

Die Sichelbuhne

Theorie und bisherige Erfahrung einer neuen Bühnenform

Von Claus Magens

Summary

The author developed a special groyne in the shape of a sickle, which is suitable to prevent harbour mouths enclosed by jetties to be silted up.

The sickle-shaped groyne is composed of one part vertical and another part parallel to the coastline connected together by a flat arc. The former vertical one works like a groyne, the other parallel one like a breakwater.

The functional planning using diffraction- and refraction diagrams is shortly explained.

A modeltest carried out in a wide lagoon at the shore of the isle of Fehmarn is shown.

The experiences with a practical example at the naval base Olpenitz on the Baltic are described.

Another more recent application is represented and it is pointed to the fact that the sickle-shaped groyne at the end of a physiographic unit also is suitable to cause an enlargement of the beach.

Einleitung

Wo vom Ufer in die See bis in Wassertiefen, die auch bei Niedrigwasserständen noch für die Schifffahrt ausreichende Fahrwassertiefen sicherstellen sollen, hinausgeführte Hafentiefen, die Brandungs- und Riffzone in ganzer Breite unterbrechen, ist regelmäßig an der Seite, aus der der größte Sandtransport mit der Brandung erfolgt, mit einer starken Ansandung zu rechnen. Diese wird sich immer weiter nach See zu verlagern und schließlich dazu führen, daß die Hafeneinfahrt versandet.

Um diesem Umstand abzuweichen, wurde in jüngerer Zeit eine besondere Bühnenform vom Verfasser entwickelt, die wegen ihrer Form als Sichelbuhne bezeichnet wird. Die theoretischen Überlegungen, Modellversuche sowie praktische Erfahrungen werden im folgenden beschrieben.

Die Theorie der Sichelbuhne

Die Sichelbuhne stellt ein Bauwerk dar, das in Ufernähe wie eine Buhne senkrecht zur Küste gerichtet ist, in einer gewissen Entfernung jedoch in leichtem Bogen in eine nahezu küstenparallele Lage herumgeführt wird. Sie wirkt damit sowohl als Buhne als auch als Wellenbrecher.

Hinter einem freistehenden Wellenbrecher wird von einer bestimmten Strandstrecke, die abhängig von der Länge und Uferentfernung des Wellenbrechers ist, die Brandung in ihrer ursprünglichen Stärke ferngehalten. Im Schutze desselben lagert sich infolgedessen Sand ab. Mit der Wahl der Länge und Entfernung des Wellenbrechers kann die Ablagerungsmenge in seinem Schutze bis zu einem gewissen Grade vorweg bestimmt werden, d. h. es können sowohl Strandverbreiterungen als auch Sandablagerungen bis zum Wellenbrecher hin über MW (=Mittelwasser) künstlich angestrebt werden.

Im ersteren Falle und im letzteren anfänglich bleibt indessen dem von der Brandung hervorgerufenen strandnahen Wasserstau die Möglichkeit, in Sandtransportrichtung abzufließen.

Der Abschluß des Wellenbrecherschutzraumes auf der Leeseite durch eine Buhne vom Strand zum Wellenbrecher nimmt diese Möglichkeit, und so wird der Wasserstau unmittelbar hinter dem Wellenbrecherschenkel der Sichelbuhne in Form einer strandparallel erzwungenen Rippströmung der Brandungsströmung entgegengesetzt abfließen und verhindern, daß auch der äußerste Kopf der Sichelbuhne sich mit Sand füllt und der Sandtransport schließlich über die Sichelbuhne hinaus weiter fortgesetzt wird.

Die Länge und Form des uferparallelen Schenkels der Sichelbuhne wird in der Weise festgelegt, daß zunächst die Ausbreitung (Diffraktion) der anlaufenden Wellen hinter einem Wellenbrecher konstruiert wird. Diese Konstruktion der Wellenkämme und deren Orthogonalen

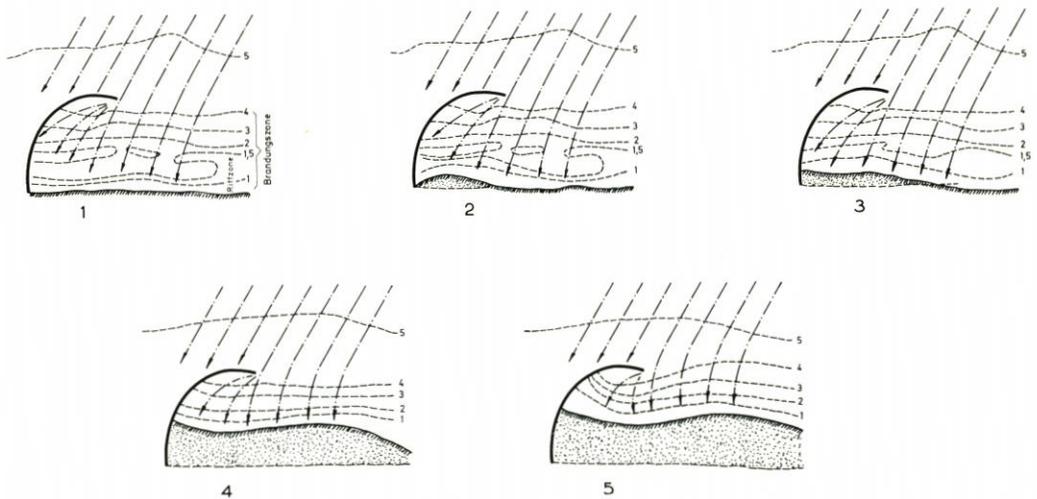


Abb. 1. Stadien der Entwicklung der Aufsandung im Bereich einer Sichelbuhne bei einseitiger Brandung nach der Theorie

wird ergänzt durch die weitere Konstruktion der Beugung (Refraktion) der Wellen über dem geneigten Unterwasserstrand. Aus der Größe der hinter dem Wellenbrecher stark reduzierten Wellenhöhen einerseits und der konstruierten Wellenfortschrittsrichtung andererseits kann nunmehr unter Ansatz der Unterwasserstrandneigung die Größe der im Schutz des Wellenbrechers verbleibenden Brandungsströmung nach PUTNAM, MUNK und TRAYLOR mit einiger Annäherung berechnet werden. Die Länge des als Wellenbrecher funktionierenden uferparallelen Schenkels der Sichelbuhne ergibt sich dann dadurch, daß das vorgenannte Diffraktions-Refraktions-Diagramm so lange verschoben wird, bis sich an der Wurzel des buhnenartigen, zur Küste quer verlaufenden Schenkels die Brandungsströmung zu einem Wert ergibt, unter dem nach den Kurven von HJULSTRÖM bei den vorhandenen Korngrößen des Sandes kein Transport und keine Erosion mehr erfolgt.

Dieser Untersuchung wird die kennzeichnende Welle des häufigsten starken Seegangs zugrunde gelegt.

(Da Wellenmessungen an Ort und Stelle nicht vorlagen, wurde als kennzeichnende Welle die sich aus der Formel von DARBYSHIRE ergebende Welle für eine Windstärke von 6 Bft und eine Windanlaufbahn [Fetch] von 50 km als kennzeichnende benutzt.)

Wellen kleinerer Dimensionen gestalten zwar die morphologische Entwicklung des Strandes unregelmäßig, jedoch nicht ungünstiger. Wellen größerer Dimension sind meist verbunden mit höheren Wasserständen und wirken somit ähnlich wie die kennzeichnenden, nur in einer höheren Ebene.

Wesentlich ist, daß der uferparallele Schenkel, der als Wellenbrecher dient, außerhalb der Brecherzone angelegt wird, damit nicht außerhalb des Bauwerks noch nennenswerte Brandungsströmungen und Sandtransport stattfinden.

Notwendig erscheint auch, daß dieser Schenkel nicht zu lang gebaut wird, damit nicht im innersten Teil hinter der Sichelbuhne eine Zone verbleibt, in die kein Sand mehr hineingelangt, denn dort würden sich nur schwimmende Teile wie Treibholz, Abfall, Seegrasreste u. ä. ansammeln und zu Geruchsbelästigungen führen.

Nach Einstellung der neuen Tiefenlinien hinter der Sichelbuhne in Richtung der dort gebeugten Käme der gedämpften Brandungswellen wird schließlich ein Beharrungszustand herbeigeführt, der infolge des Verlaufs der Tiefenlinien weiteren Sandtransport in den geschützten Raum hinein auf ein Mindestmaß herabsenkt. Die Ablagerungen werden dadurch schon vorher an der Küste erzwungen, die luvseitig liegt. Die verschiedenen Stadien der Entwicklung bei einseitiger Brandung sind nach der Theorie in Einzelskizzen auf Abbildung 1 dargestellt.

Der Modellversuch

Im Rahmen der Voruntersuchungen für eine Landverkehrsverbindung der Insel Fehmarn mit dem Festland, dem Bau eines Fährhafens im Norden dieser Insel („Vogelfluglinie“) einerseits und zur Beantwortung grundsätzlicher Küstenschutzfragen in diesem Raum andererseits wurde in einem Strandsee im Norden der Insel ein Modellversuch einer solchen Sichelbuhne durchgeführt. Da dort in der flachen Landschaft, in unmittelbarer Nähe der Ostsee der Wind freien Zutritt hatte, der Wasserstand in den Sommermonaten nahezu konstant blieb und die für die Versuche gewählte Uferstrecke aus Sand bestand, an dem ein natürlicher Transport wie am Meeresufer einerseits durch die natürliche Ausbildung eines Hakens, andererseits durch Anlage von Buhnen und Wellenbrechern vorher festgestellt werden konnte, waren die natürlichen Voraussetzungen für derartige Modellversuche gegeben.

Dieser Versuch mit einer Sichelbuhne ist im einzelnen in den unter 5 und 6 im Schriftumsverzeichnis angeführten Aufsätzen beschrieben worden.

Am Ende einer physiographischen Einheit am Ufer des Strandsees wurde den theoretischen Überlegungen entsprechend auch angepaßt an die Maßstabsverhältnisse des Sees, eine Sichelbuhne aus Strandgeröll, zugeschnitten auf den SW-Wind, der die größte Anlaufbahn über Wasser hatte, über die ganze Brandungszone hinaus angelegt. Die fotografischen Aufnahmen der Abbildung 2a bis f zeigen die zeitliche Entwicklung der Sandablagerungen und den Endzustand, der sich über etwa einen Monat – solange der Wasserstand noch einigermaßen konstant blieb – unverändert erhalten hat.

Praktische Erfahrungen vor Olpenitz

Erstmalig beim Bau des Marinehafens Olpenitz an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste konnte der Gedanke der Sichelbuhne in die Tat umgesetzt werden, um die Versandung der Hafeneinfahrt zu verhindern.



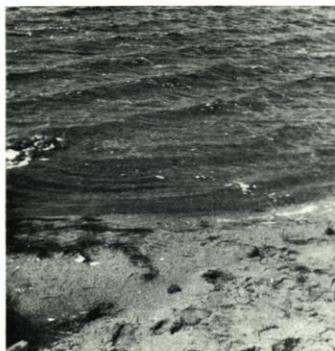
a. Nach Anlage am 10. 7. 1953.
(Aufn. MAGENS)



b. Nach Anlage am 10. 7. 1953.
(Aufn. MAGENS)



c. Erste Anlandung am 15. 7. 1953 (Aufn. MAGENS)



d. Wie c., die Steine rechts im Bild
deuten die ursprüngliche Strand-
linie an. (Aufn. MAGENS)

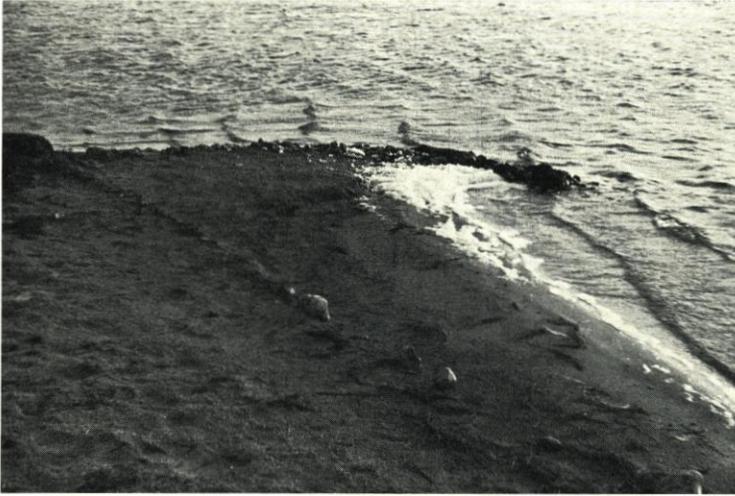


e. Beugung der Wellen am Bühnenkopf (16. 7. 1953).
(Aufn. MAGENS)



Abb. 2 (a-f). Modellversuch mit Sichelbuhne im Strandsee a. Fehmarn

Südlich der Schleimündung wurde in einem durch die Nehrung geschützten natürlichen flachen Becken dieser Hafen angelegt und durch einen Damm gegen die Schlei abgetrennt. Der Hafen erhielt mittels eines weiteren Durchstichs durch die Nehrung seine eigene Zu- bzw. Ausfahrt zur See. Während in der Mündung der Schlei die Ein- und Ausstrombewegungen des



f. Endzustand am 10. 9. 1953. (Aufn. Seifert)

Wassers von beträchtlicher Menge und Geschwindigkeit – hervorgerufen durch die wechselnden Wasserstände der Ostsee und die große Flächenausdehnung der Schlei – die Fahrrinne in ausreichender Tiefe offenhalten, war dies für die Zufahrt zum Hafenbecken nicht gewährleistet. Die Hafeneinfahrt wurde deshalb beiderseits von Molen eingefasst, die bis zu einer Wassertiefe in See hinausgeführt wurden, die der geplanten Wassertiefe im Hafen gleicht (vgl. Abb. 3).

Die Nehrung vor der Schlei ist im Laufe der Zeiten von Süden nach Norden vorgewachsen. Auch andere Untersuchungen der vor der Küste festgestellten, durch die Brandung hervorgerufenen Sandverfrachtung weisen darauf hin, daß auch gegenwärtig noch ein überwiegend von Süd nach Nord gerichteter Sandtransport stattfindet.

Um zu verhindern, daß sich der Sand mit der Zeit so weit an der Südmole des Hafens sammelt, bis eine Versandung der Hafeneinfahrt eintritt, wurde ausgehend von der Südmole ein küstenparalleler Steindamm entworfen, dessen Länge und Entfernung von der Strandlinie nach der vorher geschilderten Theorie bestimmt wurde. Die Verbindung der Südmole mit diesem Wellenbrecher stellt eine Sichelbuhne dar, der lediglich – aus wirtschaftlichen Gründen – der vorher erwähnte Bogen fehlt.

Dieser Bau der Sichelbuhne wurde seinerzeit von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, unter deren Regie er ausgeführt wurde, als ein Modellversuch im natürlichen Maßstab einer funktionell neuartigen Anlage betrachtet und ihre Funktion durch laufende Beobachtung nachgeprüft.

Mit dem Bau wurde im Herbst 1961 begonnen. In annähernd regelmäßigen, jährlichen Abständen wurden von Juli 1961 an Lotungen durchgeführt, um die Veränderungen der Morphologie des Strandes und der Brandungszone im Bereich der Sichelbuhne zu verfolgen. Diese trat etwa nach einem Jahr Bauzeit in volle Funktion, so daß sie bis heute insgesamt fast 10 Jahre gewirkt hat.

Gegen Ende September 1960 war der Landanschluß der Südmole so weit vollendet, daß sie den natürlichen Sandtransport nach Norden vollständig unterband. Es bildeten sich nunmehr Ablagerungen an der Südflanke der Mole (Abb. 4). Dieser Bau-Zustand dauerte etwa ein Jahr bis zum Beginn des Baues der Sichelbuhne und in gewissem Sinne auch weiter, bis dieser Bau vollendet war.

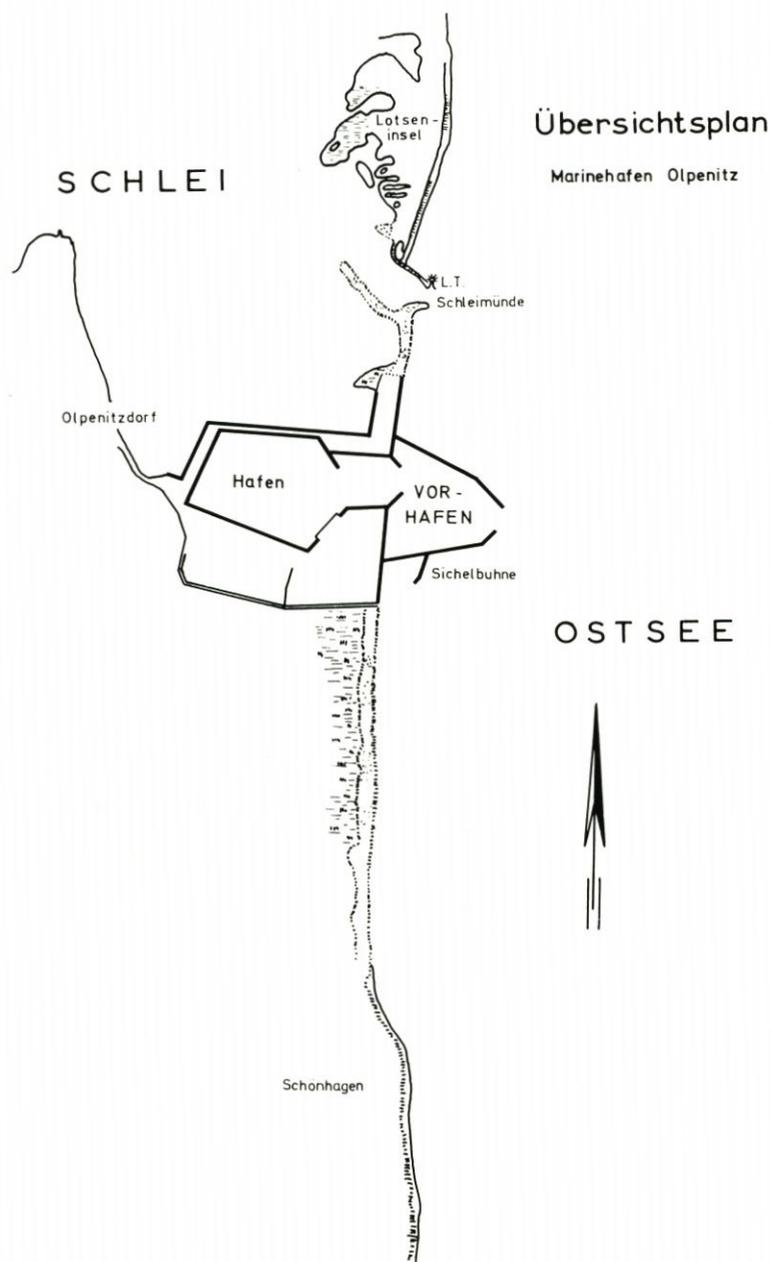


Abb. 3

In dieser Zeit wurde der Boden etwa bis zum Knick der Südmole, dort um 0,1 bis 0,5 m und weiter landwärts bis zu 2,8 m, aufgehöhht.

Nach Vollendung des küstenparallelen Schenkels jedoch kehrte sich die Entwicklung um. Hinter der Sichelbühne begann sich der Sand so umzulagern, daß aus der dreieckförmigen An-sandung im Molenwinkel eine breitere Strandform entstand, die der ursprünglichen Strandlinie

SICHELBUHNE OLPENITZ (Schlei)

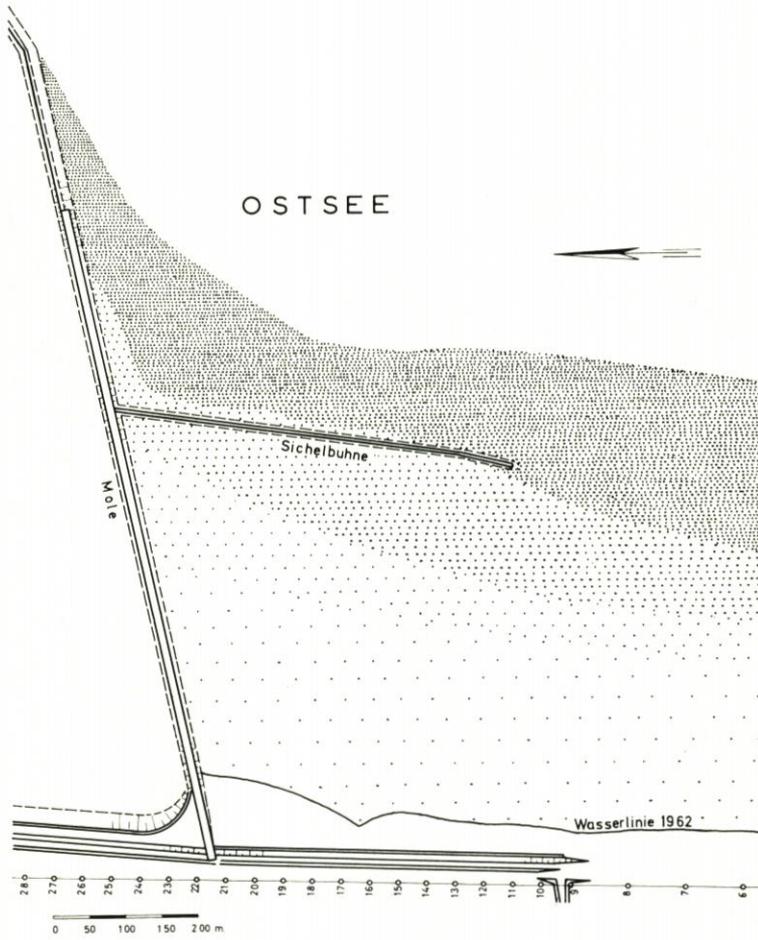


Abb. 4. Ansandung an der Südmole vor dem Bau bzw. Vollendung der Sichelbuhne

in einem flacheren Winkel nahezu folgte. Die außerhalb der Buhne vorher abgelagerten Sandmassen verschwanden im Laufe von acht Jahren vollständig.

Verzögert wurde die erwartete Strandentwicklung dadurch, daß die dem Entwurf zugrunde gelegte, als bisher überwiegend festgestellte Windrichtung aus SO (17 v. H. gegenüber 4 v. H. aus O und 10 v. H. aus NO) vom Zeitpunkt der Vollendung der Sichelbuhne an nicht mehr überwiegend war. Die Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der prozentualen Verteilung der Windrichtungen aus dem östlichen Sektor. Danach begann sich erst im Jahre 1965 das ursprüngliche Verhältnis zwischen NO- und SO-Wind wieder einzustellen, wenn auch zunächst nur mit sehr geringen Häufigkeiten aller Ostwinde überhaupt. Erst 1968 ist die anfängliche, dem Entwurf zugrunde gelegte und über mehrere Jahrzehnte festgestellte Häufigkeitsverteilung wieder annähernd erreicht.

Die Folge davon war, daß der Sandtransport von S nach N anfänglich nicht in dem er-

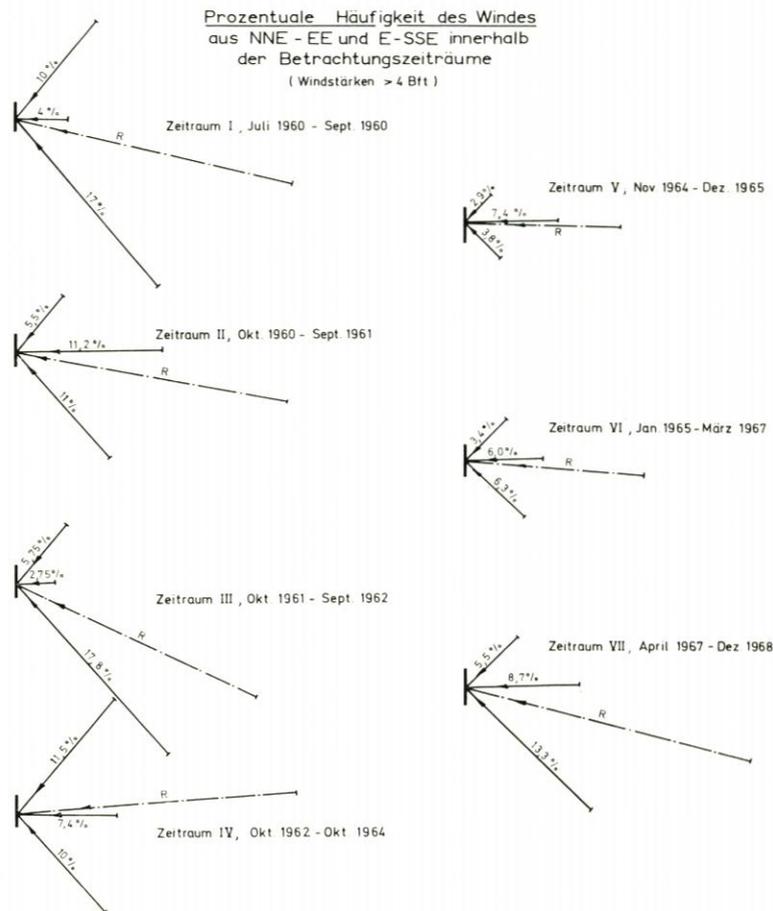


Abb. 5. Entwicklung der prozentualen Verteilung der Windrichtungen aus dem östlichen Sektor

warteten Ausmaß stattfand. Es wurde sogar bis zum Jahre 1966 südlich der Sichelbuhne eine geringe Lee-Erosion an der Küste festgestellt.

Die jährlichen Lotungen und Vermessungen sind regelmäßig in Tiefenkarten aufgetragen und diese mit Hilfe von Tiefenveränderungskarten miteinander verglichen worden. Aus verständlichen Gründen mußte auf die Veröffentlichung dieser Pläne verzichtet werden.

Als wesentliche Ergebnisse der Lotungen ist jedoch mit Bezug auf die Funktion der Sichelbuhne folgendes festzustellen:

Zunächst wurde zu einer Zeit, da die südliche Hafentmole an das Land angeschlossen, der Bau der Sichelbuhne (besser ihr küstenparalleler Schenkel) noch nicht begonnen war, bei vorherrschenden SO-Winden (Zeitraum II - vgl. Abb. 5) eine starke Sandanreicherung - wie oben bereits erwähnt - im Süden der Hafentmole festgestellt.

Die Lotung 1963 (innerhalb des Zeitraumes IV) zeigte, ebenso wie der vorangegangene von 1962 - kurz vor Vollendung der Sichelbuhne - sehr unruhige Tiefenlinien. Während sich indessen - nunmehr nach einjähriger Funktion der vollendeten Sichelbuhne - die Tiefenlinien innerhalb des Bühnenfeldes ebenso wie die Strandlinie seewärts verlagert haben, rücken sie außerhalb des Bühnenfeldes sowohl in Strandnähe als auch in Strandferne auf die Küste zu. Ver-

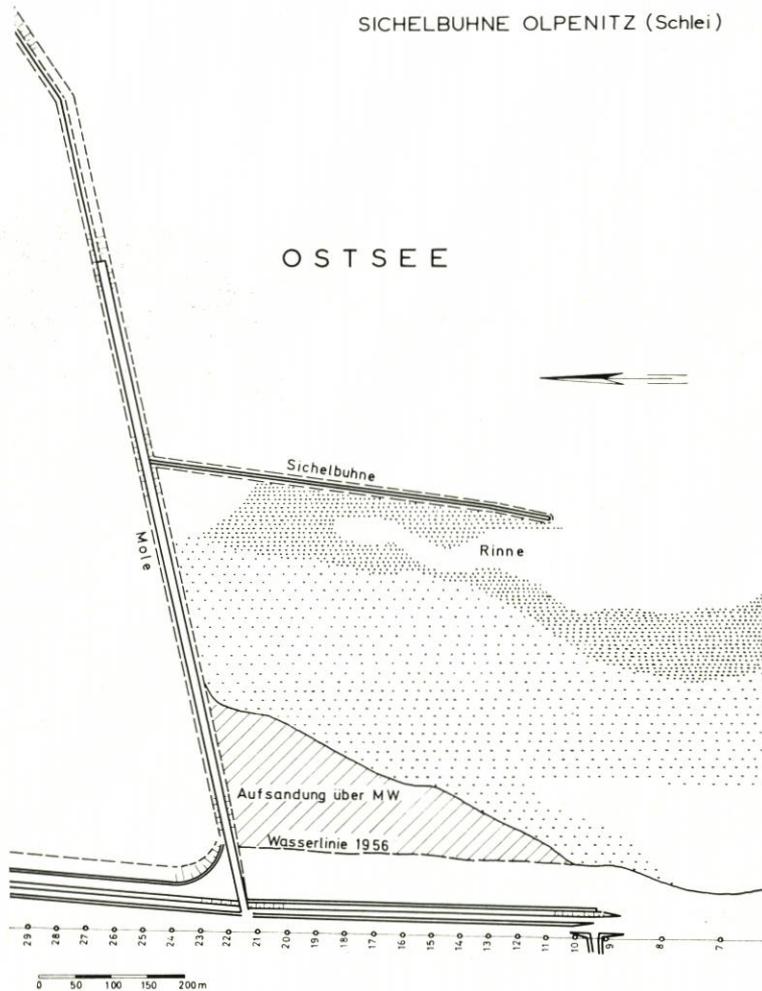


Abb. 6. Aufsandung 8 Jahre nach Vollendung der Sichelbuhne

gegenwärtigt man sich die Tatsache, daß während dieses Zeitraumes die Winde aus dem nord-östlichen Sektor überwiegen, so ergibt sich zwangslos die Erklärung für diese Erscheinung. Die Aufsandungen sind in diesem Zeitraum also im wesentlichen auf den Bereich des Buhnenfeldes beschränkt.

Im Lotungsergebnis von 1964 zeigte sich deutlich eine gewisse „Ordnung“ der Tiefenlinien innerhalb des Buhnenfeldes. Die Strandlinie ist nun erheblich nach See zu verlagert und der Unterwasserstrand unmittelbar davor stark und gleichmäßig ausgeflacht. Deutlich zeichnete sich jetzt auch eine Rinne ab, die dicht hinter dem strandparallelen Buhnenschenkel mit 3,5 bis 4,0 m Tiefe (der ursprünglichen) erhalten blieb.

Die Lotung von 1968 zeigte schließlich, daß außerhalb des Buhnenfeldes die Tiefenlinien wieder die Lage erreicht haben, wie sie vor dem Hafenumbau bestand. Die Lee-Erosion an der Küste im Süden ist wieder voll ausgeglichen, die Rinne von 4,0 m Tiefe hinter der Sichelbuhne hat sich gehalten, während im übrigen sowohl im Innern des Buhnenfeldes als auch süd-

lich in Strandnähe weitere flächenartige Aufsandungen erfolgten. Dabei hat sich die Aufsandung am Rande der obenerwähnten Rinne mit steilerer Böschung eingestellt (vgl. Skizze Abb. 6).

Die wesentlichste Erfahrung aus diesem Versuch in der Praxis ist die, daß sich der Sand, der von Süd nach Nord antransportiert wurde, bisher ausschließlich im Bereich der Sichelbuhne gesammelt und die Rinne hinter der Buhne – wie bei den theoretischen Überlegungen gefolgert

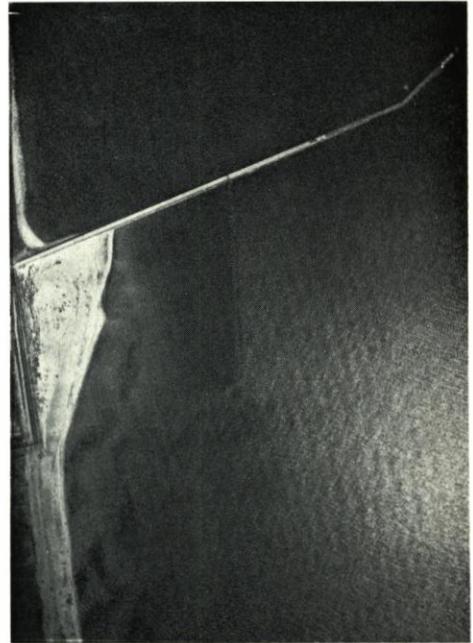


Abb. 7.
Luftaufnahme vom 24. 8. 1970. (Die Aufnahme wurde von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel im Einvernehmen mit der Mar. Div. Kiel zur Verfügung gestellt)

wurde – sich im Verlauf von nahezu 8 Jahren in ursprünglicher Wassertiefe gehalten hat. Letzteres dürfte der Beweis dafür sein, daß das mit den auf den Strand auflaufenden Wellen mitgeführte Wasser, das normalerweise als Unterströmung oder Rippströmung vom Strand wieder abfließt, hier hinter dem strandparallelen Schenkel der Sichelbuhne in einer Rinne abläuft, die der Brandungsströmung entgegengesetzt ist und die vollständige Aufsandung des Bühnenfeldes verhindert.

Ein anschauliches Bild von der Situation liefert eine photographische Luftaufnahme vom 24. 8. 1970 (Abb. 7), die annähernd 8 Jahre nach der Vollendung der Sichelbuhne gemacht wurde. Aus dieser ist die Ansandung hinter der Buhne und der aus SO anlaufende Seegang, der hinter der Buhne beruhigt ist, zu sehen. Auch die unruhige Sandkonfiguration in Strandnähe südlich des Bühnenfeldes wird deutlich. Der unregelmäßige Aufbau der Strandriffe deutet auf Verlandung hin. Der spitze Winkel zwischen der südlichen Hafentmole und dem küstenparallelen Schenkel der Buhne ist allerdings, wie vorauszusehen war, nicht mit Sand gefüllt und wird auch nicht gefüllt werden.

Eine weitere Anwendung

Auf Grund dieser als durchaus aussichtsreich zu bezeichnenden Entwicklung der Strandmorphologie hat Verfasser im Auftrage der Intergrund Bau- und Planungsgesellschaft m. b. H.

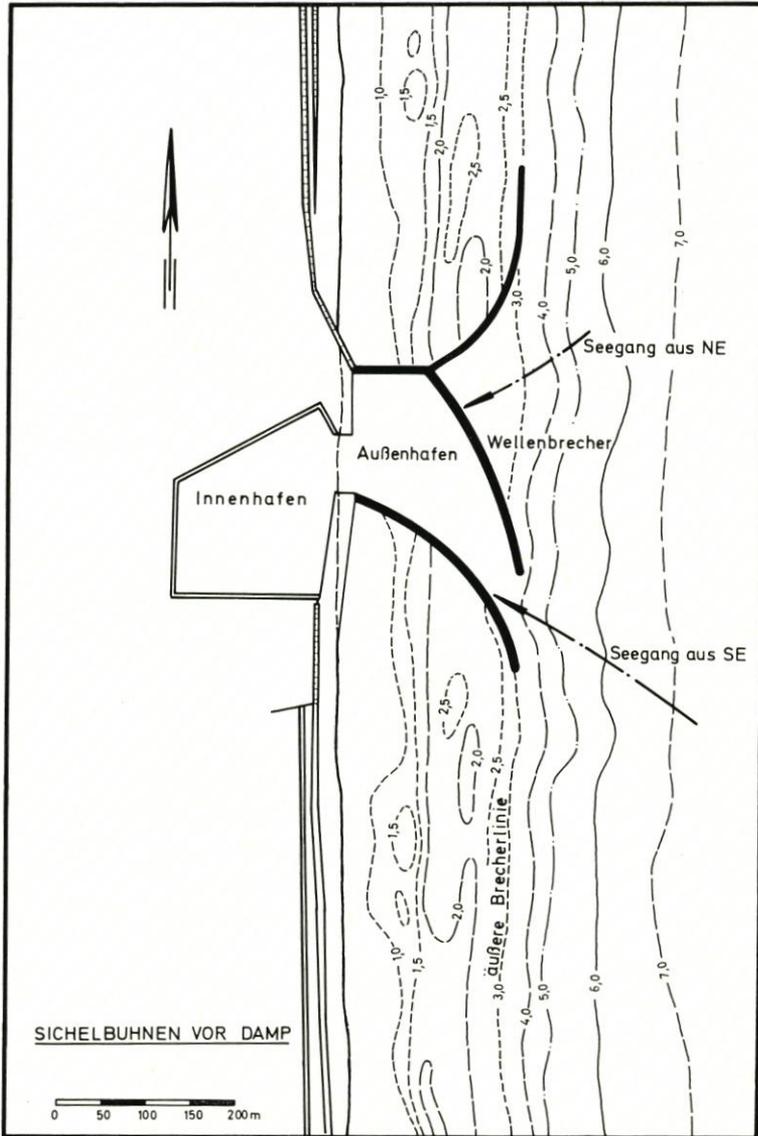


Abb. 8. Sichelbuhnen vor Damp/Ostsee

für einen Sportboothafen an der gleichen Küste nördlich der Eckernförder Bucht eine Einfahrt entworfen, die sowohl den Zweck hat, die Hafeneinfahrt vor Versandung zu schützen als auch nördlich und südlich derselben breitere Badestrände für das zu dem Hafen gehörende moderne Feriencentrum Damp zu schaffen. Die Gesamtanlage ist in Abbildung 8 dargestellt und zeigt sowohl nördlich als südlich der inneren Hafeneinfahrt Sichelbuhnen, die durch einen quer zu den anlaufenden Wellen verlaufenden Wellenbrecher verbunden sind, der den Hafen vor Seegang schützen soll. Die Anlage ist noch jung, landseitig noch im Bau, so daß sich über den Erfolg noch nichts sagen läßt. Immerhin zeigen sich aber auch hier bereits auf beiden Seiten inner-

halb der Sichelbuhnenfelder Ansandungen – zunächst nur unter dem mittleren Wasserspiegel – die eine ähnliche Entwicklung wie vor Olpenitz andeuten.

Schlußfolgerung

Die Sichelbuhne stellt nach dem Modellversuch und nach den Erfahrungen vor Olpenitz eine Maßnahme dar, die nicht nur der Versandung von Hafeneinfahrten oder von Einfahrten in Flußmündungen und Haffs entgegenzuwirken geeignet ist, sondern auch am Ende jeder physiographischen Einheit des küstenparallelen Sandtransports Strandverbreiterungen von dauernder Lagebeständigkeit zu gewährleisten verspricht.

Schrifttumsverzeichnis

1. Beach Erosion Board Washington: Special Issue Nr. 2, Shore Protection, Planning and Design, 1953.
2. BRUUN, P.: Materialvandring på Havkyster, Ingeniøren 60, H. 10, 1951.
3. GEIB, K. W.: Meeresbiologische Untersuchungen im Bereich der ostpommerschen Küste usw. Geol. d. Meere u. Binnengewässer Bd. 7, H. 1.
4. KIRSCHMER, O.: Die Theorie der Meereswellen als Grundlage von Modellversuchen für Seebauten, MAN-Forschungsheft 1952, 2. Halbjahr.
5. MAGENS, CL., WYRTKI, KL., und RODEN, G.: Die Brandungswirkungen an den Küsten Fehmarns und Wagriens, Teilber. 2, Abschn. III über die meereskundlichen Untersuchungen im Raum Fehmarn-Wagriens usw. 1954 unveröffentlicht (Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel).
6. MAGENS, CL.: Brandungsuntersuchungen an den Küsten von Fehmarn und Nordwagrien, „Die Küste“ Jg. 6, H. 1 (1957), S. 40–63.
7. MAGENS, CL.: Seegang und Brandung als Grundlage für Planung und Entwurf im Seebau und Küstenschutz. Mitt. d. Hann. Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau, Franzius-Institut, H. 14, 1958.
8. MARTENS, P.: Morphologie der schleswig-holsteinischen Ostseeküste (Diss.). Ferd. Hirt, Breslau 1927.
9. MASON, M. A.: The Transformation of Waves in Shallow Water. Proc. of the first Conference on Coastal Engineering, 1950.
10. MINIKIN, R. R.: Coast Erosion. An enquiry into causes and remedies, Dock a. Harbour Auth. 30, 1950.
11. MORISON, J. R.: The Effect of Wave Steepness and Wave Velocity. Trans. Am. Geophys. Union 1951.
12. MUNK, W. H.: Rules for Constructing Wave Refraction Diagram. BEB, Techn. Rep. Nr. 2, 1942.
13. MUNK, W. H.: Refraction of Ocean Waves. Scripps Inst. of Oceanography, Contrib. 307, 1947.
14. MUNK, W. H.: The Solitary Wave Theorie and its Application to Surf Problems. Ann. New York Ac. Sci., Vol. 51, 1949.
15. PUTNAM, I. A., MUNK, W. H., und TRAYLER, M. A.: The Prediction of Longshore. Currents, Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 30, 1949.
16. SHEPARD, F. P., und INMANN, D. L.: Nearshore Water Circulation related to Bottom Topography and Wave Refraction, Trans. Am. Geophys. Union, Bd. 31, 1950.
17. SVERDRUP, H. U., und MUNK, W. H.: Wind, Sea, and Swell, Theory of Relations. Scripps Inst. of Oceanography, Bull. 1947.
18. WEIDEMANN, H., DIETRICH, G., und HANSEN, W.: Teilberichte Nr. 9, 10 bzw. 11 über die Untersuchungen am Brodtener Ufer. Unveröffentlicht (Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel) 1951.
19. WIEGEL, R. L., und JOHNSON, I. W.: Elements of Wave Theorie, Proc. of the First Conf. on Coastal Engineering, 1950.