tideströme laufen.

Das Wasser ist nahezu unzusammendrückbar. Hieraus ergibt sich, daß bei einem Aufeinandertreffen von Strömungen lotrechte Bewegungen entstehen müssen. Strömungen von verschiedener Beschaffenheit sind an der Oberfläche oft sehr deutlich an der Divergenz oder Konvergenz der Stromlinien zu beobachten. Es sammeln sich dort Schwämmel aller Art, Schaum usw.

Einen besonderen Einfluß auf die Meeresströmungen üben die Boden- und Küstenkonfiguration aus. Es entstehen daraus für die Wasserbewegung nicht nur Abhängigkeiten in lotrechter, sondern auch in waagerechter Richtung.

Dies ist eine Tatsache, die vornehmlich bei dem Verlauf der Meeresströme in den Ozeanen zu weiteren Erkenntnissen geführt hat. Diese Beobachtungen und die im Anschluß daran entwickelten Theorien über den Bodeneinfluß sind auf ihre Gültigkeit im unmittelbaren Küstengebiet sowie in Nebenmeeren anscheinend nicht untersucht worden — Untersuchungen, deren Ergebnisse für den Uferschutz und den Hafenbau von praktischer Wichtigkeit werden können. Wenn Strömungen im Küstengebiet beobachtet und gemessen wurden, sind diese Arbeiten auf nur wenige, räumlich sehr kleine Gebiete (Hafengebiete) beschränkt geblieben. Hierauf soll weiter unten noch näher eingegangen werden.

Die ersten hydrographischen Erkenntnisse in den Ozeanen wurden aus den Aufzeichnungen gesammelter Schiffstagebücher geschöpft. Flaschenposten wurden ausgesetzt und aus Ausgangsort und Strandungsstelle der wahrscheinliche Weg und unter Umständen Laufzeit ermittelt. In Küstennähe gaben Feuerschiffe und Landbeobachtungsstationen erste Aufschlüsse. Alle diese Beobachtungsmethoden dienten und dienen vornehmlich der Schifffahrt und wissenschaftlich-ozeanographischen Zwecken.

Als man im Ausbau von Hafemündungen Probleme sah, war auch die wichtige Bedeutung der Strömungen klar. Die Erkenntnisse auf diesem Gebiete sind jedoch noch so gering, daß es umfassender, systematisch angelegter Untersuchungen sowie einer weitgehenden Verbesserung der Untersuchungsmethoden bedarf, um praktische Erfolge zu erreichen.

Bei der Beobachtung der Strömungen kommt es darauf an, ihre Stärke und Richtungen unter verschiedenen Bedingungen in jeder Tiefe durch zuverlässige Messungen festzustellen. Es ist bekannt, daß Ströme nicht nur durch den Wind beeinflusst auf der Oberfläche laufen, sondern daß eine lotrechte Ebene gleichzeitig von mehreren sich überlagernden Strömen mit unter Umständen verschiedenen Richtungen geschnitten werden kann. Im Laufe der Zeit können sich diese Richtungen ändern.

Für Strömungsuntersuchungen bei starkem Seegang, dessen Wirkungen auf die Küstengebiete am weitestgehenden sind, haben sich bisher bei den entgegenstehenden Schwierigkeiten brauchbare Meßmethoden noch nicht finden lassen, so daß hier Beobachtungsergebnisse gänzlich fehlen. Als Ersatz für das schwierige Experiment in der Natur ist zur Lösung der Probleme der theoretische Weg versucht worden.

Die physikalische Ozeanographie hat bereits gute Erfolge durch theoretische — rechnerische — Untersuchungen erzielt, von denen einige Ergebnisse nach späterer Beobachtung in der Natur sich als richtig erwiesen. Die Strömungen sind in den Wirkungen ihrer Teilkräfte untersucht worden, woraus verwickelte Formen des Zusammenwirkens gefolgert wurden. Ein Beweis in der Natur hat sich jedoch nicht immer erbringen lassen.

Das Gebiet, in dem die Schwierigkeit einer klaren Erkenntnis am größten ist, liegt naturgemäß in der Grenzfläche zwischen Meer und Küste. Hier wird rein mathematisch überhaupt nicht zum Ziele zu kommen sein. Die Beobachtungen über das Verhalten der die Tiefenverhältnisse vor den Hafenaußenwerken beeinflussenden Strömungen haben nur geringe Erfolge gehabt, da die bisherigen Meßmethoden sich lediglich nur bei einigermaßen ruhiger See anwenden lassen. Die seit langer Zeit im Seebau gebräuchlichen Meßinstrumente: Schwimmer und Log, sind in ihren verschiedenen Bauarten und Anwendungsweisen bekannt.

Die Beobachtung der Tiefen und Gezeitenströme in den weiten Wattenflächen, die zur Beobachtung der ständigen Verlagerung der Sände vor der Nordseeküste für Groß- und Kleinschifffahrt sehr wichtig ist, wird systematisch von Fahrzeugen vorgenommen.

Im Ostseegebiet sind Strömungsmessungen bei weitem nicht in dem Umfange wie an der Nordseeküste mit aufschlußreicheren Methoden und hochwertigeren Meßinstrumenten ausgeführt worden. Sowohl Seewarte als auch Reichsmarine haben sich vornehmlich der Strömungsforschung im Tidegebiet gewidmet. Die dort angewendeten Meßmethoden sind jedoch nicht nur für das Ostseegebiet geeignet, sondern bieten auch hier die Aussicht, zu guten Ergebnissen zu kommen, schon allein darum, weil die Gezeiten ohne nennenswerten Einfluß sind.

Eine ausgezeichnete Gelegenheit zur Ausführung von Treibkörperbeobachtungen hat Prof. Dr. Bruno Schulz von der Deutschen Seewarte während der Kriegszeit gehabt⁴⁾.

In jüngster Zeit sind Meßinstrumente entwickelt worden, die Richtung und Stärke von Strömen elektrisch registrieren. Die bekanntesten sind die Strommesser Ekmann-Merz und Rauschelbach⁵⁾.

Bei schwerer See werden Treibkörper angewendet werden müssen. Ihre Verwendung wird vornehmlich über größeren Tiefen in Frage kommen. Unter „größere Tiefe“ wird in diesem Falle das jenseits des mit der Küstenkonfiguration, Windstärke und -richtung in der Breite wechselnden Brandungsgürtels liegende Seegebiet verstanden. Gelangen die Schwimmer in die Brandungszone, setzen sie mit der zum Strande einschwenkenden Wellenbewegung landwärts.

Die Treibkörper sind für die Beobachtung bei grober See und grobem Wetter (diesig) besonders auszubilden.

Bei besonders schlechten Sichtverhältnissen wird es sich empfehlen, Schwimmer so auszustatten, daß ihre Bahn durch eine Rauchfahne gekennzeichnet wird.

Ein ausgezeichnetes Hilfsmittel zur Erfassung der Verlagerung der Sände kann das Luftbild werden. Eine Verwendung von Flugzeugen wird oft schneller und übersichtlicher die umfangreichen Peilungen ersetzen.

Flüge an der Ostseeküste und über dem nordfriesischen Wattenmeer haben bereits die Möglichkeit gezeigt, durch Luftbildaufnahmen der Küstenstriche mit den „Sänden“ die Gesetze ihrer Bewegung und Lagerung finden zu können.

II. Sinkstoffbewegung im Küstensaum.

Sowohl für den Küstenschutz als auch für den Hafenbau ist die Frage zu lösen, nach welchen Gesetzen Anlandung und Abbruch an den Küstenstrecken vor sich gehen.

Die Entstehung der Massen ist bedingt durch eine Zerstörung
a) der Landmassen,
b) des Meeresbodens.

Die Zerstörungskräfte sind

1. die Tätigkeit der Wellen und Strömungen, die gleichzeitig den Transport übernehmen,
2. die Atmosphärlinien,
3. die Bodenbewegungen,
4. die Organismen.

Die letzten drei Faktoren sollen als die weniger wesentlichen, jedoch keinesfalls zu unterschätzenden Kräfte zuerst besprochen werden.

Die auf den Strand hoch auflaufenden Wellen leiten den Abbruch einer Düne oder eines Hochufers aus leicht zerstörbarem Material ein. Bodenmassen verschiedener Beschaffenheit stürzen auf den Strand, von wo sie von der See verarbeitet und fortgeschafft werden.

Die Zerstörung des Uferstreifens wird weiter übernommen von dem Oberflächen-(Sicker-)wasser und dem ständigen Temperaturwechsel (Abblätterung durch starke Sonnenbestrahlung oder Zerstörung durch Frost).

Ein geringer Schutz gegen diese Kräftewirkungen ist eine Bepflanzung, die bei den Dünen sogar sandfangend wirkt. Das Annagen des Küstenfußes, worunter die oberste Grenze des trockenen Strandes zu verstehen ist, ist jedoch hierdurch nicht aufzuhalten. Die parallelen und senkrechten Uferschutzwerke verlangsamen lediglich das „Zurückschneiden“ der Uferabbrüche. Daß dieser Küstenschutz in seiner Wirkung unter Umständen fast gänzlich aufgehoben werden kann, zeigt eine Beobachtung an der Ostsee, wo große Bodenmassen von bestimmter geologischer Beschaffenheit und Lagerung an gewissen Küstenteilen unter dem Einfluß der Schwerkraft in Bewegung sind⁶⁾.

Der Vollständigkeit wegen sei auch die Tätigkeit von Tieren (Insektenlarven, Maulwürfen usw.) erwähnt, die zur Lockerung des Bodens beitragen.

Die landseitige Angriffzone der Wellen ist eindeutig begrenzt durch die Strandlinie und den Dünenfuß. Das Haupttätigkeitsgebiet liegt sichtbar in der ufernahen Brandungszone. Umstritten ist meines Erachtens jedoch die Lage der seeseitigen Begrenzungslinie. Die Theorie der „Neutralen Linie“ ist an Hand von Peilbeobachtungen aufgestellt worden, die anscheinend zeigen, daß in dem Raum zwischen Strandlinie und 10-m-Isobathe die Tiefenlinien ihre Lage ständig verändern, darüber hinaus jedoch der Seegrund einen normalen Verlauf zeigt. Durch die Riffformung in jenem Gebiet wird dies auch scheinbar bestätigt. Die Brandung schafft in ihrer Wirkungszone diese parallel zum Strande verlaufenden Sandanhäufungen, deren Lage und Anzahl sich ständig verändert. In unserem Küstengebiet (Ostsee) lassen sich nach Hartnack sechs Sandriffzonen in Entfernungen

⁴⁾ B. Schulz, Beiträge zur Kenntnis der Gezeiten an der flandrischen Küste und auf der unteren Schelde. Hydrographische Untersuchungen der Deutschen Seewarte 1925, Heft 2.

⁵⁾ Kähler, Strommesser nach Rauschelbach . . . Ztrbl. d. Bauv. 1931, Heft 11.

⁶⁾ Hartnack, Die Küsten Hinterpommerns unter besonderer Berücksichtigung der Morphologie. Geographische Gesellschaft, Bruncken-Verlag, Greifswald 1926.

zwischen 21 und 700 m von der Uferlinie und zwischen Wassertiefen von 0,80 und 9,50 m feststellen. Es ist allerdings noch nicht beobachtet worden, daß an einer Küstenstrecke die sechs Zonen zusammen auf einmal auftraten. Vielmehr schwanken diese bei räumlicher und zeitlicher Bedingtheit zwischen zwei und drei.

Im allgemeinen liegt die 10-m-Tiefenlinie in einer Entfernung von 500 bis 1000 m zur Strandlinie. Auch hier ist mit Abweichungen zu rechnen.

Engels bringt in seinem Handbuch des Wasserbaues, Band I, ein besonderes Kapitel: „Wellenwirkung in der Tiefe“. Er führt darin einige in verschiedenen Meeresgebieten gemachte Beobachtungen über die Wirkungstiefe der Sturmwellen an, u. a.: „Die flachen Kiesel der Chesilbank (englische Küste) wurden, wie durch Taucher festgestellt wurde, in einer Tiefe von 14,6 m bewegt. Es wird ferner berichtet, daß 2 m hohe Wellen durch Aufwühlen des Grundes ihre Farbe ändern, sobald sie in Tiefen von 13 bis 15 m kommen“.

Eine weitere Abweichung stellt das Ergebnis einer Grundprobenuntersuchung des Dr. Tiedemann⁷⁾ an der ostpreußischen Küste dar. An der Brusterorter-Ecke befindet sich auf 20 m Wassertiefe ein Steinriff. Es laufen dort Strömungen, die anscheinend auch in dieser Tiefe jede Ablagerung von feinen Sänden verhindern.

Aus den angeführten Beispielen ergibt sich, daß eine Grenze der Sinkstoffbewegung in einer gewissen Meerestiefe sich nicht festlegen läßt. Ist die Reichweite der Wellenbewegung erschöpft, so können Strömungen den Transport übernehmen.

„Das aus der Zerstörung“ der Ränder der Landmassen sowie aus den Flußablagerungen „hervorgegangene Material wird teils durch die Wellen uferwärts, teils durch den Sog seawärts transportiert und gerät in diesem letzten Falle in den Bereich küstenferner Strömungen, um durch diese weiter transportiert und an räumlich entlegeneren Stellen zum Aufbau verwendet zu werden“ (Hartnack). Von dem mit den Brandungswellen auf den Strand gebrachten Sand bleibt jeweils nur ein Teil zurück, um an der Strandverfrachtung teilzunehmen. Ein Teil geht durch den Sog der zurücklaufenden Wellen wieder seawärts und dient je nach der Wellenhöhe dem Aufbau der Riffe. Der Rest wird wieder an den Küstenstrom abgegeben. Die Brandung schafft in ihrer Wirkungszone mehrere parallel zum Strande verlaufende wellenförmige Sandanhäufungen, deren Lage und Anzahl sich ständig verändert. Die Korngröße der Sände wechselt zwischen fei-, grobkörnig und Geröll. Der Küstenstrom kann 100% und weit mehr von der Menge, die er an Sinkstoffen abgab, aus der Brandungszone zurückerhalten, d. h. in diesem Falle liegt der Strand im Abbruch als eine Folge außerordentlicher Strömungen oder starker, besonders aufländiger Winde.

Für den Küstenschutz ist es nun in der Tat von ganz außerordentlichem Belange, in welchem Maße die von den Wellen hervorgerufene Umlagerung der Küste — Küstenversetzung — stattfindet und inwieweit ein zur Weiterverfrachtung der losen Sinkstoffe befähigter Küstenstrom vorhanden ist⁸⁾.

Für den Hafenbau ist eine sehr wichtige Voraussetzung die Kenntnis der Geschwindigkeitsgröße des Küstenstroms und die Größe seines Sandreichtums in den einzelnen Küstengebieten. Diese Größen schwanken infolge des veränderlichen Luftdrucks, der den Wind und damit die Wasserbewegung beeinflusst. Andererseits sind Küstenstrecken mit einer gewissen Stetigkeit dieser Werte vorhanden, d. h. man spricht unter Außerachtlassung gewisser geringer Schwankungen von Küsten mit beschleunigter und langsamer Sinkstoffführung, je nach Stärke der Winde sowie nach Lage der Hauptwindrichtung zur Küstenrichtung.

Das Überwiegen von Anlandung oder Abbruch ebenso wie ein Gleichgewichtszustand zwischen beiden Erscheinungen wird bestimmt durch die örtlich wechselnde, mehr oder weniger große Wirksamkeit der an der Strandbewegung beteiligten Kräfte. Für die Weiterverfrachtung muß zunächst Sand geliefert werden. Dies geschieht einmal durch die ständig mehr oder weniger im Abbruch liegenden Küstenstrecken, weiterhin in verstärktem Maße durch parallel zur Küste laufende Strömungen, die Sinkstoffe mit sich führen und diese jeweils an die brandende Zone abgeben.

Eine Küstenversetzung findet auf dem trockenen Strande und in der Brandungszone statt, ein Küstenstrom läuft vornehmlich seawärts davon. Eine Einschränkung muß hierzu für eine durch Wind unbeeinflusste See gemacht werden, zu welcher Zeit die Strömungen fast unmittelbar bis zur Strandlinie sich landwärts verschieben können.

Das Schrifttum hat nicht überall mit der für die klare Erkenntnis der verschiedenen Stärkegrade der Ströme nötigen Klarheit die Trennung zwischen Küstenversetzung und Küstenstrom durchgeführt. Die Be-

obachtungen des Küstenstroms, wie sie z. B. von den Sturmwarnungsstellen der Deutschen Seewarte vorgenommen werden, erstrecken sich zur Zeit fast ausschließlich auf seine Bewegungsrichtung. Hierbei wird oft lediglich von der Windrichtung ohne weitere Messung auf den Strömungsverlauf geschlossen. Unmittelbare Messungen, die — auch in gewisser Tiefe unter der Oberfläche — andere Richtungen als die des herrschenden Windes ergeben würden, sind in sehr wenigen Fällen bisher durchgeführt worden, da sich infolge der Undurchführbarkeit bei bewegter See eine ununterbrochene Kette von Beobachtungen nicht durchführen läßt.

Als Beobachtungsergebnisse werden in der Literatur Geschwindigkeitszahlen des Transports von Materialien verschiedener Korngrößen auf dem Strande angegeben, die jedoch nur einen bedingten Wert haben, da sie bei normal bewegter See ermittelt worden sind.

Die die Küste beeinflussenden Meeresströme entstehen und bewegen sich unter Zusammenwirkung so vieler Faktoren, daß sich ein bestimmtes Gesetz über ihre Stärke oder die jeweilige Intensität der Sandführung nicht aufstellen läßt.

Für das Gebiet der Ostsee sind mehrfach über die Bedingtheiten der Küstenstromstärken Betrachtungen und Ermittlungen angestellt worden.

Nach Heiser⁹⁾ wird die Geschwindigkeit der Strandversetzung von der Größe des Winkels beeinflusst, mit der der Wind auf die Küste trifft. Hinzu tritt dann der an der Sandbewegung beteiligte Küstenstrom in Abhängigkeit von Windstärke und -richtung, wobei auf die zusätzlich wirkende Kraft der Erdumdrehung sowie auf den Einfluß der Küstenkonfiguration hingewiesen wird. Für das Gebiet der Ostsee sind die verschiedenen Bewegungsstärken von Heiser in einem besonderen Plan¹⁰⁾ dargestellt worden, der durch das oben Gesagte erläutert ist.

Musset¹⁰⁾ nennt ebenfalls als den Hauptzeugeter des Küstenstroms und der Sandbewegung den Wind. Er stellte für die drei ostpreussischen Häfen Kolberg, Rügenwaldermünde und Stolpmünde die Windstärketage für einen Zeitraum von 15 Jahren zusammen und gibt für jeden Hafen besonders, und somit für drei verschiedene Küstenrichtungen, eine zeichnerische Auftragung der Windkräfte nach Richtung und Größe. Infolge der abweichenden Streichrichtung der Küste bei Rügenwaldermünde, deren Verlauf hier um 40° mehr nach Norden gerichtet ist als bei den beiden anderen Häfen, trifft die Resultierende aller Winde hier die Streichrichtung unter 63°. In Stolpmünde ist dieser Winkel 26°, in Kolberg nur 4°. Die zu den Küstenstrichlinien parallelen Komponenten der Resultierenden aller Winde betragen in

Rügenwaldermünde	2100 Windstärketage
Kolberg	3900 „
Stolpmünde	4400 „

Die Sandwanderung an der Küste muß also bei Rügenwaldermünde eine langsamere als in der Nähe der beiden anderen Häfen sein (Musset).

Die Untersuchungen von Heiser und von Musset berücksichtigen jedoch nicht, daß die Sandbewegung auch Strömungen beeinflussen, die nicht unter dem Einfluß des Windes stehen. Somit geben die reinen Windbeobachtungen noch keinen ausreichenden Beweis über die Stärke der Sandwanderung.

Musset schließt auch aus dem Verlauf der 40-m-Tiefenlinie auf einen lebhaften Küstenstrom vor Kolberg, der jedoch an Schnelligkeit verliert und seine Sandbewegung einbüßt durch die den Strom nach Norden ablenkende Stolper Bank.

An dieser Feststellung Mussets über den Einfluß der 40-m-Tiefenlinie auf die Küstenströme muß meines Erachtens jetzt die Untersuchung einsetzen und fortgeführt werden, d. h. in welchem Maße die vor den Küsten verlaufenden großen Tiefen die Küstengebiete selbst beeinflussen.

Ozeanographisch ist durch weitgehende Untersuchungen in verschiedenen Meerestellen eine Abhängigkeit der Strömungen von der Gestaltung des Meeresbodens nachgewiesen. Unsere Kenntnis über küstennahe Strömungen ist jedoch noch sehr gering, da ihre Ursachen bisher fast nur in physikalischer Veränderung des Wassers sowie der Strandzone gesucht worden sind.

Um unter Umständen aus dem Verlauf der großen Tiefenlinien etwas über die Ursachen der Strömungswirkungen an der Küste nachweisen zu können, wird zur Erforschung der die Sandbewegungen vor den Häfen Kolberg und Rügenwaldermünde beeinflussenden Strömungen die Tiefenkarte des Ostseegebietes vor der hinterpreussischen Küste nach Dr. Hartnack benutzt (Abb. 3^{*)}).

Typisch für jede sandige Küste ist die Zone der Riffe. In den bereits früher darüber gemachten Ausführungen war die Lage der 10-m-Isobathe allgemein in 500 bis 1000 m Entfernung von der Küste be-

⁹⁾ Heiser, Über die zweckmäßigste Anordnung der äußeren Hafendämme von Seehäfen an sandiger Küste . . . Z. f. Bauwes. 1920.

¹⁰⁾ Musset, a) Untersuchung über die Einwirkung der Form der Molen auf Küstenströmung und Sandwanderung vor den Hafeneinfahrten. Z. f. Bauwes. 1920; b) Weitere Untersuchungen über die Entwicklung der Form der Molen auf Küstenströmung und Sandwanderung. Z. f. Bauwes. 1922.

^{*)} Die fehlenden Abb. 1 u. 2 mußten besonderer Umstände halber kurz vor Drucklegung des Aufsatzes ausgeschlossen werden.

⁷⁾ Tiedemann, Über das Wandern des Sandes im Küstensaum des Samlandes. Z. f. Bauwes. 1930, Heft 8.

⁸⁾ Leppik, Verteidigung der Küsten gegen das Meer an Küsten mit und ohne vorwiegende Sinkstoffführung. 2. Abtlg., 2. Frage, XV. Int. Schiffahrtkongreß, Venedig 1931.

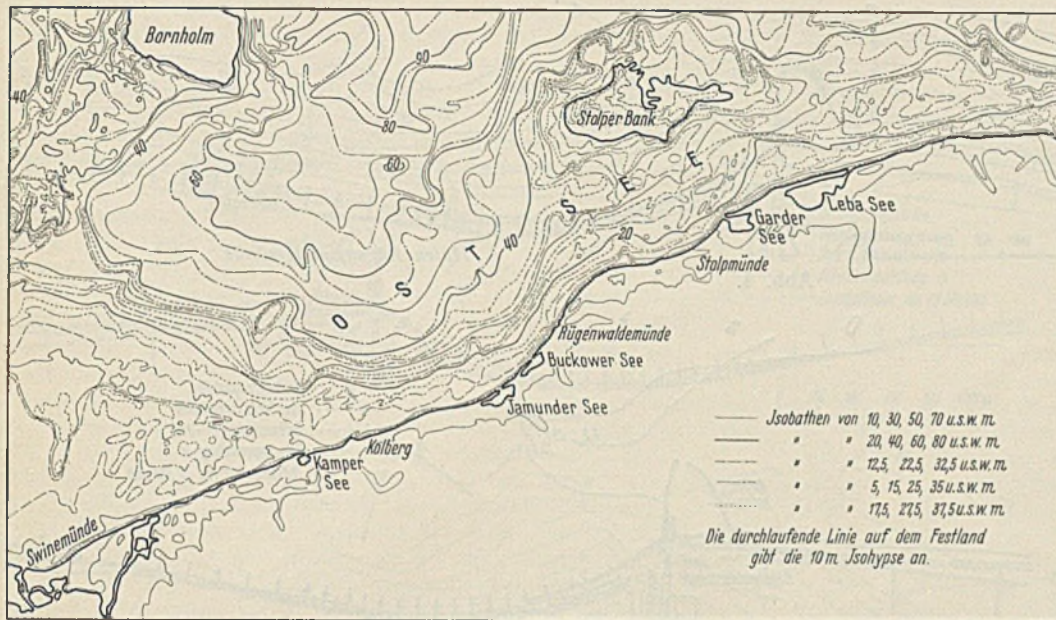


Abb. 3. Tiefenkarte der Schorre vor der hinterpommerschen Küste. Maßstab rd. 1 : 645 000.
Entworfen nach den deutschen Admiralitätskarten von Dr. Wilhelm Hartnack.

zeichnet worden. Dieser Abstand hält sich fast gleichmäßig, mit Ausnahme anscheinend der Mündungsgebiete der Flüsse, vor denen sich eine Verflachung und somit die seeseitige Abwanderung der Linien bemerkbar macht. Die Entfernungen betragen an den Mündungen der Swine 7,5 km, der Dievenow 6 km, der Rega 5 km, der Persante, der Stolpe und der Leba etwa 1 km. Hartnack glaubt, daß die Abnahme des Zwischenraumes zwischen 10-m- und Strandlinie in östlicher Richtung anscheinend mit einer starken Zunahme des Küstenstromes in dieser Richtung zusammenhängt.

Der Meeresboden jenseits der 10-m-Tiefenlinie zeigt eine starke Gliederung durch Becken und Erhebungen, deren Begrenzung etwa durch die 40-m-Tiefenlinie besonders auffällt. Etwa in der Mitte zwischen Persantemündung und Jamunder See kommt diese der Küste am nächsten, um dann in nordwestlicher bzw. nordöstlicher Richtung sich zu entfernen. Südwestlich von der Linie liegt die verhältnismäßig flache Swinemünder Bucht, die über den Adlergrund und der Rönnebank sich nach Bornholm hinzieht. Östlich bildet die Stolper Bank die Grenze.

Aus dem sehr gleichmäßigen, sichtbaren Küstenverlauf Pommerns kann daher nicht auf dasselbe Linienbild für die großen Tiefen in dem vorgelagerten Ostseegebiet geschlossen werden.

Welche Wirkung eine Richtungsänderung der Küste auf den Strömungsverlauf hat, zeigt sich an der Ostsee bei dem Umbiegen aus west-östlicher in die süd-nördliche Richtung. Der von Westen laufende Strom biegt hier nach Norden. Auf ihn wird jedoch nicht die volle Windstärke aus der Hauptwindrichtung, sondern lediglich deren Seitenkomponente wirken.

Die hinterpommersche Küste liegt im Gebiete der sogenannten Kösliner Bucht — etwa von Kolberg bis zum Umbiegen der Küstenlinie in die West-Ost-Richtung bei Jershöft — in stärkerem Abbruch als die anschließenden Strecken. Betrachtet man daraufhin die Tiefenkarte (Abb. 3), so laufen gerade vor diesem Küstentelle die „großen“ Tiefen am nächsten an die Küste heran. Die sich etwa hieraus ergebenden Wirkungen auf den Küstenstreifen sind bei normaler Wasserbewegung durch Untersuchungen noch nicht bewiesen worden. Der bei Sturmflut jedoch ständig auf die Küstenstrecke der Kösliner Bucht erfolgende starke Angriff scheint im Verlauf der besonders markant hervortretenden 40-m-Isobathe seine Begründung zu finden. Große Wassermassen werden bei stürmischen Winden aus dem Westsektor durch die von Westnordwest nach Ost-südost laufende Tiefenlinie auf die genannte Küstenstrecke geleitet. Es entsteht ein Aufstau, der mit der Winddauer wächst, dessen Energie sich auswirkt

- a) im Angriff auf die Küste,
- b) in einem seitlichen Abstrom und
- c) in einem seewärts setzenden Sog.

Nicht nur die Bodengestalt eines schmalen Meeresstreifens unmittelbar vor der Küste beeinflusst deren Gestaltung, sondern es muß zur Beurteilung der Entstehung von Abbruch, Gleichgewicht oder Anlandung ein weiterer Seeraum herangezogen werden. Dieser Raum weit außerhalb der 1000-m-Küstenzone wird durch Bodenproben und Strombeobachtungen im Gebiete der Hauptströme zu untersuchen sein. (Brückmann gibt die landseltige Grenze dieses Gebietes der Hauptströmungen mit einer Entfernung von 1 bis 1,5 km an.)

Die geologische Weiterentwicklung der Ostsee unterliegt verschiedenen grundsätzlichen Betrachtungsweisen. Braun sieht in dem Ostseegebiet Wellenberge und -täler, die in der Eiszeit sich bildeten und

heute nach dem Verschwinden des Eises „den letzten Ausklang der Großfaltung“ darstellen. Das durch die Eismassen zusammengedrückte Nordeuropa wechselt jetzt ab mit Hebungen und Senkungen der verschiedenen Gebiete. Auf die Ostseeküsten übertragen, ergeben sich Strandverschiebungen, die in Schweden positiv sind und an der deutschen Ostseeküste als negativ angenommen werden. Um einen Begriff der Größe der Höhenbewegung zu geben, wird eine Durchschnittszahl der Landhebung in Schweden und Finnland am Bottnischen Meerbusen mit fast 1 cm jährlich genannt. An der Südküste Schwedens ist die Höhendifferenz geringer. Die beobachtete Auswirkung der Landhebung in diesem Küstenteil ist der wesentlich geringere Einfluß des Meeres auf eine Umbildung der schwedischen Küste im Gegensatz zur deutschen Ostseeküste.

Ein Teil der schwedischen Nordhäfen hat infolge der hier stärkeren Landhebung mit nicht unerheblichen Schwierigkeiten zu kämpfen. Die Erhaltung der Hafenbeckentiefe durch Baggerungen bleibt infolge des schnellen Anstiegens der Hafensohle ohne Erfolg. Man kann sich nur dadurch helfen,

daß nach einigen Jahrzehnten die gesamten Hafenanlagen verlegt werden.

Ob sich in dieser Zeitperiode die hinterpommersche Küste senkt oder hebt, darüber gehen die Meinungen der Geologen noch auseinander. Die von einer Seite geführte Behauptung, daß aus den ständigen starken Strandverlusten auf eine Senkung geschlossen werden könne, ist widerlegt worden. Umfangreiche Einzelbeobachtungen durch Geologen scheinen noch nötig zu sein, um zu einem abschließenden Urteil zu kommen. Klare Ergebnisse auf diesem Gebiete auf Grund zwingender Beweise sind für die Behandlung der Häfen jedoch nicht unwichtig, da senkrechte Bewegungen des Strandes, wenn sie größeren Umfang annehmen, die Strömungs- und Sinkstoffbewegungen beeinflussen.

Hagen¹¹⁾ kam auf Grund von Pegelbeobachtungen seinerzeit zu dem Ergebnis, daß in keiner Richtung eine senkrechte Bewegung des Ostseeeinormalwasserspiegels stattgefunden habe. Auch neuere Untersuchungen, die sich auf Wasserstandsbeobachtungen gründen, geben im allgemeinen eine unveränderte Lage des Mittelwasserspiegels.

III. Vergleich von Häfen gegensätzlicher Bauart.

Aus einem Vergleich von Häfen an sinkstoffführenden Küsten mit gegensätzlicher Bauart wird man am erfolgreichsten etwas über die Bewahrung der Wirkungsweise ihrer Hafenaußenwerke feststellen können. Die Wirkungsweise ist in besonderem Maße durch die Linienführung der Molen, deren Wahl von der Hauptwindrichtung, den wirkenden Strömungen und der Sinkstoffbewegung abhängig ist, sowie durch eine ausreichende Baulänge und einen für den einzelnen Fall besonders geeigneten Bauquerschnitt bedingt. Als Vergleichshäfen werden die an der ostpommerschen Küste gelegenen Häfen Kolberg und Rügenwaldermünde herangezogen. Beide sind in der Literatur bereits mehrfach behandelt worden. Ich sehe daher von einer eingehenden Beschreibung ab und beschränke mich nur darauf, für die weitere Beurteilung wesentliche Merkmale anzuführen.

a) Rügenwaldermünde.

Rügenwaldermünde (Abb. 4) stellt einen Beckenhafen dar, dessen Kriterium die beckenförmige Erweiterung der Molen unmittelbar hinter der Einfahrt ist. Theoretisch wird als größter Vorteil dieser Anordnung die stark nach außen gekrümmte luvseitige Mole geltend gemacht. Der sandige „Küstenstrom“ werde durch die sich ihm anschmiegende Molenführung ohne jede Hemmung am Hafen vorbeigeleitet. Auch beim Zusammentreffen mit dem Hafenausstrom werde eine Geschwindigkeitsverringerung nicht eintreten, so daß aus den mitgeführten Sänden kaum Ablagerungen entstehen könnten. Durch die Beckenanordnung werde die größte Gewähr für ein sicheres Einlaufen der Schiffe gegeben. Diese seien nicht an einen bestimmten Kurs gebunden, da sie unmittelbar hinter der Einfahrt in ein ruhiges, weites Wasserbecken gelangten. Inwieweit diese Annahmen für Rügenwaldermünde zutreffen, soll nachfolgend untersucht werden.

Eine der ersten Forderungen an einen Hafen ist die Einfahrtmöglichkeit bei jedem Wetter. Dieser Bedingung genügt keiner der ostpommerschen Häfen. Schon bei etwas bewegter See ist das Einlaufen sehr schwierig und bald unmöglich. Die Fahrzeuge müssen oft draußen auf der Reede ruhigeres Wetter abwarten.

¹¹⁾ Hagen, Die preußische Ostseeküste in betreff der Frage, ob dieselbe eine Hebung oder Senkung bemerken läßt. Abh. K. Preuß. Akad. d. Wiss., Berlin 1865.

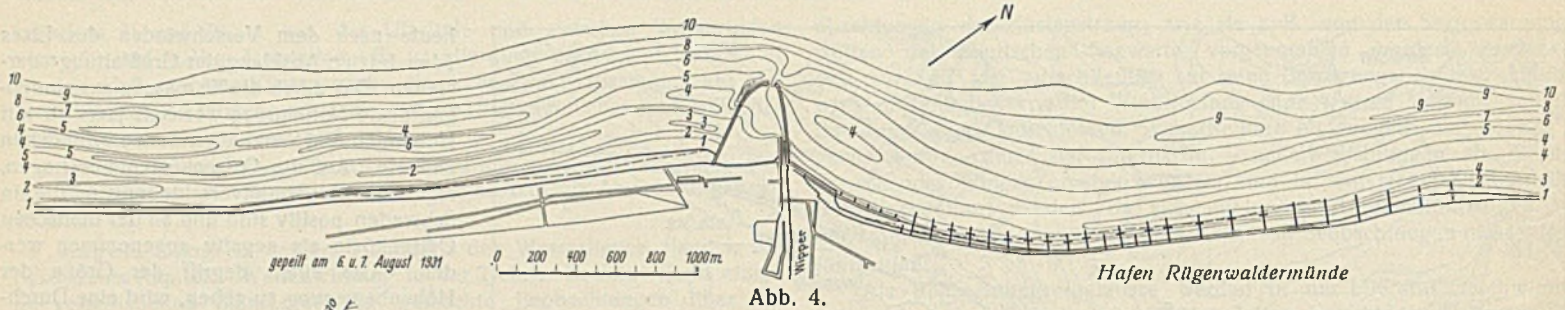


Abb. 4.

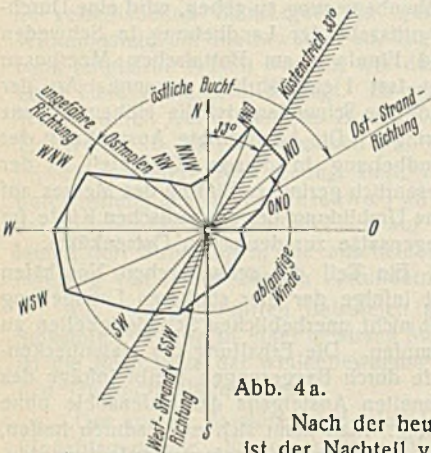


Abb. 4a.

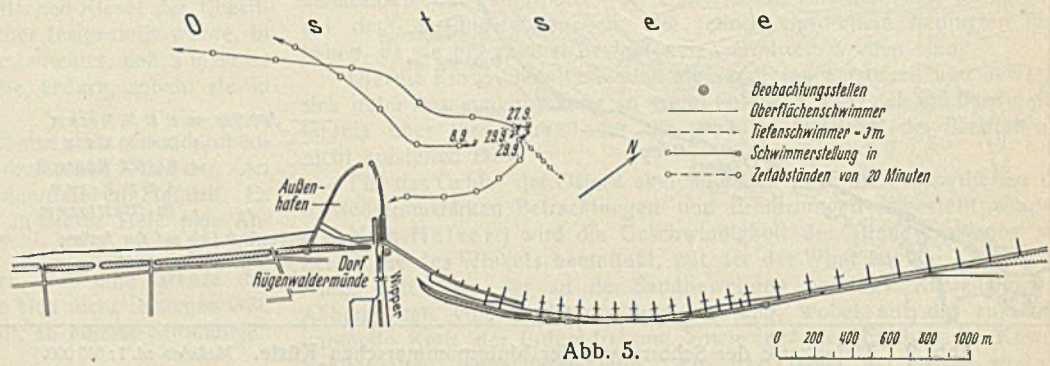


Abb. 5.

Nach der heutigen Ansicht von Schiffsführern ist der Nachteil von Rügenwaldermünde der enge Hafeneingang (40 m) mit der quer an ihm vorbeilaufenden Strömung. Durch eine fast ständig sich an der Innenseite des Westkopfes haltende Untiefe wird die Einfahrtbreite noch weiter geschmälert. Um die Einfahrt zu treffen, muß die Verbindungslinie der beiden Molenköpfe senkrecht angesteuert werden. Da die Einfahrt schmal ist, ist der Spielraum zu gering, den man braucht, um der am Achterende des Fahrzeugs die Fahrtrichtung beeinflussenden Luvströmung Rechnung tragen zu können. Diese Strömung wird noch durch die Form der luvseitigen Mole verstärkt. Sie leitet unter einem Winkel von etwa 90° einen Strom auf die Hafeneingangsachse. Dieser Nachteil kann durch das unmittelbar hinter der Einfahrt liegende Becken nicht behoben werden. Der obengenannte Vorzug des Beckens hat anscheinend für die dort in früheren Zeiten verkehrenden, verhältnismäßig kleinen Segelschiffe eine größere Bedeutung gehabt. Diese stellen heute jedoch nur noch einen ganz geringen Prozentsatz der Fahrzeuge dar und sind fast ohne Ausnahme mit einem Hilfsmotor (Fischkutler) ausgerüstet.

Erfüllt die im vorliegenden Falle gewählte Molenföhrung die Erwartungen bezüglich einer Einschränkung der Sandablagerungen?

Die Untersuchung der Wirkung der Hafenaußenwerke von Rügenwaldermünde auf Grund der in jüngster Zeit gemachten Beobachtungen setzt eine genaue Kenntnis der Bedingungen des Hafens voraus. Bekannt ist, daß die Sinkstoffmassen infolge der Hauptwindrichtung Westen sich vornehmlich von Westen nach Osten bewegen. Von Bedeutung ist der Verlauf der Küstenlinie zu den Hauptbewegungskräften. Der Küstenstrich des Hafens Rügenwaldermünde — etwa vom Jamunder See bis nach Jersthöft — verläuft ungefähr von Südsüdwest nach Nordnordost. Aus dem Winddiagramm auf Abb. 4a mit der eingezeichneten Küstenrichtung sind die Beziehungen klar zu ersehen. Die Hauptwindrichtung steht fast winkelrecht zur Küste. Die senkrecht zum Strande einschwenkenden Wellen müssen daher hier längere Zeit des Jahres stärker „branden“ als an Küstenstrichen, die nur einen kleinen Winkel mit der Hauptwindrichtung bilden. Der entgegengesetzte Fall liegt z. B. für Kolberg vor, wo die Westrichtung fast gleich mit der Strandrichtung verläuft. Wenn bei Westwind der „Brandungsgürtel“ vor Kolberg noch ruhiges, normal bewegtes Wasser zeigt, ist vor Rügenwaldermünde bereits Seegang.

Infolge der an der Rügenwaldermünder Küstenstrecke in einem großen Zeitraum herrschenden auflandigen Winde dürften die in diesen Küstenraum hineingelagerten Sinkstoffe kaum zur Ruhe und Ablagerung kommen können. Ein Sog von allerdings wechselnder Stärke müßte sie wieder seewärts saugen und weiter draußen an den Küstenstrom abgeben, d. h. der Strand des fraglichen Küstenteils müßte infolge der im allgemeinen an ihm häufiger stark brandenden Wellen steiler als an anderen Küstenstrecken sein. Eine Küstenversetzung auf dem trockenen Strande und im Brandungsgürtel wird infolge der vornehmlich senkrechten Windbewegung anscheinend nur zu einem kleinen Teil in Frage kommen können. Die zur Küste parallele Strömung wird zum mindesten in der Oberfläche ihre Geschwindigkeit verringern, da bei der Lage der Hauptwindkraft zur Küstenrichtung die Komponente zur Küstenlinie sehr klein ist. Inwieweit auch der Bodenstrom in diesem Sinne beeinflußt wird, bleibt noch zu erörtern. — Tatsächlich ergibt ein Vergleich von Pellplänen, daß beispielsweise die 5-m-Tiefenlinie im Westen vom Hafen Rügenwaldermünde in den Jahren um 1870 — vor der Erbauung der Molen — etwa 200 m weiter landwärts lag als heute. Die in den vor-

gewanderten Tiefenlinien sich zeigende Anlandung muß daher durch die Molen — ihre Länge und Grundrißform — bedingt sein. Die Hafeneingangsachse hemmen in einer gewissen Breite des Küstengürtels die Sinkstoffbewegung so, daß sich eine Stauwirkung in der Herkunftsrichtung bemerkbar macht, deren Folge Sandablagerungen sind. Anders liegen die Verhältnisse östlich der Hafeneinfahrt. Hier ist der Strand vom Jahre 1872 bis zum Jahre 1922 um 50 bis 100 m zurückgegangen, seit einem vorläufigen Abschluß von Schutzbauten — das ist seit 1910 — im Osten dieses Uferschutzes um 56 m. Um diesen starken Küstenrückgang aufzuhalten, ist diese Schutzanlage durch Verbreiterung in den letzten Jahren verstärkt und nach Osten verlängert worden. Sie ist in ihren Einzelheiten auf Abb. 4 näher dargestellt.

Die Wanderung des im Küstenstrom von Westen nach Osten setzenden Sandes gilt vor der Rügenwaldermünder Küstenstrecke als eine sehr langsame. Dieser langsame Küstenstrom trifft auf die Außenwerke, von denen man erwartet, daß sie die mit der Strandverfrachtung und Küstenströmung antreibenden Sände so ableiten, daß etwaige Ablagerungen einen möglichst geringen Umfang annehmen und keinesfalls im Fahrwasser stattfinden.

Die Ab- und Umlagerung der Sände infolge von Strömungen und Wellen aus den verschiedenen Richtungen ist in einem Zeitraum von zehn Jahren durch ein- oder mehrmalige monatliche Peilungen beobachtet worden. Diese Veränderungen nach Abstillung eines schweren Wetters zu kennen, ist bisher nur in schiffahrtstechnischer Hinsicht zur genauen Kenntnis der Einfahrttiefe als wichtig angesehen worden.

Zur Bewertung der Peilergebnisse sind die Winde nach Stärke und Richtung an den vorangehenden Tagen ermittelt worden, wenn sie das von der Natur geschaffene Bild veränderten. Da die Windrichtungen auch im Laufe eines Tages mehrfach wechselten, ist die vorherrschende Richtung bzw. größte Windstärke berücksichtigt worden.

Der Einfluß des Schiffsverkehrs, des Schiffskörpers und der Sinkstoffbewegung auf die Sände ist nicht untersucht worden, da ohne weiteres angenommen werden kann, daß er im Gegensatz zu der Größe der anderen maßgebenden Kräfte als verschwindend klein anzusehen ist.

Die starke Verflachung vor Rügenwaldermünde wird von Westen her an den Hafen herangetragen. Es ist bereits erwähnt worden, daß nach dem Molenbau eine Verflachung der Westbucht des Hafens einsetzte, die jetzt im Gleichgewicht ist. Lediglich der seewärtige Ausläufer der Barre schiebt sich an dem Kopf der Westmole entlang zur Hafeneinfahrt hin vor und ändert ständig seine Lage.

Zur Klärung der Strömungsverhältnisse wurden Schwimmer von Beobachtungsstellen mit einfachsten Instrumenten angepeilt und auf Feldtischen ihre Lage bestimmt. Beobachtungsjahr 1930, Abb. 5. Der O-Schwimmer vom 29. September läuft zunächst senkrecht zu der herrschenden nördlichen Windrichtung, um dann in die Windrichtung einzubiegen. An der Ostmole wird er aufgenommen. Der zu gleicher Zeit an derselben Stelle ausgesetzte T-Schwimmer behält die zum herrschenden Wind senkrechte Richtung bei. Der um etwa 90° von der Oberflächenstromrichtung abweichende Tiefenstrom wird in seiner Geschwindigkeit durch Reibung gehemmt und kommt infolgedessen langsamer vorwärts. Die Linksabweichung des Stromes von der Windrichtung läßt sich aus der einen Messung nicht erklären. Abgesehen von der Erdrotation sind weitere Einflüsse möglich, die sich nur an Hand eines umfangreichen Beobachtungsmaterials erklären lassen werden. Die am 8. September und 27. September bei Nordost ausgesetzten Schwimmer erfahren eine geringe Ablenkung durch den auslaufenden Wipperstrom.

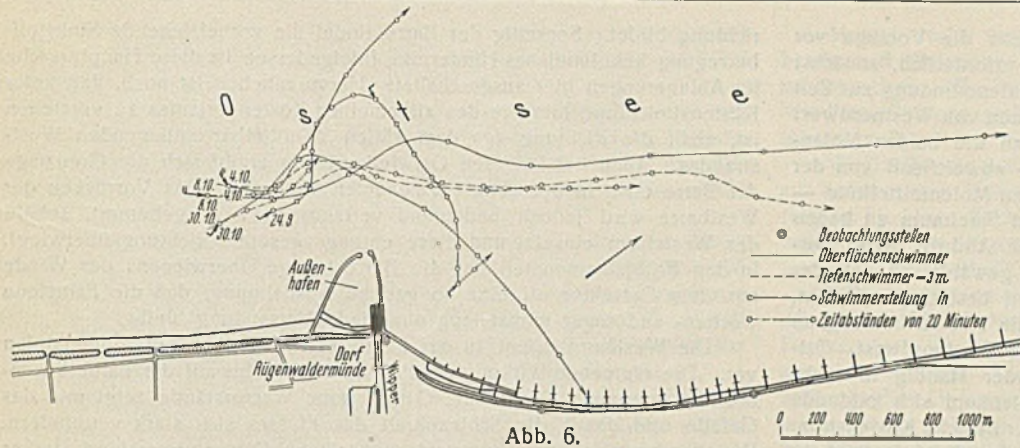


Abb. 6.

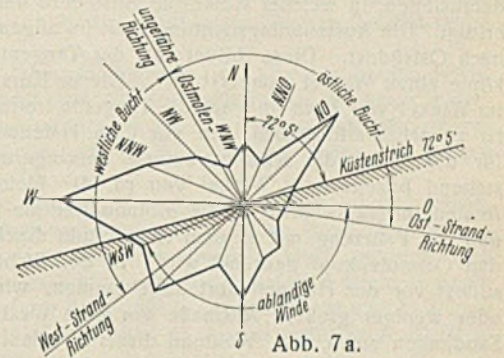
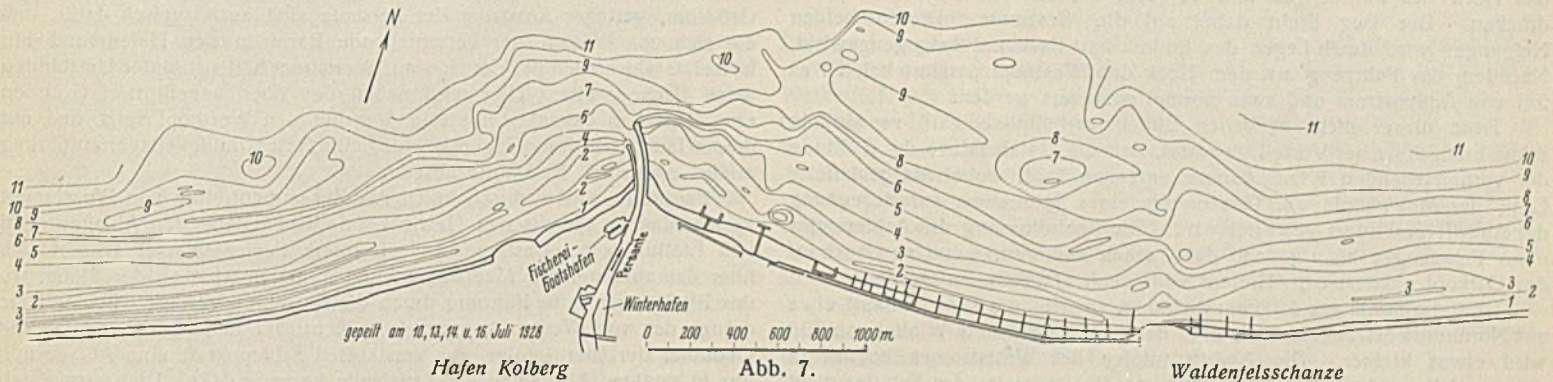


Abb. 7a.



Hafen Kolberg

Abb. 7.

Waldenfelsschanze

Abb. 6, der O-Schwimmer vom 24. September läuft unter Einfluß des wechselnden Windes und erfährt eine zusätzliche Beeinflussung durch den auslaufenden Hafenstrom. Der O-Schwimmer vom 4. Oktober wird gegenüber der herrschenden Windrichtung etwas links abgelenkt, um nach kurzer Zeit in die Einflußzone des auskommenden Wipperwassers zu geraten. Der Einfluß der Windkraft überwiegt jedoch nach kurzer Zeit, so daß für die Laufrichtung die Resultierende aus Windkraft und Wipper maßgebend wird. Außerhalb des Wippereinflusses läuft der Schwimmer wieder in der Windrichtung und landet in einem Bühnenfeld auf der Hafenseite.

Der T-Schwimmer vom 4. Oktober läuft eine kurze Strecke parallel zum O-Schwimmer. Seine Einflußzone liegt bereits unter dem Hafenstrom, so daß die Abweichung infolge der Wipper geringer als beim O-Schwimmer ist. Er läuft unabhängig von der Windrichtung in der unter dem Oberflächenstrom laufenden Ostströmung in 1 km Entfernung parallel zur Küste. Dieser Strom erreicht also den Oststrand überhaupt nicht, ist daher auch nicht in der Lage, ihm Sinkstoffe zuzuführen.

Eine wesentliche Beobachtung bei den T-Schwimmern vom 4. Oktober ist ihre Linksablenkung von der herrschenden Windrichtung Westen. Der Tiefenstrom ist der Windbeeinflussung fast vollkommen entzogen und folgt der Küstenrichtung. Er zeigt damit seine Abhängigkeit von dem Verlauf der Tiefenlinien. — Oberflächen- und Tiefenschwimmer vom 24. September, 8. Oktober und 30. Oktober bieten keine Besonderheiten.

Die beachtlichste Erscheinung des Hafens Rügenwaldermünde ist der starke Landverlust auf seiner Ostseite. Es bleibt die Frage zu klären, welche Ursachen die starken Uferabbrüche hervorgerufen haben bzw. woran es liegt, daß sich auch nach Fertigstellung einer umfangreichen Uferschutzanlage so gut wie kein ausreichender Strand bildet. Vor dem Molenbau war die zur Zeit vollkommen verschwundene Düne noch vorhanden.

Die Schuld für diesen Zustand wird einmal der gekrümmten Form der Westmole zugeschrieben, das andere Mal der Richtung der Küste zu den vorherrschenden Winden. Für den Abbruch auf der Hafenseite die Küstenrichtung allein verantwortlich zu machen, erscheint nicht angängig, da dann alle Küstenstrecken mit der zu ihnen senkrecht stehenden Hauptwindrichtung das Maß des jährlichen durchschnittlichen Abbruchs der Gesamtküste wesentlich überschreiten müßten. Da dies nicht der Fall ist, kann ein Einfluß der Molenanlage ohne weiteres bejaht werden.

Für die besonders großen Ausmaße des Abbruchs östlich dieses Hafens wird die Küstenrichtung mit verantwortlich zu machen sein. Fast senkrecht trifft der schwere Seegang der vorherrschenden West- bis Nordwestwinde auf den Strand. Daß danach der Küstensaum steiler abfallen muß, ist bereits oben ausgeführt worden. Auf Abb. 4 liegt die 8-m-Tiefenlinie um 100 m näher der Uferlinie als auf der Westseite. — Der Unterschied zu anderen Küstenstrecken liegt jedoch hier darin, daß dort den auflandigen Stürmen, die eine Strandverschmälerung hervorrufen, Winde folgen, deren Richtung von der senkrechten zur Küste abweichen. Diese können den verlorengegangenen Sand teilweise wieder ersetzen. Die selbsttätige Ergänzung des fortgerissenen Sandes östlich von Rügen-

waldermünde ist jedoch vollkommen unzureichend. Die Strandvertriftung im Brandungsgürtel und auf dem Strande selbst ist durch die Molenanlage abgeschnitten. Wir haben bei dem Verlauf des T-Schwimmers vom 4. Oktober 1930 (s. Abb. 6) den Beweis, daß trotz auflandiger Winde der Tiefenstrom parallel zur Küste läuft. Lediglich das Oberflächenwasser erreicht den Strand. Zu berücksichtigen bleibt hier jedoch, daß der den T-Schwimmer vom 4. Oktober 1930 beeinflussende Wind von normaler Stärke war. Der Strand selbst kann bei den senkrecht zu ihm liegenden Bühnen von dem wenigen, ihm zugeführten Sand keinen herausfangen. Dem Oststrand wird weniger an Sand zugeführt, als ihm der Rücklauf der Brandungswellen im Osten jeweilig entreißt. Der in der Richtung der auflaufenden Wellen zurücklaufende Strom nimmt die Sandkörner wieder mit hinaus. — „Während also bei der flachen Neigung des Strandes der Sand aus der Tiefe nach oben gebracht wurde, ist bei der steilen Böschung teilweise die umgekehrte Wirkung zu ersehen¹²⁾.“ Die Küstenstrecke wird hier durch die Molenanlage vor einem unmittelbaren Angriff durch stürmische Winde im Osten nicht geschützt, im Gegensatz zu Kolberg und Stolpmünde, wo der Wellenschatten etwa 0,5 km lang ist. Die Brandungswellen treffen deshalb unmittelbar neben der Wurzel der Ostmole auf das Ufer und greifen ungeschwächt den Strand an. Es beginnt hier die durch die Hafenanlage unterbrochene Strandvertriftung von neuem, nur mit dem Unterschied, daß hier nur Strandabbruch und so gut wie keine Anlandung stattfindet. Erst viel weiter östlich tritt ein Gleichgewichtszustand ein. Daß der Oststrand steller sein muß, ergibt sich aus dem oben Gesagten als folgerichtig.

b) Kolberg.

Kolberg (Abb. 7) unterscheidet sich grundsätzlich von Rügenwaldermünde durch den parallelen Verlauf seiner Molen fast bis zum Hafeneingang sowie die Krümmung beider Molen der Hauptwindrichtung und der sinkstoffführenden Küstenströmung nahezu entgegen. Beide Eigenschaften werden nach den bisherigen Grundsätzen nicht als vorteilhaft bezeichnet. Geltend macht man gegen diese Linienführung

1. daß das Einfahren sehr ungünstig sei, da für ein durch Seitenströme behindertes Einlaufen der nötige Raum unmittelbar hinter den Molenköpfen zum Beidrehen fehle;

2. daß die der Hauptwindrichtung entgegen geneigte Lage der Molen für die aus dieser Richtung kommenden Wandersande zu besonders starker Ablagerung führen müsse, da diese Anordnung der parallelen Hafendämme den Persantestrom senkrecht auf den vorbeilaufenden Küstenstrom treffen lasse, was eine Sinkstoffablagerung vor der Hafeneinfahrt zur Folge haben müsse.

Zu 1. Diese theoretische Behauptung findet praktisch keine Bestätigung. Die Schiffsführer ziehen das Einlaufen nach Kolberg dem nach Rügenwaldermünde vor, obgleich die Ansteuerung und das Einlaufen in den Kolberger Hafen keineswegs einfach zu nennen sind. Um die

¹²⁾ KREBNER, Modellversuche über die Wirkungen der Strömungen und Brandungswellen auf einen sandigen Meeresstrand und die zweckmäßige Anlage von Strandbühnen. Bautechn. 1928, Heft 25, S. 374.

Schwierigkeiten auf der einen Seite und andererseits die Vorzüge vor anderen Häfen besser werten zu können, ist es erforderlich, zunächst darzustellen, in welcher Weise das Ansteuern der Hafeneinfahrt zur Zeit erfolgt. Die Ansteuerungsrichtung läuft im allgemeinen von Westnordwest nach Ost-südost. Diese bildet mit der Tangente an die beiden Molenköpfe einen Winkel von fast 90° . Dieser Kurs — abweichend von der im Winkel von etwa 40° auf die Tangente treffenden Molenmittellinie — ist zunächst erforderlich, um vor dem Hafeneinfahrt Spielraum zu haben für die durch die Küstenströmung hervorgerufene Abdrift. Wird vorstehend bezeichneter Winkel von rd. 90° kleiner gewählt, so daß der Ansteuerungskurs etwa in die Molenmittellinie fällt, besteht die Gefahr, daß das Fahrzeug mit seinem Achterende durch die Küstenströmung an den Ostmolenkopf gedrückt wird. In der Richtung Westnordwest—Ost-südost vor der Hafeneinfahrt angekommen, wird der ständig in mehr oder weniger großem Ausmaße vor dem Westmolenkopf sich bildende Sandhaken umsteuert. Während dieser Zeit faßt der östliche Küstenstrom das Heck des Fahrzeuges und versucht es, an den Ostmolenkopf zu drücken. Der Bug dreht dabei auf die Westmole. Diesen beiden Neigungen wird durch Legen des Ruders hart Backbord entgegengewirkt. Nachdem das Fahrzeug mit dem Heck den Westkopf passiert hat, ist es frei von Außenstrom und kann normal gesteuert werden.

Trotz dieser nicht einfachen Einfahrtverhältnisse wird es als ein schiffahrtstechnischer Vorteil gewertet, daß die Einfahrtachse der Richtung der vorherrschenden Winde nahezu entgegen liegt, wobei die gestaffelte Lage der Molenköpfe zur Gewinnung eines Spielraums zur Begegnung der Abdrift besonders gewertet wird. Die Beeinflussung des Achterendes eines Fahrzeuges kann jedoch dann schon aufhören, wenn an Backbord der Ostkopf passiert ist. Hierauf wird noch eingegangen werden.

Läuft der Strom aus östlicher Richtung, so wird die Hafeneinfahrt etwa aus Nordnordwest angesteuert, d. h. der oben bezeichnete Winkel von 90° wird etwas kleiner. Die Abdrift infolge des Weststromes kommt in diesem Falle nicht voll zur Wirkung, da die Breitseite des Schiffes nicht senkrecht, sondern unter einem stumpfen Winkel getroffen wird. Es wird auch beobachtet, daß der Weststrom unmittelbar vor der Mündung nur sehr selten die Stärke des Oststromes erreicht. Die ablenkende Kraft des auslaufenden Hafenstromes wird ihn schwächen. Eine weitere Erklärung wird ein vor dem Hafeneingang von Westen nach Osten setzender Unterstrom sein, der sich von dem Weststrom mehrere hundert Meter westlich des Hafens als Nehrstrom abzweigt und, von der Westmole geführt, entgegengesetzt der Hauptströmung an der Mündung vorbeiläuft.

Wenn ein starker Secgang unmittelbar in die Einfahrt läuft, wird in dem engen Wasserschlauch zwischen den beiden Molen die Steuerfähigkeit herabgedrückt. Nur ein geringes Abweichen des Schiffes aus der Strommitte hat infolge eines wirkenden Soges leicht eine Beschädigung der die Molen begrenzenden hölzernen Leitwerke zur Folge. Eine günstige Wirkung zur Verstärkung des Verdrängungswiderstandes bildet die Dammform der Molen, die auch zur Dämpfung der bei auflandigen Winden in den Hafen laufenden Dünung besonders wirksam ist.

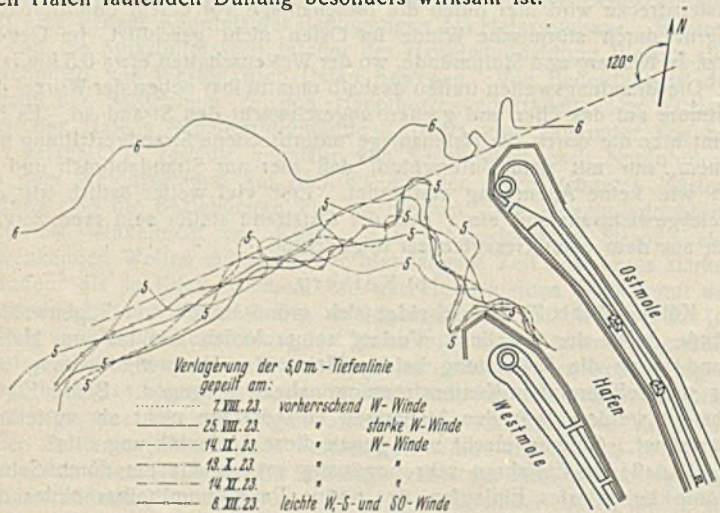


Abb. 8.

Zu 2. Die bereits bei der Untersuchung des Hafens Rügenwaldermünde angeführten systematischen monatlichen Peilungen liegen für Kolberg für dieselbe Zeitspanne vor.

Um eine Begründung für die Lage der seeseitigen Begrenzungslinien der Ablagerung zu finden, sind auf Abb. 8 mehrere 5-m-Tiefenlinien aufgetragen worden, wobei die 5-m-Linie als äußerste Begrenzung der Barre angenommen wird. Die Linien sind nach Westwinden aufgenommen worden, nach denen die Barre nachweislich am stärksten ausgebildet ist. Zieht man eine den Ostmolenkopf tangierende Linie, die gleichzeitig etwa ein Mittel aus den 5-m-Tiefenlinien bildet, so schließt diese Tangente mit der Nordrichtung einen Winkel von etwa 120° ein. Dies ist etwa derselbe Winkel, den die Küstenstreichlinie über Westen mit der Nord-

richtung bildet. Seeseitig der Barre findet die vorbeiziehende Sinkstoffbewegung kein bauliches Hindernis. Infolgedessen ist diese Hauptursache für Ablagerungen hier ausgeschaltet. Hervorzuheben ist noch, daß unter Küstenstreichlinie hier die des allgemeinen Küstenverlaufes zu verstehen ist, nicht die Richtung des dem Hafen unmittelbar anliegenden Weststrandes. Auch bei längeren Ostwindperioden ergibt sich die Grenzlage der Barre etwa in der oben bezeichneten Tangente. Das Vorrücken der Westbarre wird jedoch bedeutend verlangsamt bzw. gehemmt, sobald der Weststrom einsetzt und diese entgegengesetzte Richtung überwiegt. In den Frühjahrsmonaten hat die Barre infolge Überwiegens der Winde aus dem Ostsektor oft eine so geringe Ausdehnung, daß die Fahrinne wochen- und sogar monatelang ohne jede Versandung bleibt.

Die Westbarre dringt in das Fahrwasser zwischen den Molenköpfen vor. Die räumende Wirkung des Flusses wird oft bis auf die halbe Strombreite ausgeschaltet, wenn die Ostsee hohe Wasserstände zeigt und das Gefälle und damit die Schleppkraft des Flusses sich stark vermindern. Die oben beschriebenen Voraussetzungen: hoher Ostseewasserstand, starker Oststrom, geringer Ausstrom der Persante sind auch typisch dafür, daß die sich von Westen her verschleibende Barre in den Hafeneinfahrt hin fortsetzt. Doch auch bei Ostwind mit Weststrom hält sich unter Umständen diese flache Stelle. Hier wird neben den oben angeführten Gründen ein Nehrstrom Veranlassung sein, der um den Westkopf setzt und auf dessen Innenseite durch Gegenströmung eine Geschwindigkeitsverminderung erfährt und somit Sinkstoffe absetzt.

Fernerhin wird wahrscheinlich das Zusammentreffen von Wasser mit verschiedenem spezifischen Gewicht auf die entstehenden Ablagerungen von Einfluß sein. Das spezifisch leichtere Persantwasser schiebt sich über das ankommende Meerwasser, und zwar zunächst an der Stelle, wo das Flußwasser seine Führung durch die Westmole verliert. In der Tiefe drängt der von Westen kommende Außenstrom den Hafenstrom an die Ostmole, der hier infolge der verstärkten Schleppkraft eine Ablagerung nur in wenigen Ausnahmefällen zustande kommen läßt. Dies wird durch vorliegende Peilungen bestätigt.

Man macht die Beobachtung, daß, eingeschlossen vom Westmolenkopf, Westbarrenkopf und Ostmolenkopf, sich vor dem Hafen Kolke bilden. Diese werden durch eine Wirbelbildung infolge des Zusammentreffens von Grundströmen aus Küstenstrom und Hafenstrom entstehen und durch die oben bezeichneten Widerstände der Bauwerke verstärkt werden. Auch hier kann man zunächst nur die Erscheinungen feststellen, ohne die Ursachen infolge einer bisher gänzlich ungenügenden Erfassung der Einzelwirkungen zu klären: zwei Hauptströme aus verschiedenen Richtungen mit ihren Schichten aus Ober-, Tiefen- und Grundströmen begegnen sich, Ströme von wechselnder Stärke und ungleicher Dichte des Wassers. Hinzu kommen aufgelöste Nebenströme als Nehr- oder Kompensationsströme.

c) Rügenwaldermünde oder Kolberg.

Nach der Einzeluntersuchung der Häfen Rügenwaldermünde und Kolberg werden die Ergebnisse miteinander verglichen, beginnend mit der Darstellung der Entwicklung der die Häfen begrenzenden Strandstrecken sowie der ihnen zugehörigen Seegebiete. Die von Musset¹³⁾ hierüber angestellten Ermittlungen werden mit den entsprechenden Ergänzungen verwendet. Aus Peilplänen für die Zeit vom Beginn der Molenbauten und dem Stichjahr 1917 ist der Raum ermittelt worden, den die Strandlinie und die — 5-m-Tiefenlinie unter Einfluß der Hafenaußenwerke in dieser Spanne durchlaufen haben. Aus diesen Untersuchungen entwickelt Musset folgende Schlüsse:

a) Verhalten der — 5-m-Tiefenlinie im Osten der Häfen. Im Osten von Rügenwaldermünde ist schon während und sofort nach Erbauung der Molen des Vorhafens in den Jahren 1873 bis 1875 ein starkes Zurückweichen der — 5-m-Tiefenlinien, also eine Vertiefung der östlichen Bucht eingetreten, eine Erscheinung, die sich unter Schwankungen bis jetzt erhalten hat. Ganz im Gegenteil hierzu zeigt die — 5-m-Tiefenlinie in Kolberg in dem entsprechenden Profil seit 1882, dem frühesten Jahre, aus dem Peilungen an der in Frage kommenden Stelle vorliegen, unter Schwankungen ein allmähliches Vorrücken — also eine Verflachung der Ostbucht.

b) Verhalten der Strandlinie, d. h. der ± 0 -m-Tiefen- oder Strandlinie im Osten der Häfen. Die ± 0 -m-Tiefen- oder Strandlinie im Osten des Hafens Rügenwaldermünde zeigt von 1872 bis 1877, also innerhalb der Zeit der Erbauung der Molen, ein bemerkenswertes Vorrücken, von da an aber ein langsames Zurückweichen bis zum Jahre 1909; und dann wieder ein langsames Vorrücken.

Die Ausführung des östlichen Parallelwerkes, das in dem Jahre 1889 zu einem gewissen Abschluß gebracht worden war, hatte das Zurückweichen der Strandlinie nicht bemerkbar aufhalten können.

Die Ausführung der Bühnen Nr. 5 bis 12 in den Jahren 1899 bis 1901 verursachte während der Ausführung Schwankungen, aber kein dauerndes Vorschleichen der Strandlinie.

Ebenso ist ein Einfluß der Verstärkungsarbeiten an dem Parallelwerk in den Jahren 1904 bis 1906 nicht zu bemerken.

¹³⁾ s. S. 570, Fußnote 10.

Ein vorübergehendes Vorschleiben im Jahre 1910 kann vielleicht auf die Bauten der Bühnen I bis IV und 10 bis 17 in den Jahren 1907 bis 1909 zurückgeführt werden.

Die schweren Stürme aus Nordost zur Zeit des Jahreswechsels von 1913 auf 1914 haben, wohl infolge ihrer Richtung (Nordost) zum Strande, diesen nicht bemerkbar verändert, was hinsichtlich der Frage der Einwirkung der Nord- und Oststürme auf die Ausbildung der östlichen Bucht zu beachten ist.

Die Strandlinie im Osten des Hafens zu Kolberg hat sehr wenig Schwankungen durchgemacht. Die 1880 begonnene erste und die 1905 angefangene zweite Ausführung von Bühnengruppen scheint vorübergehend kleine Vorschleibungen herbeigeführt zu haben. 1918 lag aber der Strand wieder an derselben Stelle wie 1882, während in Rügenwaldermünde der Strand von 1877 bis 1917 im ganzen um 75 m zurückgerückt ist.

c) Verhalten der -5-m- und der $\pm 0\text{-m-}$ Tiefenlinien im Westen der Häfen. Im Westen des Hafens von Rügenwaldermünde hatte sich in den Jahren von 1874 bis 1875 in der Zeit, in der die Westmole nur teilweise fertiggestellt war, eine starke Vertiefung vor den neuen Molenteilen gebildet. Aber schon 1876 und dann von 1878 an, nach Fertigstellung des Unterbaues der Molen in voller Länge, machten sich starke Sandansammlungen bemerkbar, die jedoch in dem Zeitraum von 1897 bis 1910 geringer wurden, dann aber bis in die neueste Zeit wieder zunahm. 1918 lag die -5-m- Linie nahezu 200 m weiter seewärts als 1872.

Auch die Strandlinie im Westen zeigt ähnliches Verhalten. Die Schwankungen sind hier aber sehr viel geringer. 1918 war diese Linie um etwa 65 m gegen 1872 vorgerückt. In einzelnen früheren Jahren lag sie vorübergehend noch weiter seewärts.

In Kolberg hat im Westen des Hafens weder die -5-m- noch die Strandlinie sich dauernd vorgeschoben. Sandansammlungen einzelner Jahre sind immer bald wieder verschwunden.

Die -5-m- Tiefenlinie liegt 1920 dem Strande sogar um 50 m näher als 1865, die Strandlinie hat 1919 dieselbe Lage wie 1882.*

Unter Hinzuziehung der Beobachtungen des letzten Jahrzehntes kommt man auf Grund der Ausführungen der vorstehenden Kapitel bezüglich des Verhaltens der die beiden Hafengebiete begrenzenden Küstenstrecken in ihrer hauptsächlich Abhängigkeit von der Molenform — teilweise gegensätzlich zu Musset — zu folgendem Ergebnis:

Die Einstellung des luvseitigen Strandes und damit die Mündungsbarrenbildung ist für den Hafen Kolberg günstiger zu nennen als für Rügenwaldermünde. Bezüglich der Hafenseite ist kein Zweifel darüber, daß neben beiden Häfen Uferabbrüche eingetreten sind. Wenn es im Osten von Rügenwaldermünde bisher noch nicht gelungen ist, den Strandverlust wieder rückgängig zu machen bzw. einen Gleichgewichtszustand zu schaffen, so liegt es — wie oben entwickelt — für diesen Hafen vornehmlich an seiner Lage zur Hauptwindrichtung, wozu die luvseitige Molenform noch verschärfend hinzukommt.

Im Osten Kolbergs haben die Bühnen erfolgreich gewirkt. Besonders unterstützt wird diese Wirkung durch die in den Strand hineinragende Waldenfelsschanze (Abb. 7), die seeseitig durch eine dicke Steinschüttung und ein Längsbollwerk gut geschützt ist.

Diese Schanze, mit deren Bau seinerzeit nicht ein Strandschutz beabsichtigt worden war, stellt einen „festen Punkt“ dar, wie ihn Dr. Heiser als Strandschutzmaßnahme zur Ersparnis etwa nötig werdender umfangreicher Bühnenanlagen an im starken Abbruch liegenden Küstenstrecken empfiehlt.

Die Behauptung der guten Wirkung der hart östlich Kolberg errichteten Bühnenanlage kann keine maßgebende Einschränkung erfahren durch die Beobachtung, daß auch der Oststrand von Kolberg geringen Breitenschwankungen unterworfen ist. Diese sind als ganz normale Gleichgewichtsstörungen anzusehen, von denen jede Küstenstrecke infolge der wechselnden Wind- und Wasserbewegung berührt wird.

Bei den günstigeren Wassertiefen vor und in der Hafeneinfahrt Kolbergs darf die Wirkung des Persantestromes nicht überschätzt werden. Der auslaufende Süßwasserstrom wird infolge der breiteren Hafeneinfahrt als bei Rügenwaldermünde von dem spezifisch schwereren Strom unterlaufen, so daß die räumende Kraft nicht immer die Sohle an den Stellen beeinflussen kann, wo Ablagerungen sich gebildet haben.

Infolge der vor Rügenwaldermünde langsamer laufenden Küstenströmung konnte im Vergleich zu Kolberg eine verhältnismäßig größere Menge Sinkstoffe zur Ablagerung kommen. Hierzu kommt jedoch infolge der Küstenlage die in reichem Maße als vor Kolberg räumende Kraft der auflandigen Winde. So ist anscheinend ein Ausgleich in den Bedingungen für beide Häfen geschaffen und der Vergleich ihrer Hafenaußenwerke als von fast gleicher Basis aus als möglich anzusehen. Die abweichende Küstenrichtung beider Häfen schließt eine Vergleichsmöglichkeit nicht aus. Der Hafen Windau mit der Rügenwaldermünde sehr ähnlichen luvseitigen Mole wird die Richtigkeit dieser Annahme beweisen können. Auch dort läuft ein sehr sinkstoffreicher Küstenstrom. Doch ist die Lage der Hauptwindrichtung zum Küstenstrich dieselbe wie vor Kolberg. Trotzdem ähnelt die Versandung der Einfahrt der von Rügenwaldermünde.

Musset sucht vornehmlich aus der Windhäufigkeit und -stärke Abbruch und Anlandung an den die Häfen berührenden Strandgebieten nachzuweisen. Da jedoch die Tiefenströme keineswegs nur unter der Windbeeinflussung stehen, ergibt sich, daß jener Weg zu Trugschlüssen führen muß.

Vergleicht man den Jahresdurchschnitt der von den beiden Häfen zur notwendigen Aufrechterhaltung der Einfahrttiefe erforderlichen Baggerungen für einen Zeitraum von zehn Jahren, so ergibt sich rein zahlenmäßig, daß vor Rügenwaldermünde 25% mehr an Boden zu fördern waren als vor Kolberg.

Dies kann einmal an der größeren Menge der Ablagerung liegen, das andere Mal jedoch auch an einer verschiedenen Beschaffenheit des Fördergutes. Daß eine genaue Beantwortung der Frage getrennt nach der einen wie der anderen Seite nicht möglich ist, ergibt folgende Beobachtung: Eine Untersuchung der Baggersände vor a) Kolberg und b) Rügenwaldermünde hat ergeben, daß der Sand zu a) von größerer Beschaffenheit, der zu b) sehr fein ist.

Diese Bodenbeschaffenheit wirkt sich auf die Förderleistung je m² Baggerfeld verschieden aus. Während z. B. der Saugbagger unmittelbar nach Einstellung der Baggerarbeiten bei einer Rohrstellung bis zu 10 m Wassertiefe vor Kolberg 7 bis 8 m Wassertiefe hinterläßt, gelingt ihm dies für Rügenwaldermünde nur auf 6 bis 7 m. Hieraus ergibt sich, daß zur Schaffung einer bestimmten Wassertiefe vor Rügenwaldermünde wegen der Beschaffenheit des Baggerbodens ein größerer Arbeitsaufwand notwendig ist als vor Kolberg. Aus der Tatsache der 25prozentigen Mehrbaggerung kann demnach nicht ohne weiteres geschlossen werden, daß die Sandansammlung von Rügenwaldermünde eine größere ist. Hierbei ist von äußeren Umständen noch gänzlich abgesehen.

Ferner ist zu beobachten, daß der vor Kolberg geförderte Sand sich im Laderaum des Saugbaggers fest einlagert, während der vor Rügenwaldermünde gewonnene im Bagger schwimmt.

Wenn man die Bodenbeobachtungen zu Schlußfolgerungen heranziehen will, so müßten jährliche Bodenuntersuchungen für einen größeren Zeitraum vorliegen. Ich möchte in Ermangelung dessen eine meines Erachtens ausschlußreiche Mitteilung eines alten Baggerkapitäns hier anführen, der z. B. behauptet: Seit 1902 haben sich die Bodenverhältnisse vor den Hafeneinfahrten der drei hinterpommerschen Häfen „verschlechtert“. Der „gute“ schwere Kiessand, der vor 25 Jahren vorhanden war, sei vor den drei Häfen heute nicht mehr anzutreffen.

Läßt man die Frage nach den wechselnden Herkunftstellen des abgelagerten Bodens und damit nach seiner sich ändernden Beschaffenheit vorläufig unbeantwortet, so könnte man unter Umständen schließen, daß vor Kolberg bei dem geförderten Boden ein bewegteres Wasser vorherrscht im Gegensatz zu Rügenwaldermünde bei seinem leichten Boden eine schwächere Wasserbewegung.

Inwieweit für beide Fälle der Wasserbewegung die Molenform verantwortlich gemacht werden kann, kann nach den vorliegenden Beobachtungen nicht nachgewiesen werden.

An Hand dieser Ausführungen kann auf Grund des Umfangs der vor beiden Häfen jährlich zu ihrer Offenhaltung erforderlichen Baggerungen nichts ausgesagt werden, da die Beobachtungen an den verschiedenen Stellen nicht systematisch unter gleichen Gesichtspunkten in einem größeren Zeitraum gemacht worden und somit nicht vergleichsfähig sind.

Zusammenfassend geben die Beobachtungen der Wirkung der Hafenaußenwerke von Rügenwaldermünde folgendes Bild:

1. Eine Barre schiebt sich von Westen her vor den Hafeneinfahrt.
- Da die Barre wesentlich umfangreicher ist als vor Kolberg, die Bedingungen für beide Häfen jedoch als gleich angesehen werden können, wird die deklinante, dem Küstenstrom angepaßte konvexe Form der Westmole dafür in besonderem Maße mit verantwortlich zu machen sein.
2. Die Sandablagerungen erfordern jährlich Baggerungen.
3. Die Breite der Hafeneinfahrt ist bei der Lage ihrer Achse senkrecht zu der von der Westmole geführten Strömung zu gering. Die Mündungsbreite erfährt noch eine starke Einschränkung, da der um den Westkopf hafeneinwärts setzende Strom an dieser Stelle Sand abgelagert. Das Becken hinter der Einfahrt kann schiffahrtstechnisch als Vorteil angesehen werden.

4. Die unmittelbar an die Ostmole anschließende Strandstrecke liegt unter starkem Abbruch. Der Grund ist nicht nur in dem Verlauf der Küstenrichtung zu der der Hauptwinde zu suchen. Maßgebend ist auch die Molenanlage. Ob die für Rügenwaldermünde typische Linienführung der Molen diesen Abbruch beeinflußt, ist aus den vorliegenden Beobachtungen nicht nachzuweisen.

Die Folgen dieser für den Hafen Rügenwaldermünde genannten Sonderheiten sind:

- a) daß der Hafen mit seinen schwierigen Einfahrtverhältnissen immer mehr gemieden wird. Dies bestätigen sowohl Reeder als auch Schiffsführer. Man setzt sich nicht der Gefahr aus, bei Einlaufen in den Hafen beschädigt zu werden oder bei etwas unruhiger See günstigeres Wetter draußen auf der Reede abwarten zu müssen,

b) daß trotz einer ausreichenden Wassertiefe im Innenbecken wegen meist zu flachen Wassers vor der Mündung nur Fahrzeuge geringeren Tiefgangs den Hafen aufsuchen,

c) daß die erforderlichen Baggerarbeiten jährlich hohe Kostensummen erfordern.

Die in derselben Weise für Kolberg angestellten Betrachtungen haben folgendes Ergebnis:

1. Von Westen her schiebt sich eine Sandbarre im allgemeinen bis zur Höhe des Westmolenkopfes, teilweise auch in die Einfahrtrinne hinein. Seewärts der beiden Molenköpfe, außerhalb einer an den Ostkopf senkrecht zur Einfahrtachse gelegten Tangente, kommt es zu wesentlichen Ablagerungen nicht. Die Durchschnittswassertiefe ist größer als vor Rügenwaldermünde.

2. Die Einfahrtachse läuft etwa in der Hauptwindrichtung. Durch die verschieden langen Molen ergibt sich eine ausreichende Breite der Einfahrt.

3. Die Sandablagerungen vor der Hafeneinfahrt erfordern jährlich Baggerungen.

4. Die durch Buhnen gesicherte Strandstrecke östlich des Hafens zeigt eine normale Strandausbildung.

Die Feststellungen bedeuten für Kolberg

a) eine verhältnismäßig sichere Einfahrt. Übereinstimmend wird heute von Schiffsführern und Lotsen bemerkt, daß sie das Einfahren in den Hafen Kolberg dem nach Rügenwaldermünde vorziehen;

b) auch hier durch jährliche Baggerungen erhöhte Unterhaltungskosten.

IV. Auswertung der Untersuchungsergebnisse.

a) Ausbau Hafenform Kolberg.

Der Verlauf der Hafenaußenwerke nach der Bauart Rügenwaldermünde, Windau usw. wird theoretisch im allgemeinen als der günstigste bezeichnet. Bei der Aufstellung von Richtlinien für die Anordnung der Hafenaußenwerke von Häfen an sandführenden Küsten wird diese Linienführung für die den größten Erfolg versprechende gehalten.

Aus den angestellten Untersuchungen ergibt sich jedoch, daß die theoretischen Erwartungen sich nicht erfüllt haben. Zur Aufrechterhaltung der notwendigen Wassertiefe sind umfangreiche Baggerungen vor und in der Hafeneinfahrt notwendig. Ein Vergleich mit einer anderen Hafenform — Kolberg — ergibt, daß dieser der Vorzug gegeben wird. Jedoch auch die Außenwerke dieses Hafens befriedigen nicht restlos.

Im folgenden soll versucht werden, an der Mole des Hafens Kolberg aus Erkenntnissen und Beobachtungen Maßnahmen zu entwickeln, die unter Umständen zu einer wesentlichen Einschränkung der vorstehend angeführten Nachteile führen können. Auf dem Hafenplan von Kolberg (Abb. 7) ist die Lage der Hafeneinfahrt zum Küstenstrich sowie zur Hauptwindrichtung dargestellt. Die Kolberger Küste zwischen Horst und Funkenhagen läuft etwa unter 120° zur Nordrichtung. Die Strandlinien unmittelbar neben dem Hafen weichen jedoch hiervon um weitere 20° nach Süden auf der Westseite und um 20° nach Süden auf der Ostseite ab. Das Winddiagramm zeigt das Überwiegen der Westwinde. Danach wendet sich die Hafeneinfahrt der Hauptwindrichtung zu.

In einem Beschluß des 11. Internationalen Schiffahrtskongresses sind Forderungen bezüglich der Länge der Molen festgelegt worden, die auch heute noch anerkannt werden: „Die Molen, parallel oder schräg zueinander stehende, müßten, um wirksam zu sein, bis zu Tiefen geführt werden, in denen die Wirkung der Wellen auf den Meeresboden nicht mehr auftritt.“ Diese Forderung erscheint für viele Fälle undurchführbar, da nach den vorstehenden Ausführungen eine „neutrale Linie“, die in einer für jeden Küstenstrich verschieden weit von der Strandlinie entfernten Zone verlaufen soll, sich nicht bestimmen lassen wird. Man wird deshalb die Lage der Molenköpfe in bezug auf die Meerestiefe

a) von der verlangten Hafentiefe und Hinzurechnung eines Zuschlags gegen Durchsetzen der Schiffe,

b) von dem Vorhandensein bzw. der Stärke eines Hafenausstromes abhängig machen, da dessen Wirksamkeit zur Molenlänge in Beziehung steht.

Es soll untersucht werden, inwieweit eine Veränderung des Verhältnisses der Molenlängen zueinander eine Verminderung der Sandablagerungen vor Kolberg unter Umständen zur Folge haben kann.

Zunächst wird hierbei von schiffahrts-technischen Erwägungen abgesehen.

Bei der Einzeluntersuchung des Hafens Kolberg ist bereits die nachteilige Wirkung der die Westmole überragenden Ostmole nachgewiesen worden. Die luvseitige Mole weiter über die andere Mole hinauszuführen, würde — abgesehen von schiffahrts-technischen Gründen — bei Winden aus dem Ostsektor ähnliche Versandungen bringen, wie das bei umgekehrter Lage der Molenköpfe und Winden aus dem Westsektor der Fall ist.

Aus den Peilplänen für Kolberg ist ermittelt worden, daß die see-seitige Begrenzung der „5-m-Barre“ im allgemeinen etwa in der zur Küstenrichtung parallelen Tangente an den Ostkopf liegt und daß Vertiefungen sich vornehmlich seeseitig dieser Linie bilden. Es liegt daher

nahe, zu untersuchen, ob bzw. wie sich Sinkstoffe ablageren werden, wenn auch der Westkopf an die Küstenstrichtangente herangeschoben wird. Da anscheinend die Hauptrichtung des Strombandes des unter Land verlaufenden Küstenstromes in Abhängigkeit von der Küstenkonfiguration parallel zur Küstenrichtung läuft, ist für den Strom jenseits der Tangente an die auf gleicher Höhe liegenden Molenköpfe ein Widerstand nicht mehr vorhanden und damit keine Veranlassung zu Ablagerungen gegeben. Der größte Teil der Sinkstoffe wird jedoch aus dem Raume zwischen Molen tangente und Strand kommen. Die resultierende Bewegungsrichtung der darin laufenden Wassermassen ist die der Strandlinie. Auf S. 575 ist nachgewiesen worden, daß etwa während der letzten fünf Jahrzehnte auf der Westseite von Kolberg weder die Strandlinie noch die 5-m-Linie wesentlich ihre Lage verändert haben. Ablagerungen finden nicht statt. Danach ist die Gleichgewichtslage in dem Winkel zwischen Weststrand und Westmolenwurzel hergestellt. Die im Brandungsgürtel sich bewegenden Sände müssen daher einestells an den Küstenstrom wieder abgegeben und zum anderen in einer durch die hemmende Westmole veranlaßten Strömung zum Gebiete seeseitig des Westkopfes gebracht werden.

Es entsteht auch die Frage, ob es nicht möglich ist, den Sand vor Erreichung des Hafengebietes in der Herkunftsrichtung wegzufangen bzw. ihn unter Umständen so abzuleiten, daß der größte Teil an dem Hafen vorbeiläuft.

Bereits früher und auch neuerdings ist vorgeschlagen worden, in einiger Entfernung luvseitig des Hafens eine Buhnenanlage mit sandfangender Wirkung zu schaffen (z. B. für den Hafen Windau auf Vorschlag Leppiks¹⁴⁾).

Man geht dabei von der Erwägung aus, daß der unter gewöhnlichen Verhältnissen herrschende Gleichgewichtszustand durch die Einbauten (Buhnen) gestört wird. Die Sandbewegung wird gehemmt. Es soll sich Sand ablageren, der die Leeseite der Buhnenanlage nicht erreicht und somit der Hafenuvseite entzogen wird.

Tatsächlich wird jedoch im Laufe der Zeit in der Umgebung der Buhnenwerke see- und leewärts die Verflachung zunehmen. Nach Erreichung eines gewissen Zustandes wird der auf die Hafeneinfahrt treffende Strom wieder mit ebensoviel Sand angereichert sein wie vorher. Die Beobachtung von Uferschutzwerken hat gezeigt, daß das Erreichen dieses Zustandes der endgültigen Verlandung eines Buhnenwerkes in der Zeitdauer sehr stark schwanken kann: Die auflandigen, stürmischen Winde üben eine starke räumende Kraft aus, so daß wieder Platz geschaffen wird zur Aufnahme neu ankommender Wandsände. Winde aus dem luvseitigen Sektor fördern die Versandung der Buhnenfelder sehr schnell.

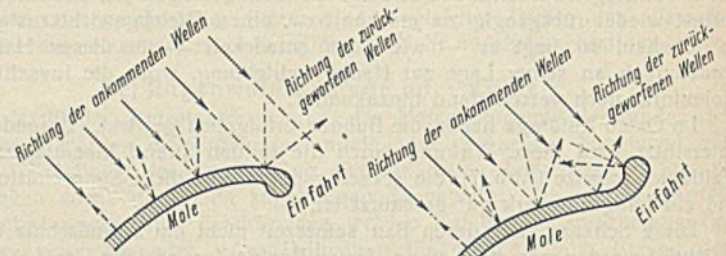


Abb. 9.

Abb. 10.

Unter bestimmten Bedingungen mögen weit in die See hinauslaufende Buhnen durch Abweisen eines mit Sinkstoffen geschwängerten Stromes einen gewissen Erfolg bringen. Hier kommt als erschwerender Umstand hinzu, daß diese Werke eine die übliche Seebühne stark überschreitende Länge und somit einen verbreiterten Querschnitt erhalten müssen. Dadurch sind Anlage- und Unterhaltungskosten bedingt, deren Höhe bei dem sehr fraglichen und dann nur geringen Teilerfolge nicht vertretbar erscheint. Alle diese Erwägungen lassen den Bau einer luvseitigen Buhnenanlage nicht empfehlenswert erscheinen.

Zur Erhaltung und Verstärkung der inneren Wasserbewegung bis zu einer möglichst großen Tiefe und damit zur Verringerung der Ablagerungen trägt vornehmlich die Ausbildung der seeseitigen Enden der Hafenaußenwerke bei.

Die Molenköpfe erhalten aus baulichen Gründen meist senkrechte Wände. Die auf diese Mauer prallenden Wellen schwingen zurück und verursachen dadurch vor der Einfahrt eine kabbelige, d. h. ungleichmäßige See. Für eine bequeme Einfahrt hält man bisher eine Abschwächung dieser Wasserbewegung für notwendig, indem man empfiehlt, das Molenende nicht nach Abb. 9 als Verlängerung der gekrümmten luvseitigen Mole konvex auslaufen zu lassen, sondern nach Abb. 10 konkav auszubilden. Die zurückgeworfenen Wellen sollen von der Einfahrt ferngehalten werden, da sie für die einfahrenden Schiffe sehr hindernd empfunden werden könnten. Es wird jedoch die Einschränkung gemacht, daß diese konkave Anordnung nach Luv für sandführende Küsten

¹⁴⁾ Leppik, Flußmündungen mit Barrenbildung an der baltischen Ostseeküste. Z. f. Bauwes. 1927, Heft II u. IV.

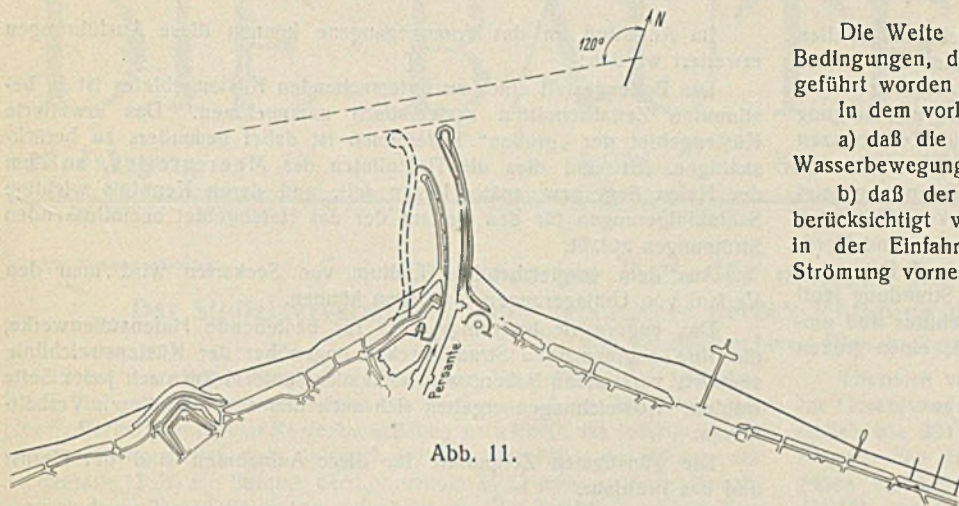


Abb. 11.

nicht zu empfehlen sei, da dort die Mole in konvexem Linienverlauf bis zum Molenkopf ohne jeden Vorsprung zur Vermeidung von Ablagerungen geführt werden müsse.

Diese Einschränkung erscheint jedoch nach den hier angestellten Untersuchungen nicht erforderlich. Die konkave Form der Molenköpfe erzeugt eine Wasserbewegung, die dazu beiträgt, den Sand, der von den an die Molen herandrängenden Wassermassen gebracht wird, schwebend zu erhalten. Es werden Wirbel entstehen, die je nach Stärke der Strömungen Ablagerungen einschränken bzw. behindern werden, ohne daß Belästigungen der Schifffahrt entstehen.

Es ist nachgewiesen, daß sowohl um den Westmolenkopf des Hafens Kolberg als auch um den von Rügenwaldermünde ein Nehrstrom hafenswärts setzt, dessen Wasser sich infolge seiner größeren Dichte unter das Flußwasser schiebt sowie infolge einer Stauwirkung Sinkstoffe ablagert. Dieser Nehrstrom würde durch eine Ausbildung der Molenenden nach Abb. 11 unter Umständen eingeschränkt, wenn auch vielleicht nicht ganz aufgehoben werden können.

Wäre bei der Form der Molenenden nach Abb. 7 kein Ausstrom aus dem Hafen vorhanden, so würde bei der jetzigen Lage der Molenköpfe zueinander wahrscheinlich eine Teilströmung in größerer Breite in den Hafeneinfahrt eindringen und einen Widerstand an der leeseitigen Mole finden. Es würde sich eine Walze bilden, die Verlandung bewirkt. Zur Einschränkung der Ablagerungen wird daher eine konkave Ausbildung der luvseitigen Molenköpfe nur eine Teilmaßnahme darstellen, durch die sich eine Ablagerung nicht verhindern lassen wird.

Die Ausbildung des Molenkopfes nach Abb. 11 wird nur Erfolg versprechen bei einer Anlage, bei der beide Molenköpfe in der „Küstenstrichparallele“ liegen.

Die Führung der Hafenaußenwerke sowie die Lage der Molenköpfe ist bisher lediglich unter dem Gesichtspunkte der geringsten Sandablagerungen betrachtet worden. Die aufgefundenen „Lösungen“ müssen notwendigermaßen mit den schiffahrtstechnischen Erkenntnissen in Einklang gebracht werden.

Auf S. 573/4 wurde ausgeführt, wie das An- und Einsteuern des Hafens Kolberg vor sich geht. Bei der heutigen Lage der Molenköpfe von Kolberg (Abb. 7) zueinander liegt die Hauptsteuerungsrichtung etwa senkrecht zur Verbindungstangente. Auf diese Weise behält das Schiff, auf der Höhe des Ostmolenkopfes angekommen, zwischen sich und Backbordseite Raum, in den es unter Umständen eindrehen muß, wenn es durch den an den Molenköpfen vorbeiziehenden Strom mit seinem Achterende gegen den Ostkopf versetzt wird.

Diese sich an der relativen Lage der Molenköpfe ergebende Einfahrtbreite wird verringert, wenn die Köpfe nach Abb. 9 auf gleiche Höhe gelegt werden. Molenkopftangente und Hauptsteuerungsrichtung bilden dann zwischen sich einen Winkel von etwa 50° . Der Kurs wird auch hier zunächst etwa auf den Nordrand des Westkopfes gerichtet sein, um dann allmählich in die Mittellinie zwischen den beiden Molen einzudrehen. Infolge der geringen Einfahrtbreite und der anschließenden engen Fahrstraße, in der infolge der Enge nur ein geringes Abweichen des Schiffes aus der Stromrichtung eine Havarie zur Folge haben kann, ist

a) bei starkem Küstenstrom die Gefahr einer Beschädigung des Hinterschiffes durch den Ostkopf und

b) das Auffahren des Bugs auf die Innenseite der Westmole etwa 60 m hinter dem Kopf infolge der durch den starken Außenstrom verursachten Drehung des Schiffes sehr wahrscheinlich.

Das Maß von 60 m entspricht etwa dreiviertel der Schiffslänge des zur Zeit im Kolberger Hafen verkehrenden Normaltyps.

Diese Einfahrtsschwierigkeiten können nur vermieden werden entweder durch eine größere Einfahrtbreite oder durch ein Vorhafenbecken fast unmittelbar hinter der Einfahrt.

Die Weite der Hafeneinfahrt ist abhängig von den gegensätzlichen Bedingungen, die knapp und erschöpfend von F. W. O. Schulze¹⁵⁾ aufgeführt worden sind.

In dem vorliegenden Falle — Kolberg — wird man beachten müssen a) daß die Einfahrtbreite nicht zu groß wird, um möglichst wenig Wasserbewegung in den Hafen zu bekommen und

b) daß der Raum für eine Kursänderung — Drehbewegung — berücksichtigt wird, die ein im Hafen verkehrendes Normalfahrzeug in der Einfahrt als Gegenwirkung zur senkrecht vorbeisetzenden Strömung vornehmen muß.

Vorausgesetzt, daß sich die Molen fast unmittelbar hinter der Einfahrt zu einem Becken verbreitern, kann die Einfahrtbreite etwas vergrößert werden, da das Becken auf eine unter Umständen eintretende stärkere Wasserbewegung abschwächend wirkt. Die Verbreiterung der Einfahrt zum Becken (s. Abb. 11) müßte in einem besonders jeweils zu ermittelnden Abstände hinter dem Westkopf ansetzen. Diese Entfernung wird von der Länge des im Hafen verkehrenden Normalschiffstyps abhängig sein und durch Versuche am geeigneten Modell unter Umständen sehr gut ermittelt werden können.

Auf Grund der Forderungen, die Hafenwerke so auszubilden, daß ein Mindestmaß an Sinkstoffablagerung erzielt und schiffahrtstechnisch möglichst günstige Einfahrtverhältnisse geschaffen werden, kommt man aus den oben entwickelten Gründen etwa zu der auf Abb. 11 dargestellten Form. In dem außerhalb des Einflusses der Gezeiten liegenden Meere wird für jede Küste immer eine Strom- und Windrichtung die überwiegende sein. Die Hafenaußenwerke werden grundsätzlich so zu legen sein, daß ihre Mittelachse dieser Richtung entgegengerichtet (inklinant) ist, wobei infolge der jeweilig besonderen Verhältnisse Abweichungen in der von beiden Richtungen eingefaßten Winkelgröße möglich sind.

Unmittelbar hinter der die beiden Köpfe verbindenden, parallel zur Küstenstreichlinie verlaufenden Tangente laufen beide Molen auf ihren Innenseiten ein Stück parallel, dessen Längenabhängigkeit bereits beschrieben ist. Die Molenköpfe werden verstärkt und an ihren Außenseiten nach Abb. 10 konkav ausgebildet. Zur Schaffung eines Beckens hinter der Hafeneinfahrt verläßt die luvseitige Mole die Parallele und läuft in einem nach Luv konkaven Bogen auf den Strand. Hierbei ist zu beachten, daß der Winkel zwischen Strandlinie und Molenwurzel etwa derselbe bleibt wie bei der alten Anordnung. Je weniger dieser Winkel 90° überschreitet, je weniger flach wird sich in diesem Räume der Strand ausbilden, wodurch einem Vorwandern der Sände zum Fahrwasser hin vorgebeugt wird.

Die Größe des Vorhafenbeckens, wie sie z. B. bei den Häfen Rügenwaldermünde, Windau usw. vorliegt, ist begründet

1. in der bereits veralteten Forderung, reichlich Platz für das Aufschließen von Segelfahrzeugen zu schaffen,
2. in der konvexen Ausbildung der luvseitigen Mole zur angeblich möglichst glatten Ablenkung des vorbeilaufenden Stromes.

Beide Forderungen werden hier aufgehoben. Die Verkleinerung des Beckens, das wegen seiner geringen Abmessung nicht mehr als Vorhafen anzusprechen sein wird, bringt den Vorteil der fast unverminderten Spülkraft des auslaufenden Stromes.

b) Sondermaßnahmen zur Einschränkung der Sinkstoffablagerungen.

Es sind Fälle bekannt, wo durch besondere Hilfsbauten die Wirkung der Molen erhöht worden ist. Eine Strandung, die Musset in Z. f. Bauwes. 1920, S. 110, beschreibt, weist für Kolberg bzw. sein Molensystem auf eine solche Maßnahme hin. „... Das Verhalten der Sandablagerungen vor den Molen in Kolberg nach einer am 26. Juni 1916 eingetretenen Strandung und nach der am 9. September 1917 erfolgten Bergung eines Dampfers am Westmolenkopf. Ein etwa 30 m langer Dampfer sank so, daß er im gesunkenen Zustande einen vom Westmolenkopf ungefähr senkrecht abstehenden Flügel bildete und den von Westen sowie den aus der Bucht kommenden, schon zusammengezogenen und abgelenkten Küstenstrom noch mehr zusammenzog und noch weiter von den Molen ablenkte. Hierdurch entstand um das Wrack herum und nordöstlich davon eine starke Vertiefung. Der hier aufgewirbelte und fortgetragene Sand lagerte sich nordöstlich und östlich des Ostmolenkopfes wieder ab. Nach dem Bergen des Wracks stellte sich bald der frühere Zustand wieder ein.“ Auf Abb. 12 ist die Lage der 5-m-Tiefenlinie vor und nach dem Stranden sowie nach dem Bergen des Schiffes eingetragen.

Hieraus ergibt sich einmal, daß der aus der Vertiefung auf dem trockenen Strande sowie aus der Brandungszone an der Westmolenaussenseite entlanggeführte Sand durch eine unmittelbar an die Mole sich an-

¹⁵⁾ F. W. O. Schulze, Der Seehafenbau. Berlin, Verlag Wilh. Ernst & Sohn.

schmiegende Quersperre (in diesem Falle das Wrack) zunächst aufgehalten und dann abgelenkt wird. Seeseitig der Sperre muß eine sehr starke Wasserbewegung entstehen, die eine Sandablagerung nicht zuläßt bzw. eine Vertiefung zur Folge hat. Die Peilungen nach der Strandung und Bergung sind nicht unmittelbar danach ausgeführt worden. Die Zwischenzeit konnte jedoch das Ergebnis nicht wesentlich beeinträchtigen. Die am 23. September 1925 aufgetragene 5-m-Tiefenlinie vor der Strandung zeigt die Durchschnittslage der sich ständig vor dem Westmolenkopf bildenden Ablagerung. Es wehten fünf Tage vorher Winde aus Norden und Nordwesten mit einer Stärke 6 bis 7. Die 5-m-Tiefenlinie vom 7. Dezember 1916 — vorher schwache ablandige Winde — nach der Strandung läuft hart am Westkopf vorbei zum Heck des gestrandeten Schiffes und umrandet von hier aus, in nordwestlicher Richtung laufend, einen großen Kolk.

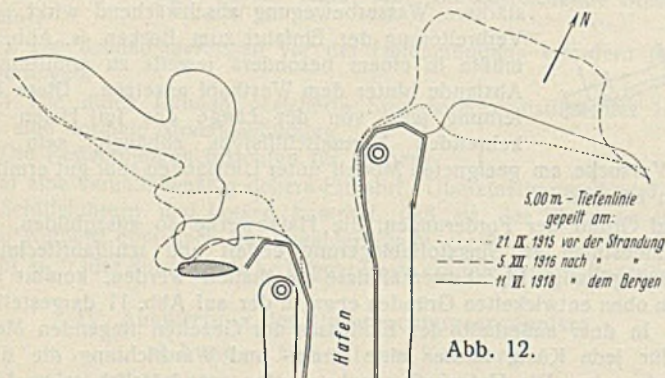


Abb. 12.

Die Strandung des Schiffes am Westmolenkopf ergab nördlich vom Ostkopf eine Sandablagerung. Aus den Tiefenlinien vor und nach der Strandung ergibt sich, daß diese Anlandung sich anscheinend nur örtlich auf eine kleine Fläche beschränkt. Eine weiter reichende Verflachung des Strandes auf der Hafenseite ist nicht eingetreten.

Die Einstellung der Tiefenlinien nach der Strandung kann als ein Beweis dafür angesehen werden, daß die vorgeschlagene konkave Führung der luvseitigen Mole sowie die Ausbildung ihres Kopfes in derselben, nur verstärkter Weise Ablagerungen vor der Hafeneinfahrt weitestgehend einschränken wird, und daß dieser Erfolg durch ein Hilfsbauwerk noch erweitert werden kann. Es wird mit diesem Strandungsfall erneut die Berechtigung der von Engels¹⁶⁾ für solche Hafenanlagen vorgeschlagenen Abweishühnen nachgewiesen. Zur Verminderung des starken Schlickfalls vor der Ausmündung des Kaiser-Wilhelm-Kanals in die Elbe bei Brunsbüttel sind im Anschluß an die Mole unter Wasser Leitwerke eingebaut. Durch diese Werke soll ein Vorbeiwandern der sinkstoffführenden (Schlick) Strömungen erreicht werden.

Auf Grund dieser von Engels ausgegangenen Anregung hat man auch an anderer Stelle gute Erfolge gehabt. Durch Anlage einer Abweishühne, deren Wirkung vorher im Versuchsbecken erprobt wurde, ist die Zufuhr von Sinkstoffen in die III. Einfahrt von Wilhelmshaven bedeutend vermindert worden.

Mit großer Aussicht auf Erfolg wird man an der Hafeneinfahrt von Kolberg den Versuch mit einer Abweishühne machen können. Bei dem jetzigen Verlauf der luvseitigen Mole von Rügenwaldermünde scheint dort eine günstige Wirkung dieser Maßnahmen sehr fraglich. Die Annahme Mussets, daß durch einen Flügel an diese Mole der vor der Mündung in Bewegung gehaltene Sand vor dem Ostrande zur Ablagerung gebracht werden könne, wird nach den oben nachgewiesenen Strömungsverhältnissen verfehlt sein.

V. Allgemeine Schlußfolgerungen.

Im estländischen Bericht zum 15. Internationalen Schiffahrtskongreß 1931 sind in kurzer Fassung maßgebende Vorschläge gemacht worden, nach denen bei den Planungen von Küstenverteidigungsmaßnahmen verfahren werden kann. Diese Leitsätze gelten entsprechend auch für den Hafenbauentwurf.

¹⁶⁾ Engels, Versuche über die Aufschlickung der Mündung des Kaiser-Wilhelms-Kanals bei Brunsbüttel. Ztrbl. d. Bauv. 1906, Heft 32 u. 67.

Im Anschluß an das Vorgegangene können diese Ausführungen erweitert werden:

Die Bodengestalt eines zu untersuchenden Küstengebietes ist in bestimmten Zeitabschnitten systematisch aufzunehmen. Das erweiterte Küstengebiet der „großen“ Tiefenlinien ist dabei besonders zu berücksichtigen. Es sind dies die Tiefenlinien des Meerestelles, an dem der Hafen liegt bzw. später liegen soll, und deren Kenntnis wichtige Schlußfolgerungen für den Verlauf der das Hafengebiet beeinflussenden Strömungen zuläßt.

Aus dem vergleichenden Studium von Seekarten wird man den Verlauf von Umlagerungen feststellen können.

Das engere Beobachtungsgebiet für bestehende Hafenaußenwerke, die ihre angrenzenden Strandstrecken gegenüber der Küstenstreichlinie seewärts verschoben haben, wird man nicht unter 1 km nach jeder Seite wählen. Abweichungen ergeben sich auch hier aus besonderen Verhältnissen.

Die günstigsten Zeitpunkte für diese Aufnahmen sind der Herbst und das Frühjahr.

An bestehenden Häfen werden die im Gebiete der Hafeneinfahrt aus schiffahrtstechnischen Gründen mindestens monatlich aufzunehmenden Peilungen zweckmäßig so angelegt, daß sie auch für hafentechnische Zwecke verwendbar sein können.

Neben der üblichen Ausführungsart der Peilungen wird zur Beobachtung der ständig ihre Lage wechselnden Sände das Luftbild zu verwenden sein. Wenn man auch nicht die genaue Tiefenstaffelung erhält, so erscheint doch die Lage der Sandansammlungen — Bänke — sehr deutlich. Vorbedingung ist auch hier, daß die See ruhig ist.

Ein weiterer Vorteil ist die Schnelligkeit, mit der eine solche Tiefenaufnahme gemacht werden kann. Dieser Vorteil wird sich besonders bei größeren Hafengebietes auswirken, da oft nur ein ruhiger Tag zur Verfügung steht und dieser für eine Peilung mit einfachen Mitteln nicht ausreicht.

Die Strömungen werden bei ihrer Abhängigkeit von dem Verlauf der Tiefenlinien gleichzeitig mit den Tiefenaufnahmen beobachtet und gemessen. Hierbei genaue Windbeobachtung. Bei den Strömungsmessungen in größerer Entfernung von der Küste dort gesonderte Windbeobachtung, da diese Windrichtung von der unter Land festgestellten abweichen kann. Bei Auswertung der Ergebnisse sind die Windbeobachtungen benachbarter Küstenstationen mit heranzuziehen.

Nach Richtung und Geschwindigkeit sind zu messen: Oberflächen-, Tiefen- und Grundströme. Weiterhin geben Aufschlüsse

1. die Entnahme von Grundproben, die auf ihre Zusammensetzung (Siebanalyse) zu untersuchen sind;
2. Dichtemessungen, die besonders im Gebiet des Hafensandes mit auslaufendem Strom von Wert sind.

Planmäßig durchgeführte Untersuchungen im Modell jeweils mit Einzelkräften bei Ausschaltung der übrigen Kraftwirkungen können wertvolle Erkenntnisse bringen, die unter Umständen erst die Gesamtwirkung der verschiedenen in der Natur vorhandenen Kräfte verständlich machen. Obgleich es schwierig ist, die an der offenen See wirkenden Kräfte und Faktoren maßstabgerecht und ihr Zusammenwirken genau in das Versuchsbecken zu übertragen, bieten Modellversuche oft die einzige Möglichkeit, eine Erforschung der Vorgänge tastend einzuleiten. Daneben muß in der Natur durch Beobachtungen und gegebenenfalls durch Messungen eine weitere Ergänzung dieser Studienarbeiten stattfinden. Dieses trifft ganz besonders für die Bauten am Meere zu.

Zusammengefaßt scheinen die wiedergegebenen Beobachtungen und die Ergebnisse der Untersuchungen dahin zu führen, zur Einschränkung der Sinkstoffablagerungen an Hafeneinfahrten außerhalb des Gezeitengebietes die luvseitige Mole nicht konvex zu krümmen, sondern durch eine geeignete (konkave) Linienführung der Hafenaußenwerke und besondere Ausbildung der Molenköpfe das umströmende Wasser in einer solchen Bewegung zu halten, daß ein Ausscheiden mitgeführter Sinkstoffe zum mindesten stark eingeschränkt wird. Die Linienführung muß die Belange der Schifffahrt berücksichtigen. Die Wirkung der Molenlage kann durch einen besonders untersuchten Molenquerschnitt unter Umständen erhöht werden.