

Handbibliothek für Bauingenieure

Ein Hand- und Nachschlagebuch für Studium und Praxis

Herausgegeben von

Robert Otzen

Gehelmer Regierungsrat,
Professor an der Technischen Hochschule zu Hannover

- I. Teil: Hilfswissenschaften 4 Bände
- II. Teil: Eisenbahnwesen 9 Bände
- III. Teil: Wasserbau 7 Bände
- IV. Teil: Brücken- und Ingenieur-Hochbau . 4 Bände

Inhaltsverzeichnis.

I. Teil: Hilfswissenschaften.

- 1. Band: Angewandte Mathematik. Von Prof. E. H. Timerding, Braunschweig.
- 2. Band: Mechanik. Von Dr.-Ing. Fritz Rabbow, Hannover.
- 3. Band: Maschinenkunde. Von Prof. H. Weihe, Berlin-Lankwitz.
- 4. Band: Vermessungskunde. Von Prof. Dr. Martin Näbauer, Karlsruhe.

II. Teil: Eisenbahnwesen.

- 1. Band: Städtebau. Von Prof. Dr.-Ing. Otto Blum, Hannover, Prof. G. Schimpff †, Aachen, und Stadtbauinspektor Dr.-Ing. W. Schmidt, Stettin.
- 2. Band: Linienführung und allgemeine Bahnanlage. Von Prof. Dr.-Ing. E. Giese, Charlottenburg und Regierungsbaumeister Dr.-Ing. Fritz Gerstenberg, Berlin.
- 3. Band: Unterbau. Von Prof. W. Hoyer, Hannover.
- 4. Band: Oberbau und Gleisverbindungen. Von Regierungs- und Baurat Bloss, Dresden.
- 5. Band: Bahnhöfe. Von Regierungsbaumeister Dr.-Ing. Gaede, Wilmersdorf, Prof. Dr.-Ing. Ammann, Karlsruhe, und Regierungs- und Baurat a. D. v. Glinski, Chemnitz.
- 6. Band: Eisenbahn-Hochbauten. Von Regierungs- und Baurat Cornelius, Berlin.
- 7. Band: Sicherungsanlagen. Von Geh. Baurat Prof. Dr.-Ing. W. Cauer, Berlin; mit einem Anhang „Fernmeldeanlagen und Schranken“ von Regierungsbaumeister Dr.-Ing. Fritz Gerstenberg, Berlin.
- 8. Band: Eisenbahnbetrieb und Tarifwesen. Von Regierungs- und Baurat Dr.-Ing. Jacobi, Erfurt und Geh. Regierungsrat Dr. Quaatz, Essen.
- 9. Band: Eisenbahnen besonderer Art. Von Prof. Dr.-Ing. Ammann, Karlsruhe und Regierungsbaumeister H. Nordmann, Steglitz.

III. Teil: Wasserbau.

- 1. Band: Grundbau. Von Regierungsbaumeister a. D. O. Richter, Frankfurt a. M.
- 2. Band: See- und Seehafenbau. Von Regierungs- und Baurat H. Proetei, Magdeburg.
- 3. Band: Flußbau. Von Regierungs- und Baurat Dr.-Ing. H. Krey, Charlottenburg.
- 4. Band: Kanal- und Schleusenbau. Von Regierungs- und Baurat Engelhard, Oppeln.
- 5. Band: Wasserversorgung und Kanalisation. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr.-Ing. J. Brix, Charlottenburg.
- 6. Band: Wasserkraftanlagen. Von Priv.-Doz. Dr.-Ing. Adolf Ludin, Karlsruhe.
- 7. Band: Kulturtechnischer Wasserbau. Von Geh. Reg.-Rat Prof. E. Krüger, Berlin.

IV. Teil: Brücken- und Ingenieurhochbau.

- 1. Band: Statik. Von Priv.-Doz. Dr.-Ing. Walther Kaufmann, Hannover.
- 2. Band: Holzbau. Von N. N.
- 3. Band: Massivbau. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Robert Otzen, Hannover.
- 4. Band: Eisenbau. Von Prof. Martin Grüning, Hannover.

Handbibliothek für Bauingenieure

Ein Hand- und Nachschlagebuch
für Studium und Praxis

Herausgegeben

von

Robert Otzen

Geh. Regierungsrat, Professor an der Technischen Hochschule
zu Hannover

III. Teil. Wasserbau. 2. Band:

See- und Seehafenbau

von

H. Proetel



Berlin

Verlag von Julius Springer

1921

See- und Seehafenbau

Von

H. Proetel

Regierungs- und Baurat in Magdeburg

Mit 292 Textabbildungen



Berlin

Verlag von Julius Springer

1921

ISBN 978-3-642-98309-2
DOI 10.1007/978-3-642-99121-9

ISBN 978-3-642-99121-9 (eBook)

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1921 by Julius Springer in Berlin.

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1921

Vorwort.

Als die Bearbeitung des vorliegenden Bandes „See- und Seehafenbau“ auf Einladung des Herrn Herausgebers im Spätherbst 1912 begonnen wurde, stand das deutsche Wirtschaftsleben auf stolzer Höhe. Unsere Seeschifffahrt und unser Seehandel befanden sich in besonders schneller Fortentwicklung, und es schien, als ob sie in nicht ferner Zukunft die erste Stelle in der Welt erreichen sollten.

Im Sommer 1914 war der vorliegende Band nahezu fertiggestellt, als der Ausbruch des Krieges die weitere Bearbeitung und die Herausgabe auf lange Zeit unterbrach. Nachdem jetzt das Werk vollendet werden konnte, ist die Wirtschaftslage Deutschlands völlig geändert. Sein Seehandel ist vernichtet, seine Seehäfen liegen verödet da. Aber der deutsche Erfindungs- und Unternehmungsgeist, der jene Einrichtungen unserer Häfen geschaffen hat, die den besten anderer Völker nicht nachstehen, der ist uns geblieben, und wir vertrauen, daß er berufen ist, uns das Meer und den Seehandel in zäher Arbeit wieder zu erschließen und die verlorene Stellung unter den Völkern wieder zu erkämpfen.

Möge das vorliegende Werk dazu beitragen, die Errungenschaften der deutschen Technik auf dem Gebiete des See- und Seehafenbaues festzuhalten und den Wiederaufbau unseres Vaterlandes zu fördern.

Bei der Darstellung des Stoffes war der Unterzeichnete bemüht, das ganze Gebiet des See- und Seehafenbaues zwar in knapper Form, jedoch vollständig und für jeden technisch Vorgebildeten verständlich zu beschreiben. Der Umfang des Bandes war jedoch durch den zugewiesenen Raum begrenzt, deshalb konnten Einzelheiten nur kurz behandelt werden. Durch strenge Gliederung des Stoffes soll die Übersicht erleichtert werden. Auf ausgeführte Anlagen ist bei jeder Gelegenheit Bezug genommen. Außer deutschen Einrichtungen sind auch solche ausländische beschrieben worden, die entweder für ihre Art besonders kennzeichnend sind und für die entsprechende deutsche Beispiele fehlen, oder die von solcher Bedeutung sind, daß sie dem Seebauer bekannt sein müssen. Bei einer großen Zahl von Gegenständen des Fachgebietes konnte der Verfasser sich auf eigene Erfahrungen stützen, die er in zehnjähriger Tätigkeit im Seebau gesammelt hat.

Von zahlreichen Seiten ist der Unterzeichnete durch Zuwendung von Material, insbesondere von Abbildungen neuerer Bauausführungen, unterstützt worden, hauptsächlich aus Kreisen der Industrie und des Unternehmertums. In den Fußnoten ist hierauf vielfach Bezug genommen worden. Allen Förderern sei hiermit bestens gedankt.

Magdeburg, im Mai 1921.

H. Proetel.

Inhaltsverzeichnis.

Erstes Kapitel.

Das Meer.

	Seite
1. Abschnitt. Ausdehnung und Gliederung	1
A. Verteilung von Land und Wasser	1
B. Einteilung der Meere	3
C. Tiefe, Flächengröße und Rauminhalt der wichtigsten Meerbecken	3
D. Messungen an der See	4
1. Längenmessungen	4
2. Tiefenmessungen	6
3. Wasserstandsbeobachtungen	8
2. Abschnitt. Das Meerwasser	11
A. Physikalische und chemische Eigenschaften	11
B. Einwirkung auf die Baustoffe	14
C. Schädliche Organismen	15
3. Abschnitt. Der Wind	16
A. Entstehung und Verbreitung des Windes	16
B. Windstau und Sturmfluten	22
4. Abschnitt. Wellenbewegung	23
A. Ursache und Gestalt der Wellen	23
B. Theoretisches über die Wellenbewegung	25
C. Wirkungen der Meereswellen	28
5. Abschnitt. Tidebewegung	31
A. Allgemeines	31
B. Die mathematische Ursache der Tidebewegung	32
C. Tatsächliche Tideerscheinungen	36
6. Abschnitt. Meeresströmungen	38
A. Entstehung der Strömungen	38
B. Verhalten der Strömungen an Hindernissen	40

Zweites Kapitel.

Die Küsten.

7. Abschnitt. Einwirkung des Meeres auf die Küsten	41
A. Umbildung der Ufer	41
B. Strandwall-, Haken- und Nehrungsbildung	43
C. Verlandungen an Schlickküsten	45
8. Abschnitt. Dünenbau	46
A. Entstehung und Eigenschaften der Dünen	46
B. Künstliche Regelung der Sandablagerung und Befestigung der Dünen	47
C. Aufforstung der Dünen	49
9. Abschnitt. Uferschutzwerke	51
A. Allgemeines	51
B. Deckwerke	51
1. Liegende Werke	51
2. Stehende Werke	57
C. Strandbuhnen	59
D. Strombuhnen	63

	Seite
10. Abschnitt. Seedeiche	65
A. Einteilung	65
B. Anordnung und Ausführung	65
C. Deichverteidigung	67
D. Deichsiele	68
1. Anordnung der Entwässerungsanlagen	68
2. Berechnung der Sielweite	71

Drittes Kapitel.

Strommündungen.

11. Abschnitt. Natürliche Ausbildung der Strommündungen	74
A. Abflußverhältnisse	74
B. Abführung der Sinkstoffe; Barren- und Inselbildung	76
12. Abschnitt. Verbesserung der Mündungen bei schwachem Flutwechsel	78
A. Maßnahmen zur Verbesserung der Vorflut und des Eisabganges	78
B. Maßnahmen zur Verbesserung der Fahrtiefen	80
13. Abschnitt. Verbesserung der Mündungen bei starkem Flutwechsel	81
A. Die Grundsätze des Ausbaues im Tidegebiet	81
B. Ermittlung der Abflußverhältnisse	82
C. Bestimmung der neuen Stromquerschnitte	85
14. Abschnitt. Beispiele ausgebauter Strommündungen	87
A. An Meeren mit schwachem Flutwechsel	87
1. Die Weichsel	87
2. Die Donau	89
3. Der Mississippi	90
B. An Meeren mit starkem Flutwechsel	91
1. Der Clyde	91
2. Die Weser	92
3. Die Seine	94

Viertes Kapitel.

Seeschifffahrt.

15. Abschnitt. Schifffahrtsbetrieb	95
A. Entwicklung der Seeschifffahrt	95
1. Geschichtliches	95
2. Steigerung der Größe und des Tiefganges von Seeschiffen in neuerer Zeit	97
B. Grundzüge der Nautik	99
1. Hilfsmittel zum Zurechtfinden auf See	99
2. Die Orts- und Kursbestimmung	102
C. Vermessung der Seeschiffe	107
D. Signalwesen	108
1. Verständigung auf See	108
2. Zeichen zur Verhütung von Unglücksfällen	108
16. Abschnitt. Die Seezeichen	109
A. Allgemeines	109
B. Tagzeichen	110
1. Arten und Anwendung der Tagzeichen	110
2. Technische Ausführung der Tagzeichen	111
C. Leuchtfeuer	112
1. Arten und Anwendung der Leuchtfeuer	112
2. Unterbauten	115
3. Lichtquellen	116
4. Leuchten	119
5. Kennungsvorrichtungen	124
6. Leuchttonnen	128
7. Feuerschiffe	129
D. Nebelsignale	131
1. Luftschallsignale	131
2. Unterwasserschallsignale	133
3. Funkennebelsignale	134

Fünftes Kapitel.

Seehäfen.

	Seite
17. Abschnitt. Allgemeine Anordnung der Häfen	135
A. Arten von Häfen	135
B. Die Außenwerke	137
C. Die Hafenbecken	140
1. Die Reede	140
2. Vorbecken	141
3. Die inneren Hafenbecken	142
D. Besondere Erfordernisse für den Personenverkehr	145
18. Abschnitt. Ausstattung der Häfen	145
A. Allgemeine Ausrüstung der Kaiflächen	145
B. Schuppen	147
C. Speicher	148
1. Bodenspeicher	148
2. Silospeicher	149
D. Krane	150
E. Lös-, Lade- und Fördervorrichtungen für Massengüter	153
1. Kohlenverladung	153
2. Entladevorrichtungen für Kohle und Erz	156
3. Aus- und Einladen von Getreide	157
19. Abschnitt. Hafendämme	161
A. Allgemeines	161
B. Hafendämme aus Erde, Busch oder Holz in Verbindung mit Steinpackung	162
C. Geböschte Hafendämme aus Steinschüttung	164
D. Steile Hafendämme aus gepackten Blöcken	166
E. Hafendämme aus Beton oder Mauerwerk	167
20. Abschnitt. Kaieinfassungen	168
A. Anlegebrücken	168
B. Bollwerke	168
C. Kaimauern	169
D. Festmachevorrichtungen	171
21. Abschnitt. Landevorrichtungen für besondere Zwecke	174
A. Landebühnen in verschiedener Höhe	174
B. Bewegliche Landebrücken	175
C. Seefähranlagen	177
22. Abschnitt. Seeschleusen	180
A. Schleusenkörper	180
B. Verschlussvorrichtungen	184
C. Füllvorrichtungen	185
23. Abschnitt. Schiffbau- und Ausbesserungsanstalten	186
A. Hellinge	186
B. Aufschleppen	190
C. Trockendocks	191
D. Schwimmdocks	194
24. Abschnitt. Beispiele von Seehäfen	197
A. An offener See gelegene Häfen mit Wellenbrechern	197
1. Häfen an wenig veränderlichen Küsten	197
a) Saßnitz	197
b) Marseille	199
2. Häfen an veränderlichen Sandküsten	200
c) Ymuiden	200
d) Boulogne-sur-mer	202
e) Seebrügge	203
B. Seehäfen an Flußmündungen	203
f) Bremerhaven	203
g) Liverpool	205
C. Binnenland-Seehäfen	205
h) Hamburg	205

Sechstes Kapitel.

Seekanäle.

	Seite
25. Abschnitt. Anordnung der Seekanäle	206
A. Allgemeines	206
B. Linienführung und Querschnitte	206
C. Brücken und Fähren	208
26. Abschnitt. Ausführungsformen mit Beispielen	209
A. Offene Seekanäle	209
a) Der Suezkanal	209
b) Der Königsberger Seekanal	210
B. Seekanäle mit Endverschlüssen	210
c) Der Kaiser Wilhelm-Kanal	211
d) Der Amsterdamer Seekanal	212
C. Seekanäle mit Haltungen in verschiedener Höhe	212
1. Vorzüge und Nachteile	212
2. Beispiele	212
e) Der Panamakanal	212
f) Der Manchester-Seekanal	214
Literatur-Verzeichnis	216
Sachverzeichnis	218

Erstes Kapitel.

Das Meer.

1. Abschnitt. Ausdehnung und Gliederung.

A. Verteilung von Land und Wasser.

Das den Erdball umspannende Weltmeer wird durch die Landmassen der Kontinente in drei große Teilbecken geschieden, nämlich den Großen, den Atlantischen und den Indischen Ozean (Abb. 1). Die beiden Eismeere sind ihrer Umgrenzung nach keine selbständige Weltmeerbecken, denn das nördliche ist dem Atlantischen Ozean, das südliche allen drei Ozeanen zuzurechnen; letzteres ist übrigens in dem früher angenommenen Umfange nicht vorhanden, sondern neuere Forschungen haben ergeben, daß es größtenteils von dem antarktischen Kontinent ausgefüllt wird.

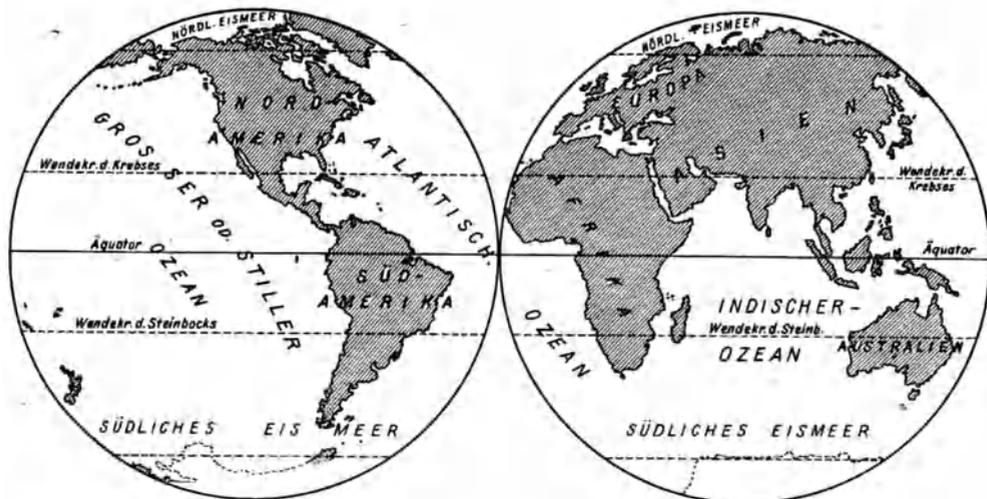


Abb. 1. Verteilung von Land und Wasser.

Nach Krümmel¹⁾ beträgt die gesamte Oberfläche aller Meere 361,3 Millionen Quadratkilometer, diejenige aller Länder 148,8 Millionen Quadratkilometer, mithin verhält sich die Meeresfläche zur Landfläche wie 71:29, d' h. die Erdoberfläche wird zu fast drei Vierteln von Wasser und nur zu wenig mehr als einem Viertel von Land eingenommen.

Die Sohle der Meere zeigt eine ähnliche unebene Gestaltung wie die Oberfläche der Länder, jedoch sind die Wechsel der Höhenlage im allgemeinen weniger

¹⁾ O. Krümmel, Handbuch der Ozeanographie.

schroff; die unterseeischen Gebirge sind also meistens flacher als diejenigen der Länder, nur an vereinzelt Stellen sind scharfe Grate und Kegel, meist vulkanischen Ursprunges, festgestellt worden. Die größten bisher gemessenen Meerestiefen sind im Großen Ozean 9636 m, im Atlantischen Ozean 7370 m, im Indischen Ozean 5358 m; sie übertreffen also die Erhebungen der höchsten Berge (Gaurisankar 8840 m, Aconcagua 6970 m, Kilimandscharo 5700 m).

Die mittlere Tiefe des gesamten Weltmeeres beträgt nach Krümmel 3681 m, die mittlere Höhe aller Länder dagegen nur 700 m über dem Meeresspiegel. Betrachtet man letzteren als normale Oberfläche des Erdellipsoids, so liegen darunter 1330 Millionen Kubikkilometer Wasser, darüber nur 104,2 Millionen Kubikkilometer Land. Das überstehende Land könnte also 13 mal in das Meer versenkt werden. Wären Land und Wasser völlig gleichmäßig verteilt, so würde die ganze Erde von einem durchweg 2400 m tiefen Ozean bedeckt sein!

Der Meeresspiegel ist nirgends festliegend. Zur Kennzeichnung der Wasserstandsbedingungen an einem Ort werden an tidelosen Meeren angegeben:

- der höchste bekannte Wasserstand, abgekürzt H. W.;
- das Mittelwasser, nämlich das arithmetische Mittel aller in einem großen Zeitraum beobachteten Wasserstände, abgekürzt M. W.;
- der gewöhnliche Wasserstand, der an ebensoviel Tagen über- wie unterschritten wird, abgekürzt G. W.;
- der niedrigste bekannte Wasserstand, abgekürzt N. W.

An Meeren mit Tidebewegung unterscheidet man:

- höchstes Hochwasser, abgekürzt H. H. W.;
- mittleres Hochwasser, nämlich das arithmetische Mittel aller täglich zweimal eintretenden Hochwasserstände, abgekürzt M. H. W.;

ebenso:

- mittleres Niedrigwasser, abgekürzt M. N. W.;
- niedrigstes Niedrigwasser, abgekürzt N. N. W.

Das Mittelwasser hat im Tidegebiet keine praktische Bedeutung, dagegen wird es neuerdings für wissenschaftliche Zwecke häufiger untersucht; man findet es, indem man die Flächen der Flutkurven (vgl. S. 32) planimetriert und in Rechtecke verwandelt.

Diejenige gedachte Fläche, welche alle in der Mittelwasserhöhe gelegenen Punkte verbindet, ist die ideelle Meeresoberfläche; sie wird das Geoid genannt (Abb. 2). Dieses weicht von dem mathematischen Rotationsellipsoid, das bei



Abb. 2. Das Geoid.

völlig gleichartiger oder bei gleichmäßig geschichteter Masse der Erde nach den die Niveaufläche bestimmenden Gesetzen entstehen würde, ab, denn die ungleichmäßig ver-

teilte Dichte der Erde hat zur Folge, daß für die einzelnen Punkte die Mittelkräfte der Erdanziehungen nicht genau nach dem Erdmittelpunkte gerichtet sind. Die Massendichte des Landes, die je nach der geologischen Zusammensetzung verschieden ist, übertrifft im Mittel diejenige des Meeres, daher bewirken die Kontinente eine Erhebung der benachbarten Meeresränder und eine Abflachung der Meeresmiten. Aber auch die Dichte des Wassers zeigt in den einzelnen Meeresteilen gewisse durch Salzgehalt und Temperatur bedingte Ungleichheiten.

Die Abweichung des Geoids von dem Rotationsellipsoid ist nicht so erheblich, wie man früher annahm; die größten Abstände der beiden Flächen betragen nach neuern Berechnungen wahrscheinlich nicht mehr als 100 m.

Die Mittelwasserstände der an denselben Kontinent grenzenden Meere scheinen ziemlich gleiche Spiegelhöhe zu haben, denn man hat beispielsweise durch sorgfältige Feinnivellements gefunden, daß das Mittelwasser der Nordsee nur 15 cm über demjenigen des Adriatischen Meeres liegt.

B. Einteilung der Meere.

Im engeren Sinne nennt man Ozeane nur die großen, wenig gegliederten Becken zwischen den Kontinenten. Die von jenen durch Halbinseln und Inseln abgetrennten, aber noch auf größerer Länge mit ihnen in Verbindung stehenden Seitenbecken nennt man Randmeere. Beispiele von Randmeeren sind die Nordsee, das Karaimische Meer, das Beringsmeer, das Nord- und Südchinesische Meer usw. Diejenigen Meeresteile, die von Landmassen ganz umgeben sind und nur durch verhältnismäßig schmale Straßen mit dem Weltmeer in Verbindung stehen, nennt man Mittelmeere. Beispiele von solchen sind das Mittelländische Meer, die Ostsee, die Hudsonbai, das Rote Meer usw. Die mit dem Weltmeere gar nicht zusammenhängenden Binnenmeere, wie das Kaspische Meer und der Aralsee, sind, obwohl sie bei größerer Ausdehnung meerartige Eigenschaften haben können, den Binnenseen zuzuzählen.

Die Rand- und Mittelmeere sind von den eigentlichen Ozeanen merklich verschieden; sie haben meistens viel geringere Tiefe, andern Salzgehalt, andere Tier- und Pflanzenwelt, abweichende Wasserstandsschwankungen u. dergleichen.

Nach der Tiefenausdehnung unterscheidet man Strand, Flachsee und Tiefsee. Als Strand bezeichnet man am richtigsten die abwechselnd nassen und trockenen Flächen zwischen den durch den höchsten und den niedrigsten Wasserstand gebildeten Uferlinien. Die seichten, noch einem wadenden Menschen zugänglichen Wassertflächen in der Nähe des Ufers nennt man an der Ostsee die Schaar. Die weit ausgedehnten, bei Ebbe trocken fallenden Untiefen an der Nordsee heißen Watten, die darin liegenden, oft tiefen Wasserrinnen nennt man Priele.

Das Gebiet der Flachsee rechnet man bis zur 200 m-Tiefenlinie; alles übrige nennt man Tiefsee. Die Ostsee und die Nordsee gehören größtenteils zum Flachseegebiet, die eigentlichen Ozeane zum Tiefseegebiet.

C. Tiefe, Flächengröße und Rauminhalt der wichtigsten Meerbecken.

Nach Angaben von Krümmel läßt sich folgende Tafel über die Abmessungen der wichtigsten Meerbecken aufstellen.

Name	Mittlere Tiefe m	Oberfläche qkm	Inhalt cbkm
I. O z e a n e.			
Atlantischer Ozean	3858	81 657 800	314 821 680
Indischer Ozean	3929	73 441 960	288 527 610
Pazifischer Ozean	4097	165 715 490	678 837 190
I. Ozeane	3997	320 815 250	1 282 186 480
II. M i t t e l m e e r e.			
Nördliches Eismeer	1170	14 352 340	16 794 140
Australasiatisches Mittelmeer (Südchinesisches Meer bis Australien hin)	1089	8 125 060	8 848 110
Amerikanisches Mittelmeer (Golf von Mexiko und Karaimisches Meer)	2090	4 584 570	9 579 490
Das Mittelländische Meer	1431	2 967 570	4 249 020
Große Mittelmeere	1314	30 029 540	39 470 760

Name	Mittlere Tiefe m	Oberfläche qkm	Inhalt cbkm
II. Mittelmeere.			
Die Ostsee	55	406 720	22 360
Hudson Bai	128	1 222 610	156 690
Rotes Meer	488	458 480	223 810
Persischer Golf	25	232 850	5 910
Kleine Mittelmeere	176	2 320 660	408 770
II. Mittelmeere	1232	32 350 200	39 879 530
III. Randmeere.			
Beringsmeer	1444	2 274 800	3 286 230
Ochotskisches Meer	1270	1 507 610	1 895 100
Japanisches Meer	1530	1 043 820	1 597 040
Ostchinesisches Meer	177	1 242 480	219 820
Andamanisches Randmeer (Golf von Bengalen)	779	790 550	615 910
Kalifornisches Meer	987	166 790	164 590
Nordsee	94	571 910	53 730
Britisches Randmeer (Ärmelkanal u. Irische und Schottische Gewässer)	62	213 380	13 320
St. Lorenz-Golf	128	219 300	28 100
Tasmanisches Randmeer (Baß-Str.)	72	83 170	6 020
III. Randmeere	971	8 113 810	7 879 860
II. und III. Nebenmeere	1180	40 464 010	47 759 390
Das Weltmeer	3681	361 279 160	1 329 945 870

D. Messungen an der See.

1. Längenmessungen. Die für den Seefahrer äußerst wichtige Ortsbestimmung nach den geographischen Koordinaten, die einerseits mittels Kompaß und Log, andererseits aus der Stellung der Gestirne ermittelt werden, ist im 4. Kapitel, 15. Abschnitt, B, beschrieben. (S. 99 u. f.)

Bei der Vermessung kleinerer Seeflächen in der Nähe der Küste bestimmt man einzelne Punkte am einfachsten mittels festgelegter Richtlinien und durch direkte Längenmessung von einer Standlinie aus.

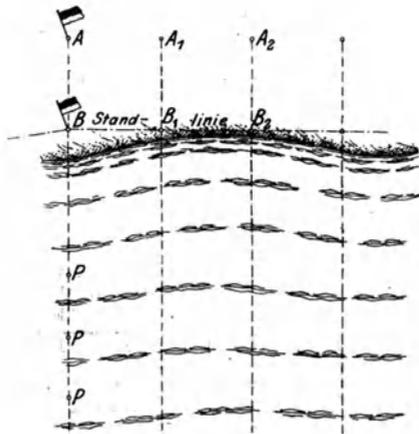


Abb. 3. Längenmessung mit Leine nach abgesteckten Richtlinien.

Man stellt gemäß Abb. 3 zwei gut sichtbare Stangen zunächst in den Punkten A und B auf, dann fährt man mit einem kleinen Fahrzeug in der durch Rückwärtseinvisieren nach den beiden Stangen gekennzeichneten Richtung entlang und mißt die Entfernung der Orte P von der Standlinie mittels einer in Längenabschnitte eingeteilten Leine, die im Punkte B befestigt wird. Alsdann stellt man die beiden Stangen in A₁ und B₁, ebenso in A₂ und B₂ usw. auf und fährt auch diese Richtlinien ab.

Nach diesem Verfahren werden meistens die Tiefenpläne von See- und Hafenflächen hergestellt. Gleichzeitig mit der Einmessung der Punkte P werden die an diesen vorhandenen Tiefen gemessen [„gepeilt“¹⁾] und die

¹⁾ Mit dem Ausdruck „Peilen“ bezeichnet der Seemann einerseits die Feststellung einer wagerechten Richtung vom Standorte des Beobachters nach einem entfernten Punkte, andererseits das Messen der Wassertiefe.

Ergebnisse werden dann in einen Lageplan eingetragen. In der Regel werden zwei Boote zum Peilen benutzt; das eine richtet die Leine ein und holt sie straff, indem es Anker auswirft, das andere wird an der straffgeholten Peilleine oder dem Peildraht entlang gezogen, dabei wird an bestimmten Teilstrichen die Tiefe gemessen.

Bisweilen ist die Verwendung einer Leine ausgeschlossen, beispielsweise bei der Aufnahme von Hafeneinfahrten mit regem Verkehr, weil die Leine das Fahrwasser sperren würde. Man mißt dann nach Abb. 4 vom Fahrzeuge aus mittels eines Sextanten die Winkel α , die die Richtlinie A B mit den nach dem gut sichtbaren Punkte C gedachten Strahlen P C bildet. Ist der Punkt C seiner Lage nach bekannt, so kann man aus der Seite B C, dem aus der Lage des Punktes C in bezug auf die Richtlinie A B gegebenen Winkel γ und dem gemessenen Winkel α die Seite B P des Dreiecks C B P berechnen oder einfacher zeichnerisch ermitteln.

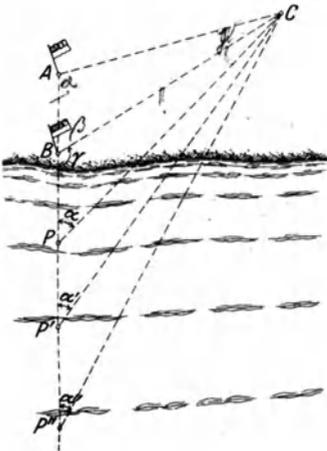


Abb. 4. Längenmessung ohne Leine nach abgesteckten Richtlinien und einem Festpunkte.

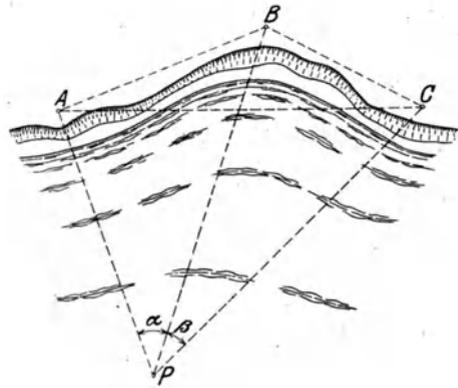


Abb. 5. Längenmessung ohne Leine und ohne Richtlinien nach 3 Festpunkten.

Kann man auch keine Richtlinien ausstecken, was bei Messungen vor Hochufern mit schmalen Vorstrand häufig vorkommt, so läßt sich die Lage eines Punktes P mit Hilfe von drei Festpunkten A, B und C nach dem bekannten Verfahren des Rückwärtseinschneidens bestimmen, wenn die Winkel α und β gemessen werden (Abb. 5). Weil das Fahrzeug aber nicht festliegt, so müssen die Winkel genau gleichzeitig ermittelt werden; dazu sind zwei mit Sextanten ausgerüstete Beobachter erforderlich. Die Berechnung der Längen A P, B P, C P erfolgt nach dem bekannten von Pothenot angegebenen Rechnungsverfahren; zur Abkürzung und Erleichterung sind Hilfstafeln entworfen worden. In sehr einfacher Weise kann man zeichnerisch die Lage des Punktes P ermitteln, wenn man die drei Strahlen, welche die Winkel α und β umschließen, auf Pauspapier aufträgt und letzteres dann auf dem die Punkte A, B und C enthaltenden Lageplan so lange verschiebt, bis die drei Strahlen durch die drei Punkte gehen.

Der Seemann bestimmt den Ort seines Schiffes in der Nähe der Küste nach nur zwei sichtbaren und auf der Seekarte verzeichneten Punkten A und B, Abb. 6, indem er mit Hilfe des Kompasses eine sogenannte

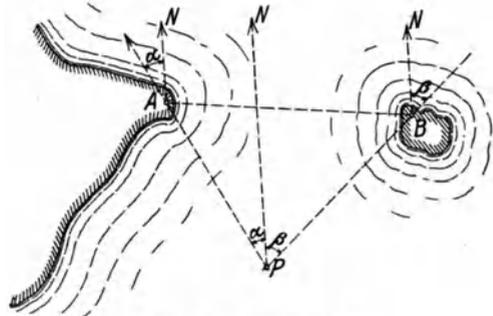


Abb. 6. Kreuzpeilung.

Kreuzpeilung ausführt Er visiert über die Kompaßscheibe, die außer der Windrose auch eine Gradteilung trägt, und ermittelt dadurch die Winkel α und β , die die Strahlen PA und PB mit der Nordrichtung PN bilden. Diese Winkel werden auf der Seekarte an die durch die Punkte A und B gezogenen Nordrichtungen nach Ausweis der Abbildung 6 angetragen, man erhält dadurch die tatsächliche Lage der Strahlen PA und PB, deren Schnittpunkt der Ort P ist. Das Verfahren ist im Grunde dasselbe wie das Rückwärtseinschneiden, denn als dritter Punkt dient der unendlich fern gedachte Nordpunkt.

2. Tiefenmessungen. Die Wassertiefen mißt man mittels einer mit Maßeinteilung versehenen Stange, die meistens aus Holz, seltener als hohler Eisenzylinder gefertigt ist. (Peilstange.) Gewöhnlich sind die Maße in Dezimetern angegeben, die Zentimeter werden geschätzt. Das Ende der Stange trägt eine Beschwerung, um die Senkrechtstellung zu erleichtern, und manchmal auch eine Grundplatte zur Verhinderung des Eindringens in weiche Bodenarten. Peilstangen sind nur bis zu etwa 8 m Länge handlich, bei größeren Tiefen benutzt man das Lot. Dies ist ein Gewicht an einer mit Längeneinteilung versehenen Leine. Das Lot muß so ausgeworfen werden, daß die Leine in dem Augenblick straff gezogen wird, wo sie sich in senkrechter Stellung befindet, während das Gewicht den Grund berührt. Die Tiefe kann dann an den an der Leine angebrachten Kennzeichen abgelesen werden. Als solche dienen meistens kurze eingeflochtene Querschnüre, in die eine bestimmte Anzahl von Knoten geschlungen sind. Das richtige Loten von einem in Fahrt befindlichen Schiffe aus erfordert große Geschicklichkeit; der Beobachter muß das Lot um diejenige Strecke vorauswerfen, die das Schiff während der Fallzeit des Lotes zurücklegt.

Das Messen sehr großer Wassertiefen erfordert sorgfältig ausgewählte Geräte. Lange Lotleinen werden aus sehr haltbaren Stoffen, meistens aus bestem Stahldraht, hergestellt; die Stärke muß am unteren Ende geringer sein als am oberen, denn zylindrische Drähte würden bei mehreren 1000 Metern Wassertiefe nicht mehr ihr Eigengewicht tragen können. Da das Aufstoßen des Gewichtes auf den Grund bei Verwendung sehr langer Leinen schwer festzustellen ist, gebraucht man bisweilen auslösbare Gewichte. Eine schwere Kugel K ruht nach Abb. 7 in dem Bügel B und wird seitlich durch die Kettenstücke S gestützt. Letztere sind an den Hebeln H_1 H_2 befestigt, die an die beiden Gabelenden G_1 G_2 der Lotleine L angeschlossen sind. Solange die Kugel schwebt, hält ihr Gewicht die Ketten S; G_1 , G_2 straff; stößt sie aber auf den Grund, so gehen die Hebel H_1 H_2 ein wenig auseinander, die Ketten S werden schlaff und die Kugel fällt heraus. Die plötzliche Entlastung macht sich oben bemerkbar. Neuerdings verwendet man an Stelle der auslösbaren Kugel besser ein von einer Feder getragenes Gewicht, das beim Aufstoßen auf den Grund infolge Nachgebens der dadurch entlasteten Feder einen elektrischen Stromkreis schließt, wodurch

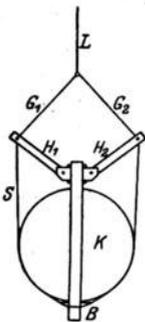


Abb. 7. Tieflot mit auslösbarem Gewicht.

oben ein Läutewerk betätigt wird. Die Anordnung ist ähnlich wie bei der auf Seite 7 beschriebenen de Murald'schen Lotmaschine.

Während der Ausführung von Peilungen im Tiefseegebiet muß natürlich die Fortbewegung des Schiffes eingestellt werden. Da aber bei großen Tiefen der Anker nicht ausgeworfen werden kann, wird das Schiff durch Strömungen und Wind vertrieben. Die lange Lotleine stellt sich infolge des Wasserwiderstandes leicht schräg und gibt zu irrtümlichen Ablesungen Veranlassung. Man hat deshalb auch Tieföte hergestellt, die die Tiefe nach dem Wasserdruck mittels eines selbstschreibenden Manometers unabhängig von der Leinenstellung angeben.

Zur schnellen und genauen Ermittlung der Bodengestaltung in mäßigen Tiefen verwendet man mit Vorteil Peilmaschinen. Die Stechersche Vorrichtung be-

steht gemäß Abbildung 8 aus einem gekrümmten Schlepphebel ACD, der sich um eine im Fahrzeug gelagerte Welle A drehen kann. Letztere trägt eine kreisförmige Scheibe S mit dem Halbmesser r , auf der sich ein durch ein Gewicht G straff gespanntes Stahlband B auf- und abwickelt, das einen Schreibstift p trägt. An letzterem wird ein durch ein Uhrwerk bewegter Papierstreifen P vorbeigeführt.

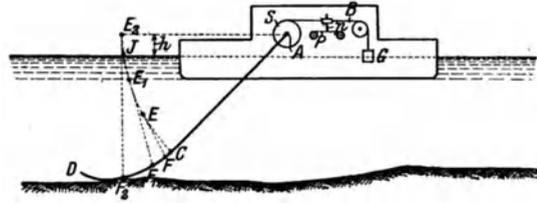


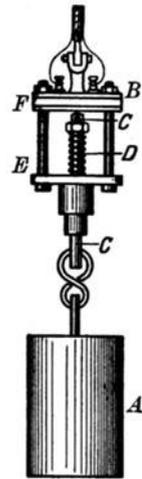
Abb. 8. Stechersche Peilvorrichtung.

Die Vorrichtung hat folgende mathematische Grundlage. An das geradlinige Stück AC des Schlepphebels ist ein Stück CD angeschlossen, das nach der zum Grundkreise mit dem Radius AC gehörigen Evolvente gekrümmt ist. Da die von jedem Punkte des Grundkreises gezogenen Tangenten von der Evolvente so abgeschnitten werden, daß Strecke $EF = \text{Bogen } EC$, Strecke $E_1F_1 = \text{Bogen } E_1C$ usw., so ist auch das senkrechte Tangentenstück $E_2F_2 = E_2C$. Bezeichnet T die Wassertiefe und h die Höhe des Hebeldrehpunktes A über der Wasserlinie, so ist $E_2C = T + h$. Denkt man sich auf dem Grundkreise das Stück $E_2J = h$ abgetragen, so erhält man $T = JC$. Die Bogenlänge JC ist daher also stets gleich der Wassertiefe, also sind letzterer die Winkelausschläge des geradlinigen Hebelstückes und auch die Abwicklungen des Stahlbandmaßes B proportional. Der Schreibstift p zeichnet also, wenn das Meßfahrzeug vorwärts bewegt wird, die Tiefen im Verhältnis der Radien $r : AC$ auf. Ein zweiter feststehender Stift zieht gleichzeitig eine dem Wasserspiegel entsprechende gerade Linie. Um ein zuverlässiges Abbild der Sohle zu erhalten, hat man noch die Längen der durchfahrenen Strecke nach einem der vorherbeschriebenen Verfahren einzumessen und von Zeit zu Zeit durch Querstriche in den aufgezeichneten Kurven zu vermerken.

Die Stechersche Vorrichtung ist nur für Tiefen bis etwa 10 m geeignet. Sie leistet in geschützten Buchten und Strommündungen sowie in Hafenbecken sehr gute Dienste, dagegen kann sie auf See nur bei ganz ruhigem Wetter benutzt werden, da bei Seegang die stampfenden Bewegungen des Schiffes die Aufzeichnungen fehlerhaft machen würden.

Zum Aufnehmen tieferer Seeflächen eignet sich die Lotmaschine von de Murald¹⁾ (Abb. 9).

Das Lotgewicht A hängt an dem in einer Hülse verschiebbaren Bolzen C, der durch eine Feder D nach oben gedrückt wird. Die Hülse ist durch vier Schraubenbolzen E mit dem aus zwei Kontaktplatten mit dazwischenliegender Isolierscheibe bestehenden Querstück B verbunden. Solange das Gewicht schwebt, wird die Federkraft durch seine Schwere überwunden und der Kopf des Bolzens C von der Platte F getrennt; sobald aber das Gewicht auf den Grund aufstößt, überwiegt die Federkraft, und der Bolzen C wird gehoben, sein Kopf stößt gegen die Platte F und schließt dadurch den Kontakt in einem elektrischen Stromkreise, der mittels zweier isolierter Kupferdrähte an der Lotleine entlang nach oben geführt wird und an Deck des Schiffes ein Lätewerk in Tätigkeit setzt. Wenn das Gewicht nur ein wenig angehoben wird, verstummt das Lätewerk wieder. Man ist also imstande, den Grund fortlaufend abzutasten und die Tiefe an der Einteilung der Lotleine ständig abzulesen.

Abb. 9.
Lotmaschine
von de Murald.

¹⁾ Vgl. Beton und Eisen 1908, Heft XI u. XII.

Mit der Lotleine kann man auch ein Zeigerwerk verbinden, wenn die Windtrommel, auf die sich die Leine aufwickelt, mit passender Übersetzung an eine Zeigerwelle angeschlossen wird.

Soll die Tiefe, ähnlich wie bei der Stecherschen Vorrichtung, selbsttätig aufgezeichnet werden, so bringt man gemäß Abb. 10 auf der Zeigerwelle zwei

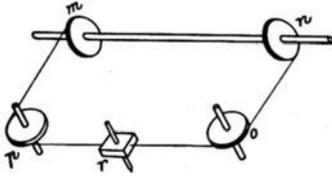


Abb. 10. Schreibvorrichtung der Muralschen Lotmaschine.

Scheiben m und n an und führt eine Metallseite so von m über die Rollen p und o nach n, daß sie sich bei Drehung der Zeigerwelle von m abwickelt und auf n aufwickelt oder umgekehrt, je nachdem das Lot steigt oder fällt. Zwischen den Rollen o und p ist der den Schreibstift tragende Block r eingeschaltet. Das Papier wird durch ein Uhrwerk an dem Schreibstift vorbeigezogen.

3. Wasserstandsbeobachtungen. Zum Messen der Wasserstandsänderungen dienen die Pegel. Feste Pegel sind Latten aus Holz oder Metall, die mit einer Höhentheilung, gewöhnlich von 2 zu 2 Zentimetern, versehen sind (Abb. 11). Sie werden an Mauern, Pfeilern oder Pfählen möglichst in senkrechter Stellung so befestigt, daß man den Wasserstand unmittelbar ablesen kann. Dabei gibt man letzteren gewöhnlich auf 1 cm genau an, indem man die nicht an der Latte sichtbar gemachten Zwischenteile schätzt.



Abb. 11. Fester Pegel.

Von größter Wichtigkeit ist die richtige Höhenlage der Pegellatte. Um sie leicht überwachen zu können, werden in der Nähe des Pegels gewöhnlich zwei voneinander unabhängige an die Landesvermessung angeschlossene Festpunkte hergestellt; ihre Lage wird so gewählt, daß man mittels eines Nivellierinstrumentes, und zwar mit nur einmaliger Aufstellung, die Höhenunterschiede zwischen einem beliebigen Pegelteilpunkt und beiden Festpunkten vergleichen kann. Durch Nachprüfen des bekannten Höhenunterschiedes der beiden Festpunkte überzeugt man sich, ob diese noch richtig liegen.

Feste Pegel sind nur an tidelosen Meeren zweckmäßig; der Wasserstand wird dort in der Regel nur einmal täglich abgelesen. An Orten, wo Ebbe und Flut auftritt, empfiehlt es sich, die Wasserstandsänderungen mittels selbstzeichnender Pegel dauernd zu überwachen.

Der selbstzeichnende Schwimmerpegel, Bauart Seibt-Fueß, Abb. 12¹⁾, wird in einem Pegelhäuschen untergebracht, das über einem mit dem Gewässer in kommunizierender Verbindung stehenden Brunnen aufgestellt ist. Der Schwimmkörper S schwimmt auf dem Wasserspiegel, von ihm aus führt ein Seil auf die Scheibe Sr, die mit dem Zahnrad r auf gemeinsamer Welle sitzt. Auf dieselbe Welle wirkt dem Zuge des Schwimmerseiles entgegen ein Gewicht N. Die Anordnung ist so getroffen, daß der Zug des Schwimmerseiles überwiegt. Fällt daher der Wasserstand, so senkt sich der Schwimmer, und die Scheibe Sr wird durch den Zug des Schwimmerseiles gedreht; steigt der Wasserstand, so wird die Scheibe durch den Zug des Gegengewichtes N zurückgedreht. Von dem Zahnrade r wird die Zahnstange T angetrieben, die den Schreibstift c auf und ab bewegt. Die Übersetzung ist meistens so angeordnet, daß der Schreibstift den 15. Teil des Schwimmerweges ausführt. Er zeichnet die Wasserstände auf einen Papierbogen auf, der auf die Walze W gewickelt ist. Letztere wird durch ein Uhrwerk je nach Bedarf entweder in 24 Stunden oder in 7 Tagen einmal herumgedreht. Außerdem gehören noch zur Ausrüstung des Pegels eine mit Teilung versehene Leiste M, an welcher ein mit dem Schreibstift c verbundener Zeiger den Wasserstand an-

¹⁾ Abb. 12 ist von der Firma R. Fueß in Steglitz freundlichst zur Verfügung gestellt worden.

zeigt, ein Hammer H , der von dem Uhrwerk jede Stunde ausgelöst wird und dadurch einen Ausschlag zweier weiterer Schreibstifte b und b_1 bewirkt, um die Stunden durch je einen kurzen senkrechten Strich am oberen und am unteren

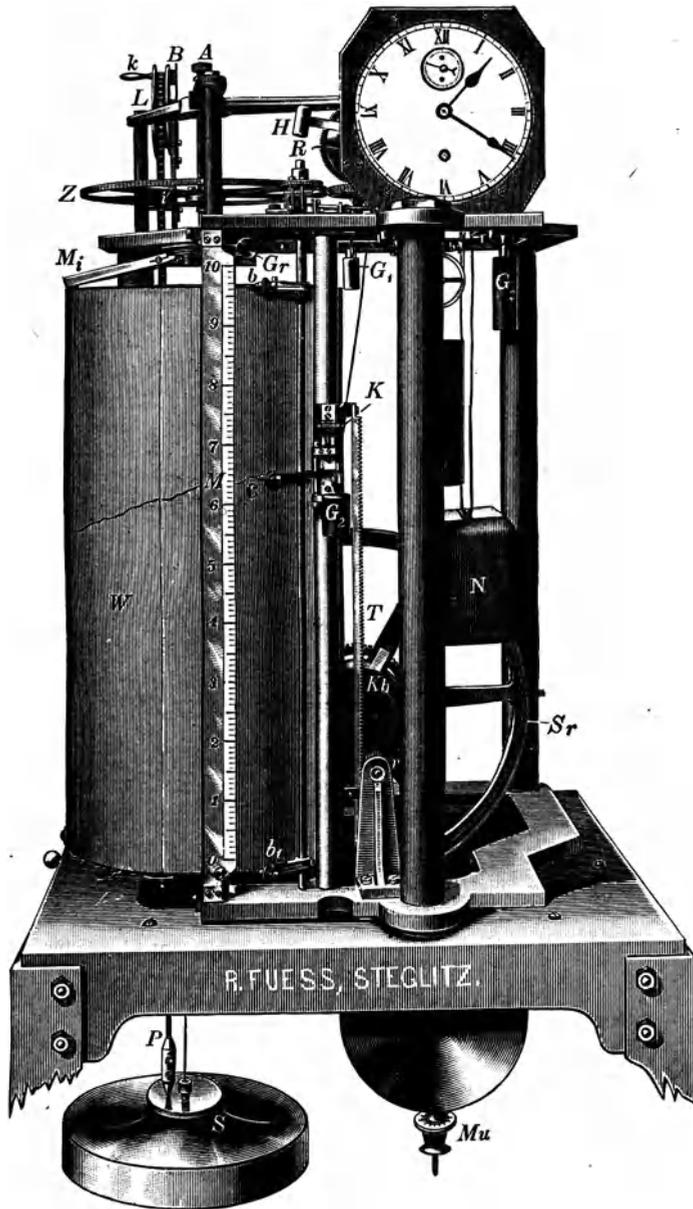


Abb. 12. Selbstzeichnender Schwimmerpegel von Seibt-Fuess.

Papierrande zu bezeichnen, und ein Lot P nebst Meßband, um die Angaben des Pegels durch direktes Messen des Wasserstandes zu kontrollieren.

Zur Herstellung der kommunizierenden Verbindung des Pegelbrunnens mit dem Gewässer wurde früher ein tiefliegendes wagerechtes Rohr benutzt. Da dies bei größerer Länge nicht nur in der Anlage teuer ist, sondern auch leicht

verschlammt, wendet man neuerdings ein Heberrohr an, dessen Scheitel bis höchstens 8 m über dem niedrigsten Wasserstande liegen darf. Auf den Heberscheitel wird ein oben geschlossenes Aufsatzrohr gesetzt, in dem mittels einer Luftsaugepumpe ein Vakuum hergestellt wird, so daß es sich mit Wasser füllt. Die sich im Laufe der Zeit aus dem Wasser abscheidenden Gase sammeln sich im oberen Teile des Aufsatzrohres; sie müssen von Zeit zu Zeit mittels der Luftpumpe entfernt werden, da sie sonst schließlich das Zerreißen des Wasser-schlauches im Heberscheitel und damit das Aufhören der Heberwirkung herbeiführen würden.

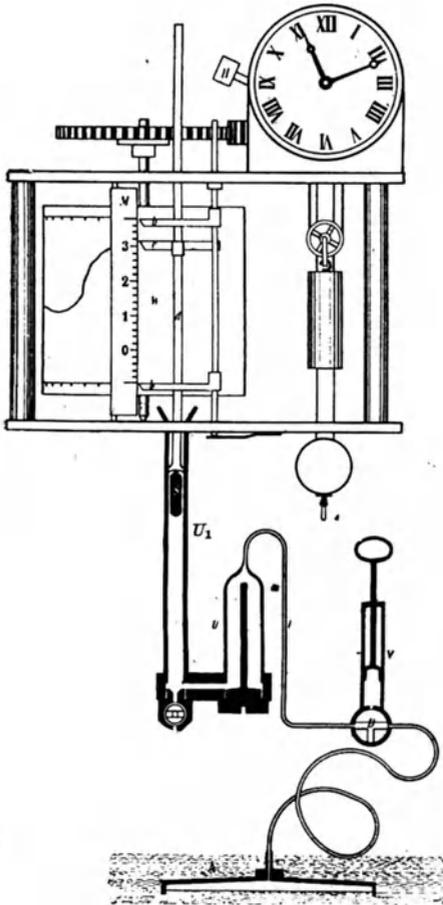


Abb. 13. Selbstzeichnender Druckluftpegel von Seibt-Fueß.

Beim selbstzeichnenden Druckluftpegel von Seibt-Fueß, Abb. 13¹⁾, erfolgt der Antrieb des Schreibstiftes durch eine Stange d , die auf Quecksilber schwimmt. Letzteres ist in der U-förmigen Röhre UU_1 enthalten; der längere Schenkel U_1 , in welchem die Stange d sich bewegt, ist dünn und oben offen, der kürzere Schenkel U ist dagegen dicker und oben geschlossen. In das obere Ende des letzteren führt ein dünnes Röhrchen l , das von einer flachen mit Luft gefüllten Glocke A ausgeht. Letztere ist feststehend unter dem tiefsten Wasserstande aufgestellt; die in ihr befindliche Luft wird von dem Wasserdruck verdichtet, und zwar ändert sich ihre Spannung je nach der Höhe des Wasserspiegels. Steigt also der Wasserstand, so steigt auch die Luftspannung, das Quecksilber wird aus dem kurzen Schenkel U in den langen Schenkel U_1 gedrückt, und die Schreibstiftstange wird gehoben; beim Fallen des Wasserstandes ist der Vorgang umgekehrt. Die Glocke A ist flach und breit, damit der Wasserstand in ihr bei Änderung des Luftdruckes nur ganz unerheblich schwanken kann. Von Zeit zu Zeit wird mittels einer Luftdruckpumpe v die Glocke mit Luft neu aufgefüllt. Um das Übertreten

von Feuchtigkeit, die sich aus dem in der Luft enthaltenen Wasserdampf bilden könnte, zu dem Quecksilber zu verhindern, wird in das Rohr l ein Gefäß mit wasseraufsaugendem Chlorkalzium eingeschaltet.

Die sonstige Ausrüstung dieses Pegels mit Papierwalze, Uhrwerk, Anzeigevorrichtung, Zeithammer und Kontrolleiste entspricht genau derjenigen des vorstehend beschriebenen Schwimmerpegels. Der Luftdruckpegel hat den Vorteil, daß er keines Brunnens bedarf und auch noch in einiger Entfernung vom Wasser aufgestellt werden kann. Die Glocke A kann in einer Kaimauernische befestigt und das Rohr l unterirdisch zum Pegel geführt werden.

¹⁾ Abb. 13 ist von der Firma R. Fueß in Steglitz freundlichst zur Verfügung gestellt worden.

In Häfen mit stark wechselndem Wasserstand erhalten die Pegel häufig noch eine von außen gut sichtbare Anzeigevorrichtung. In Hamburg dient dazu ein rundes Zifferblatt, das die Zahlen 1 bis 10 trägt. Ähnlich wie bei einer Uhr ist ein kleiner und ein großer Zeiger vorhanden, die durch die Schreibstiftstange bewegt werden; ersterer zeigt die Meter, letzterer die Zentimeter der Wasserstandshöhe an.

2. Abschnitt. Das Meerwasser.

A. Physikalische und chemische Eigenschaften.

Das Wasser des Meeres unterscheidet sich von demjenigen der Flüsse und Seen durch hohen Gehalt an gelösten Salzen und verhältnismäßig geringen Gehalt an Schwebestoffen. In gelöster Form hat man etwa 32 verschiedene Elemente festgestellt, von denen die meisten allerdings nur in geringen Mengen vorkommen. Die wichtigsten Verbindungen sind nach Forchhammer folgende:

	in 1 kg Wasser	in Proz. aller gelösten Stoffe
Kochsalz, NaCl	26,86 g	78,33
Chlormagnesium, MgCl ₂	3,24 g	9,44
Bittersalz, MgSO ₄	2,20 g	6,40
Gips, CaSO ₄	1,35 g	3,94
Chlorkalium, KCl	0,58 g	1,69
Sonstige Verbindungen	0,07 g	0,20
zusammen	34,30 g	100,00

Es sind also vorwiegend vertreten die Grundstoffe Chlor, Natrium, Magnesium, Schwefel, Kalium und Kalzium; von den in geringen Mengen vorkommenden Stoffen sind besonders zu erwähnen Brom und Jod.

Das Verhältnis der salzbildenden Stoffe zueinander ist in den meisten Meeren fast dasselbe, dagegen weichen die Mengen erheblich voneinander ab. Nach Krümmel sind die Salzgehalte

im Atlantischen Ozean	35,4 ‰
im Indischen Ozean.	34,8 ‰
im Großen Ozean.	34,9 ‰
im Nördlichen Eismeer	25,5 ‰
im Mittelländischen Meer	34,9 ‰
im Roten Meer	38,8 ‰
in der Nordsee	34,2 ‰
in der Ostsee.	7,8 ‰

In den Ozeanen enthält also 1 cbm Wasser etwa 35 kg Salze; in den abgeschlossenen Nebenmeeren sind die Abweichungen hauptsächlich durch Verdunstung und Süßwasserzufluß bedingt. So sehen wir im Roten Meere infolge weit überwiegender Verdunstung den Salzgehalt größer, in der Ostsee infolge überwiegender Süßwasserzuflusses geringer als im Mittel aller Meere. In der Ostsee ist die Verteilung des Salzgehaltes auf die verschiedenen Gegenden sehr bezeichnend. Während er im Kattegatt und in den dänischen Meerengen noch je nach der Strömung zwischen 25 ‰ und 10 ‰ schwankt, beträgt er zwischen Rügen und Ösel nur noch 7 bis 8 ‰, von Öland bis zu den finnischen Schären 6 bis 7 ‰, vor Kronstadt und Haparanda nur noch 2 ‰.

Die Mischung von Seewasser und Süßwasser an den Strommündungen nennt man Brackwasser.

Das spezifische Gewicht des Meerwassers beträgt bei 35 ‰ Salzgehalt und 0° C etwa 1,03. Dadurch, daß es mit zunehmendem Salzgehalt wächst, findet

in Meeren ohne erheblichen Süßwasserzufluß von selbst ein ständiger Ausgleich des Salzgehaltes statt. Infolge Verdunstung wird das Wasser nämlich an der Oberfläche salzhaltiger und sinkt alsdann nach unten, während das leichtere salzärmere Wasser nach oben steigt, um durch Verdunstung allmählich wieder stärker mit Salz gesättigt zu werden. Daher ist auch der Salzgehalt in den Ozeanen und im Roten Meere in allen Tiefen fast der gleiche.

Anders in der Ostsee. Der Zufluß des Süßwassers ist hier größer als die Verdunstung, daher bleibt ersteres in den oberen Schichten überwiegend, während das salzigere Wasser sich in der Tiefe vorfindet. In der Tat hat man in der Danziger Bucht folgende Salzgehalte festgestellt¹⁾:

An der Oberfläche	7,22 ‰
In 20 m Tiefe	7,24 ‰
„ 40 „ „	7,29 ‰
„ 75 „ „	8,49 ‰
„ 105 „ „	11,66 ‰

Zur annähernden Bestimmung des Salzgehaltes kann man das Aräometer benutzen, das ist ein stabförmiger Schwimmer mit Gradteilung, dessen Tauchtiefe das spezifische Gewicht der Flüssigkeit angibt; genauere Ergebnisse erhält man durch direkte Wägung der Eindampfrückstände.

Außer den gelösten Stoffen enthält das Meerwasser absorbierte Gase, insbesondere Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure. Bemerkenswert ist, daß Sauerstoff und Stickstoff nicht in dem Verhältnis 29 : 71, wie in der Luft, vorkommen, sondern etwa im Verhältnis 1 : 2. Mit steigender Temperatur nimmt die Absorptionsfähigkeit des Wassers bekanntlich ab, daher sind die Tropenmeere gasärmer als die Polarmeere.

Das Meerwasser hat blaugrüne Färbung. Die Lichtdurchlässigkeit ist derart, daß die letzten Spuren des Sonnenlichtes mit photographischen Platten bis etwa 450 m Tiefe nachweisbar sind; für das menschliche Auge würde jedoch schon in 65 m Tiefe völlige Dunkelheit herrschen.

Für die mittlere Wärme der Meere gibt Krümmel folgende Zahlen an:

Atlantischer Ozean	+ 4,0° C
Indischer Ozean	+ 3,8° C
Großer Ozean	+ 3,7° C
Nördliches Eismeer	— 0,7° C
Mittelländisches Meer	+ 13,4° C
Rotes Meer	+ 22,7° C
Nordsee	+ 7,7° C
Ostsee	+ 3,9° C

Man sieht, daß für die Temperatur der kleineren Meere das Klima von großem Einfluß ist. Die Erwärmung durch die Sonne erstreckt sich aber nur auf die oberen Schichten und nimmt mit zunehmender Tiefe allmählich ab; unter 1000 m Tiefe haben Tropen- und Polarmeere fast dieselbe Temperatur von etwa + 3° C, an der Sohle sehr tiefer Meere sinkt letztere bis zu 0° C. Die Oberflächenwärme kann erheblich vom Mittel abweichen, sie beträgt in den großen Meeren in den Tropengegenden bis 27° C.

Der Wärmeausgleich wird außer durch die in den oberen Schichten auftretenden Wellen- und Strömungsbewegungen namentlich durch die vorerwähnte Erscheinung des Ausgleichs des Salzgehaltes begünstigt; das Wärmeleitungsvermögen des Wassers ist dagegen sehr gering.

Das auf dem Meere vorgefundene Eis muß seiner Entstehung nach streng unterschieden werden als eigentliches Meereis, Flußeis und Gletschereis.

¹⁾ Vgl. F. W. O. Schulze, Seehafenbau I, S. 211.

Als eigentliches Meereis darf nur das auf dem Meere selbst entstandene gelten. Der Salzgehalt bewirkt, daß der Gefrierpunkt sinkt; er liegt in der Ostsee auf $-0,4^{\circ}\text{C}$, in der Nordsee auf $-1,85^{\circ}\text{C}$. Beim Gefrieren des Meerwassers wird ein Teil des Salzgehaltes ausgeschieden. Das Meereis bildet sich zuerst als Eisschaum, später entstehen treibende Schollen (Treibeis). Der Wellenschlag verhindert lange Zeit das Zusammenfrieren, schließlich aber, namentlich wenn der Wind die Schollen in Buchten treibt, entsteht eine aus übereinander getürmten Stücken gebildete Eisdecke, die sich bei anhaltendem Frost über weite Seestrecken fortsetzt.

Von größeren Meeren frieren nur die in den Polargegenden gelegenen Teile zu, während die Ozeane in den gemäßigten Zonen nur mit treibenden Eisfeldern bedeckt sind. Dagegen hat man wiederholt beobachtet, daß in ausnahmsweise kalten Wintern der größte Teil der Ostsee eine feste Eisdecke trug. Ebenso sind die nördlichen Randmeere in Ostasien häufig durch Eis für die Schifffahrt gesperrt.

Das aus den Flüssen in das Meer treibende Süßwassereis ist äußerlich von dem Meereis kaum zu unterscheiden, selbstverständlich fehlt ihm der Salzgehalt. Die aus Meereis und Flußeis gebildeten Eisfelder erscheinen von weitem gesehen stets als flache Tafeln. Sie treiben nicht allzu weit aus der Kältezone heraus, da sie nach Aufhören der Neubildung durch Frost bald vom Wellenschlage zerbrochen und zerrieben werden.

Wesentlich anders verhält sich das Gletschereis. Die Gebirge der Polarländer schieben ihre Gletscher vielfach in die See, es lösen sich dort fortwährend Stücke von gewaltiger Größe ab, die als sogenannte Eisberge von den Meeresströmungen oft sehr weit in wärmere Zonen hinein vertrieben werden, weil sie nur ganz allmählich abschmelzen. Sie unterscheiden sich von den flachen Meereisfeldern sofort durch ihre zackige Gestalt, die an Hochgebirgsgipfel erinnert. Diese treibenden Eisberge, die im Atlantischen Ozean bis zum 35° Breitengrade angetroffen werden, sind eine große Gefahr für die Schifffahrt, namentlich bei unsichtigem Wetter. Sie ragen oft mehr als 100 m hoch aus dem Wasser und können mehr als 1000 m lang und breit sein. Da das spezifische Gewicht des Eises etwa 0,9, dasjenige des Seewassers 1,03 ist, so ragt nur der achte Teil des Eisberges über Wasser.

Mechanisch beigemengte Stoffe findet man im Meerwasser nur in der Nähe der Küsten zahlreich. Sie sind aus erdigen, tierischen und pflanzlichen Bestandteilen gemischt und erscheinen je nach ihrer Beschaffenheit entweder als Schlick oder als Schlamm. Erdige Schwebestoffe sind nur in der Nähe der Strommündungen und in der Brandung und den Strömungen am Ufer vorhanden. Neben den Schwebestoffen sind noch die Geschiebe zu erwähnen; das sind grobe Sande und kleine Steine, die, ohne zu schweben, durch den Stoß der Brandung und durch die Strömungen auf dem Grunde entlang geschoben werden. Sie sind von großer Bedeutung für die Veränderung der Ufer, wie im 2. Kapitel weiter ausgeführt wird.

Der Schlick besteht aus den Resten von zahllosen Kleintieren und aus tonigen und äußerst feinen sandigen Bestandteilen (Schleimfchl), die aus dem Abbruch der Küsten oder aus den Flüssen herkommen. Es scheint, als ob viele kleine Lebewesen an eine ganz bestimmte Wasserzusammensetzung gebunden sind, daher absterben, sobald sie von der Flut in Buchten mit brackischem oder sinkstoffhaltigem Wasser getragen werden. Daher findet man die stärkste Schlickbildung in den Strommündungen und Buchten von Tidemeeren, insbesondere an der Nordsee. Der Schlick enthält durchschnittlich

Kieselsäure	60%
Tonerde	12%
Kohlensauren Kalk	10%
Eisenoxyd	4%
Magnesium	5%
Sonstige meist organische Stoffe	9%

Er setzt sich namentlich kurz vor und nach Eintritt der Ebbe, ist zunächst sehr weich und enthält 70% Wasser. Nach längerer Lagerung und bei Belastung durch neue Schichten, die sich darüber absetzen, wird er dichter und bildet schließlich den Klai der Nordseemarschen.

Der Schlickfall bewirkt lästige Verflachungen der Häfen und Fahrstraßen, dagegen begünstigt er die Gewinnung fruchtbaren Landes. Der jährliche Schlickfall erreicht in Hoek van Holland eine Höhe von 3,6 m; im Emdener Außenhafen und in Wilhelmshafen soll sich sogar eine jährliche Lagerhöhe von 10 bis 11 m¹⁾ ergeben, wenn man die durch wiederholte Baggerung entfernten Schichtstärken zusammenzählt. Es handelt sich dabei natürlich um stark wasserhaltigen Schlick, der bei längerer Lagerung ganz erheblich zusammensacken würde.

Seeschlamm besteht aus Ablagerungen von erdigen und fauligen Stoffen, die auch in längerer Zeit dickflüssig bleiben, daher sich stets nach den tiefsten Stellen einer Bucht hinziehen. Man findet solche Schlammbecken an einigen Stellen der Ostsee, namentlich in der Kieler Bucht.

B. Einwirkung auf die Baustoffe.

Die Wirkungen des Seewassers auf die Baustoffe sind teils mechanischer, teils chemischer Natur. Die mechanischen Wirkungen werden namentlich durch Wellenschlag und Eis, weniger durch Strömungen verursacht. Wie in Abschn. 4 ausgeführt wird, sind die Stoßkräfte der Wellen sehr bedeutend. Die ständige Wiederholung des Angriffes bedingt im Verein mit den atmosphärischen Einflüssen (Frost) eine starke Abnutzung der Baustoffe. Weiche Gesteine sind daher für Bauten am Seestrände nicht geeignet. Am besten bewähren sich Granit, Gneis, Basalt und Porphy, auch manche bohrmuschelfeste Arten von Kalksteinen und harte Sandsteine sind brauchbar, ebenso hart gebrannte Ziegelsteine.

Die chemischen Einwirkungen des Seewassers rühren von dem Gehalt an Schwefel- und Magnesiumverbindungen her, die mit den Baustoffen neue Verbindungen eingehen und dadurch ihre allmähliche Zersetzung herbeiführen. Besonders werden davon alle Arten von Mörtel und Beton betroffen. Die dabei auftretenden Vorgänge sind noch nicht vollkommen geklärt, fest steht jedoch, daß die beim normalen Abbinden entstehenden festen Kalzium- und Siliziumverbindungen im Seewasser durch schwefelsaure Kalk- und weiche Magnesiumverbindungen ersetzt werden; erstere „treiben“, d. h. sie vergrößern ihren Rauminhalt und zersprengen dadurch das Mauerwerk, letztere sind so weich, daß sie allmählich zerfallen und durch Auslaugung verschwinden.

Es scheint, als ob der im Portlandzement enthaltene überschüssige freie Kalk und Ton, der im Süßwasser unschädlich ist, leicht zur Bildung schädlicher Verbindungen Anlaß gibt. Besonders rasch tritt die Zerstörung des Mörtels erfahrungsgemäß in der Zone zwischen Niedrigwasser und Hochwasser auf, deshalb tut man gut, dort das Betonmauerwerk durch widerstandsfähige Bruchsteine zu verblenden²⁾.

Es ist vorgeschlagen worden, den freien Kalk durch hydraulische Beischläge, namentlich durch feingemahlene Traß, zu binden und unschädlich zu machen. Nach den bisherigen Ergebnissen der vom preußischen Materialprüfungsamt zu Lichtenfelde auf der Insel Sylt angestellten Versuche scheint der Traßzusatz

¹⁾ Nach Schulze, Seehafenbau I, S. 212.

²⁾ Aus diesem Grunde haben sogar die großen an Land hergestellten und erst nach Erhärtung versenkten Betonblöcke für die Herstellung der neuen Molen zu Dover an der seeseitigen Außenfläche eine Granitverblendung erhalten. Vgl. S. 166.

nur mageren Zementmörtel zu verbessern, während fette Mischungen auch ohne Traßzusatz längere Zeit widerstandsfähig sind¹⁾.

Am besten bewährt sich im Seewasser Mörtel aus gutem Portlandzement und scharfem Sande in Mischung 1 : 2,5 bis 1 : 3. Auf gute Mischung (Ausfüllung aller Hohlräume des Sandes durch den Zement) ist größte Sorgfalt zu verwenden. Beton ist aus demselben Mörtel unter Zusatz einer angemessenen Menge von reinem Kies oder Kleinschlag herzustellen. Über die endgültige Bewährung der neuerdings auch an der See immer zahlreicher ausgeführten dünnwandigen Eisenbetonkonstruktionen liegen ausreichende Erfahrungen noch nicht vor. Mit Kalktraßmörtel hat man in letzter Zeit einige sehr schlechte Erfahrungen gemacht²⁾, obwohl mehrere ältere, mit diesem Mörtel hergestellte Bauten sich gut gehalten haben. Die Ursache dieses Widerspruches ist noch nicht genügend erkannt.

Hiernach gilt für Mauerwerk im Seewasser die Regel: Hartes und wetterfestes Material, wenn möglich große Steine zwecks Einschränkung der Fugen, fetter Mörtel aus gutem Portlandzement und scharfem Sande; Beton ist an den der Brandung ausgesetzten Flächen tunlichst durch Bruchsteine zu verblenden.

Eisen, sowohl Schweißisen wie Gußeisen, leidet im Seewasser stark durch Rostbildung³⁾; letzteres wird schließlich schwammig und zerfällt. Anstriche mit Kohlenteer oder Ölfarbe sind nach einiger Zeit verschwunden, auch Verzinkung blättert mit der Zeit ab, angeblich infolge elektrolytischer Vorgänge; einen wirkamen dauernden Schutz gegen Rost gibt es also nicht.

Holz ist im Seewasser unvergänglich, sofern es nicht durch äußere Angriffe, insbesondere durch Eisgang oder durch tierische Schädlinge, zerstört wird. Daher sind Pfahlrostgründungen im Seebau sehr beliebt. Der Schutz gegen Fäulnis reicht noch soweit über die Wasserlinie hinaus, wie das Holz dauernd durchfeuchtet wird. Dabei spielt die hygroskopische Aufsaugung des Wassers durch die Holzfasern eine wichtige Rolle. An der Ostsee sind Holzkonstruktionen 15 bis 20 cm über Mittelwasser, an der Nordsee 1,0 bis 1,5 m über mittlerem Niedrigwasser, noch gegen Fäulnis gesichert. Über der Schutzgrenze tritt aber der Verfall um so rascher ein, beispielsweise wird Kiefernholz dort in 12 bis 15 Jahren zerstört, und zwar fault zuerst das Splintholz, später der Kern. Ein gutes Mittel zur längeren Erhaltung des Holzes über Wasser ist das Imprägnieren mit fäulnisverhindernden Flüssigkeiten.

C. Schädliche Organismen.

Von den zahlreichen Lebewesen, mit denen das Meer bevölkert ist, richten einige Arten große Zerstörungen an manchen Baustoffen an.

Der ärgste Holzzerstörer ist der Bohrwurm, der in mehreren Abarten vorkommt. Die Form *teredo gigantea* lebt in tropischen Meeren und erreicht dort angeblich eine Länge bis 1,8 m bei 5 bis 7 cm Durchmesser. Bei uns ist am meisten vertreten die Form *teredo navalis*. Diese ist weißgrau, 20 bis 30 cm lang bei einem Durchmesser von 1 bis 2 cm und ähnelt äußerlich etwa dem Spulwurm. Vermutlich gelangen die Eier oder die winzig kleinen Larven schwimmend an das Holz. Hier setzen sie sich fest, der Wurm entwickelt sich und frißt sich zuerst senkrecht zur Außenfläche in das Holz, alsdann verfolgt er die Faserrichtung. Die Würmer treten stets massenhaft auf, trotzdem lebt jeder einzeln in seinem ausgefressenen Gange, den er nicht mehr verläßt. Durch die zahlreichen Wurm-

¹⁾ Vgl. Mitteilungen des Materialprüfungsamtes zu Groß-Lichterfelde 1909, Heft 5 u. 6.

²⁾ Vgl. Behrendt und O. Franzius. Der Unfall und die Wiederherstellung von Dock V auf der Kaiserlichen Werft in Kiel. Zeitschr. für Bauwesen 1912.

³⁾ Ein ursprünglich 52 mm starker Molenanker aus Schweißisen in Saßnitz war nach 25jährigem Liegen im Seewasser um 7 mm abgerostet.

röhren wird das Holz in kurzer Zeit gänzlich zerstört. An der Oberfläche sind nur die kaum sichtbaren Eingangsöffnungen vorhanden, erst wenn man einen Schnitt durch das Holz ausführt, zeigt sich der ganze Umfang der Zerstörung.

Die Bohrwürmer gehen nicht unter die Sohle des Seebeckens und auch nicht über Hochwasser; der größte Angriff liegt dicht über Niedrigwasser. Die Tiere bevorzugen reines Seewasser und Strömungen. Ob sie nur in Meeren mit normalem Salzgehalt gedeihen können, steht noch nicht fest; es scheint, als ob sie aus tropischen Gewässern eingeschleppt seien und sich durch Wanderung ausbreiten. Bisher sind sie im ganzen Nordseegebiet beobachtet worden, in Emden jedoch erst neuerdings, ebenso an der dänischen und schleswig-holsteinischen Ostseeküste, insbesondere in der Kieler Förhrde, in der mittleren und östlichen Ostsee dagegen nicht.

Im Bohrwurmgebiet ist die Verwendung von Holz im Wasser fast ausgeschlossen. Ummantelung der zu schützenden Stücke mit Blech oder dichte Benagelung ist teuer und ohne sichere Wirkung, da der Wurm durch die engsten Fugen hindurchgeht. Eine Zeitlang schützt das Durchtränken der Hölzer mit Kreosot. Bei einigen Kaimauern in Cuxhafen hat man den Pfalrost durch Betonschürzen, in Kopenhagen durch Eisenbetonschürzen, von dem Hafenbecken abgeschlossen. Die Würmer nehmen Eichen- und Kiefernholz und die meisten ausländischen Holzarten fast ohne Unterschied an, dagegen gelten als bohrwurmsicher das tasmanische Blue gum-Holz (Blaugummiholz) und das westaustralische Yarra-Holz; das bekannte Greenhardholz aus Guyana wird nur eine Zeitlang verschont.

Ebenfalls holzerstörend wirkt die an der Nordsee vorkommende Bohrasse, *limnoria lignorum*, ein weißes Lebewesen von Reiskorngröße. Im Gegensatz zum teredo frißt sie das Holz von außen an, und zwar von der Seesohle bis zur Holzoberkante, auch wenn letztere über Wasser liegt.

Ein holzerstörender Wasserkäfer ist *nacerdes melanura*, der in neuerer Zeit an holländischen Uferschutzwerken beobachtet worden ist. Er ist auf der Oberseite rötlich gelb, unten schwärzlich, seine Länge beträgt 8 bis 14 mm. Die Larve ist gelblich weiß und 20 bis 30 mm lang¹⁾.

Die Bohrmuschel, *pholas dactylus*, lebt ähnlich wie der Bohrwurm, zerfrißt aber mit Vorliebe weiche Kalksteine und Sandsteine, die sie mit ihren Gängen ganz durchsetzt.

Verschiedene kleinere Muschelarten setzen sich massenhaft mit Algenarten gemeinsam an allem Holz-, Eisen- und Steinwerk im Seewasser fest; sie richten keine Zerstörungen an, erschweren aber die Beweglichkeit von Schleusentoren und Pontons und verengen die Querschnitte von Rohren und Kanälen. Die Schiffsböden machen sie so rauh, daß die Fahrgeschwindigkeit dadurch wesentlich beeinträchtigt wird; zu ihrer Entfernung müssen die Schiffe jährlich mindestens einmal ins Dock gehen.

3. Abschnitt. Der Wind.

A. Entstehung und Verbreitung des Windes.

Bei der großen Bedeutung des Windes für den Wasserbau am Meere ist die Kenntnis der Gesetze seiner Entstehung und Wirkung für jeden im Seebau tätigen Ingenieur ein unbedingtes Erfordernis.

Der Wind ist eine Bewegungserscheinung, bedingt durch den Ausgleich der Spannungen im Luftmeer infolge ungleichmäßiger Erwärmung. Die von der Sonne ausgehende Wärme teilt sich der Luft nicht direkt mit, sondern durch Rückstrahlung von der erwärmten Erde aus. Es werden also die untersten Luft-

¹⁾ Zentralblatt der Bauverwaltung 1891, S. 55.

schichten am stärksten erwärmt. Da die Temperatur der Erde in der Gegend des Äquators höher ist als an den Polen, so steigt gemäß Abb. 14 bei ersterem die erwärmte Luft infolge ihrer geringeren Dichte empor und fließt nach den Polen zu ab (Äquatorialstrom), während unten kalte Luft von den Polen zum Äquator nachströmt (Polarstrom).

Die emporsteigende Luft erleidet bereits durch die dabei auftretende Expansion eine beträchtliche Abkühlung; bei dem Abströmen nach den Polen zu wird sie schnell kälter, sodaß ihre Temperatur bald nach Überschreitung der Wendekreise nicht mehr wesentlich verschieden ist von derjenigen des unten streichenden Polarstromes, die sich an der Erde immer mehr erwärmt, je mehr sie sich der heißen Zone nähert. Aus diesem Grunde und weil die Raumausdehnung wegen der Kugelgestalt der Erde in höheren Breiten beschränkter ist als am Äquator, findet in den gemäßigten Zonen ein Nebeneinanderstreichen und eine Vermengung der beiden Luftströme statt; bald gewinnt der eine, bald der andere das Übergewicht auf der Erdoberfläche, d. h. die Windrichtungen sind in diesen Gegenden veränderlich.

Man unterscheidet also folgende Windzonen (vgl. Abb. 14):

- Die Kalmen oder Windstillen in den Gegenden des Emporsteigens der Luft, bis etwa 10° zu beiden Seiten des Äquators;
- die Passatzonen in den Gegenden, wo der warme Äquatorialstrom noch beständig über dem kälteren Polarstrom entlang streicht, vom 10. bis zum 30. Grade nördlicher und südlicher Breite;
- die Zonen der veränderlichen Winde von den Polen bis zu den Passatgrenzen.

Wenn keine weitere Einwirkung stattfände, müßte der Äquatorialstrom auf der nördlichen Halbkugel von Süden nach Norden, auf der südlichen Halbkugel von Norden nach Süden gerichtet sein, der Polarstrom entgegengesetzt. Da nun die Erde sich von Westen nach Osten dreht und ihre Umfangsgeschwindigkeit von einem Größtwert am Äquator zu Null an den Polen abnimmt, so muß infolge des Beharrungsvermögens der Äquatorialstrom nach Osten voreilen, der Polarstrom nach Westen zurückbleiben. Auf der nördlichen Halbkugel weht ersterer also von Südwest nach Nordost, letzterer von Nordost nach Südwest; auf der südlichen Halbkugel weht der Äquatorialstrom von Nordwest nach Südost, der Polarstrom von Südost nach Nordwest.

Am deutlichsten treten diese zuerst von Hadley im Jahre 1735 richtig erklärten Erscheinungen in den Passatzonen hervor. Man findet dort in der Tat auf der nördlichen Halbkugel regelmäßigen Bodenwind aus Nordost, während der darüber streichende Strom, der Gegenpassat, aus Südwest weht. Daher streicht auch der aus dem Krater des bis in die Gegenpassathöhe reichenden Pik von Teneriffa austretende Rauch dem unten wehenden Nordostwinde entgegen. Auf der südlichen Halbkugel findet man Südostpassat und Nordwestgegenpassat.

An den den Polen zugekehrten Grenzen der Passate sind schmale Gürtel mit schwachen Winden und Windstillen vorhanden, die sogenannten Roßbreiten.

Die Wärme der Erdoberfläche ändert sich aber nicht stetig vom Äquator zu den Polen, auch ist ihre Verteilung zeitlich verschieden. Daher erfährt der

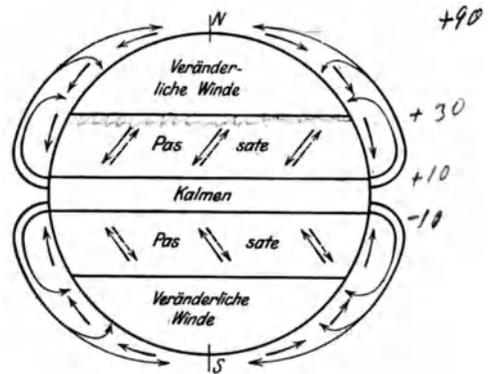
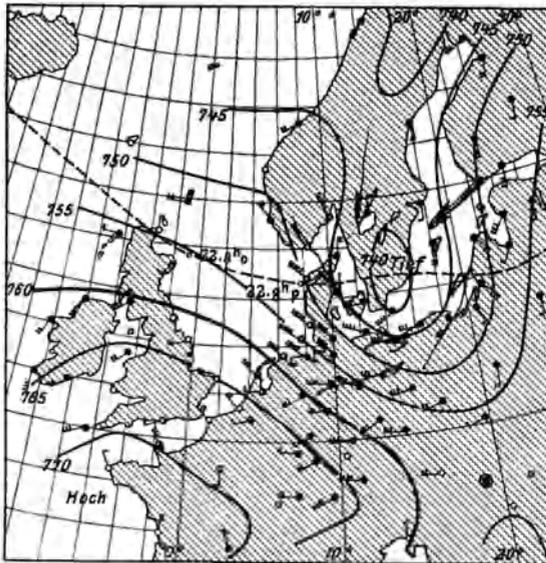


Abb. 14. Luftströmungen infolge ungleichmäßiger Wärme der Erdoberfläche.

vorbeschriebene Kreislauf der Luftströmungen mancherlei Änderungen. Zunächst wechselt die Deklination der Sonne im Laufe eines Jahres regelmäßig von $+23,5^\circ$ zu $-23,5^\circ$. Dadurch ist eine entsprechende Verschiebung der vorbenannten Windzonen bedingt, die namentlich an den Grenzen der Kalmen und der Passatgürtel deutlich zu erkennen ist. Außerdem haben wesentlichen Einfluß die ungleichmäßige Erwärmung von Land und Meer, die Meeresströmungen, die wechselnde Eisverteilung u. dgl.; besonders in den Zonen der veränderlichen Winde sind die Luftströmungen hauptsächlich dadurch bedingt.

Wenn in zwei größeren Nachbargebieten längere Zeit verschiedene Temperaturen vorhanden sind, bilden sich besondere Luftströmungen aus. Beispielsweise erwärmt ein Kontinent sich im Sommer stärker als benachbarte Seeflächen, während er sich im Winter stärker abkühlt. Dadurch wird im Sommer ein Bodewind vom Meere zum Lande, im Winter ein solcher vom Lande zum Meere verursacht. Wenn diese Winde annähernd nord-südlich oder umgekehrt gerichtet sind, treten bei größerer Ausdehnung der Erscheinung auch die vorerwähnten Ablenkungen durch die Erddrehung ein. Diese zeitweiligen Winde nennt man Monsune, sie finden sich besonders ausgeprägt in Südasiens und den angrenzenden Teilen des Indischen Ozeans, in etwas schwächerer Form auch an den Küsten Australiens und Nordafrikas.

Aus ähnlicher Ursache entstehen auch die täglichen Land- und Seewinde, weil das Land sich am Tage stärker erwärmt und bei Nacht stärker abkühlt als die See. Der Tagwind weht also vom Meer zu Land, der Nachtwind umgekehrt. Diese Erscheinung kann in Zeiten mit gleichmäßiger Luftdruckverteilung unter anderem auch im preußischen Ostseegebiet beobachtet werden.



----- Bahn des Mittelpunktes des Minimums.

Abb. 15. Wetterkarte.

Die größte Bedeutung für die Gestaltung des Wetters in unseren Breiten, die der Zone der veränderlichen Winde angehören, hat die von verschiedenen Umständen abhängige Ungleichmäßigkeit bei der Erwärmung von Teilgebieten des Luftmeeres. Dadurch wird der Luftdruck geändert, denn warme Luft ist leichter als kalte. Eine gute Übersicht über die Verteilung des ersteren erhält man, wenn man auf einer Landkarte die zu gleicher Zeit gemessenen Luftdrücke an möglichst zahlreichen Orten dadurch darstellt, daß man die Orte mit gleichem Luftdruck durch Linien verbindet. Letztere nennt man Isobaren (Linien gleicher Schwere). Je näher die Isobaren zusammenrücken, desto größer sind die

Druckunterschiede im Luftmeer. Die Richtungen, in denen die Unterschiede am größten sind, werden durch Kurven angegeben, welche die Isobaren rechtwinklig schneiden; man nennt diese Kurven die barometrischen Gradienten.

Um ein Maß für die Änderung des Luftdruckes zu gewinnen, gibt man den Druckunterschied zweier auf einer Gradienten gelegener Orte, die um 1° Bogen-

länge des größten Erdkreises voneinander entfernt sind, in Millimetern Quecksilberhöhe des Barometers an; dieses Maß nennt man die „Größe“ der Gradiente.

Abb. 15 zeigt eine Wetterkarte vom 23. Dezember 1894. Außer den Isobaren sind noch Zeichen für Windrichtung und Windstärke (Pfeile mit Fiederung) und für die Bewölkung (Kreise als Pfeilköpfe) eingetragen.

Die Stürme entstehen dadurch, daß die kältere Luft aus dem Hochdruckgebiet, dem sogenannten Maximum, nach dem Tiefdruckgebiet, dem Minimum, abströmt. Dabei macht sich wieder die Drehung der Erde geltend, die das Abweichen der Luftströmung aus der Richtung der Gradienten in derselben Weise bewirkt, wie dies bei dem großen Kreislauf der Polar- und Äquatorialströme beschrieben wurde. Die Bewegungen sind in Abbildung 16 veranschaulicht. Sie werden durch das Gesetz von Buys-Ballot wie folgt angegeben: „Die Luft strömt von der Gegend höheren Luftdruckes nach den Gegenden niederen Druckes und wird dabei durch die Erdumdrehung auf der nördlichen Halbkugel nach rechts, auf der südlichen nach links abgelenkt“; oder „wendet der Beobachter dem Winde den Rücken, so liegt auf der nördlichen Halbkugel der höchste Luftdruck rechts hinten, der niedrigste Luftdruck links vorn; auf der südlichen Halbkugel liegt der höchste Luftdruck links hinten, der niedrigste Luftdruck rechts vorn.“

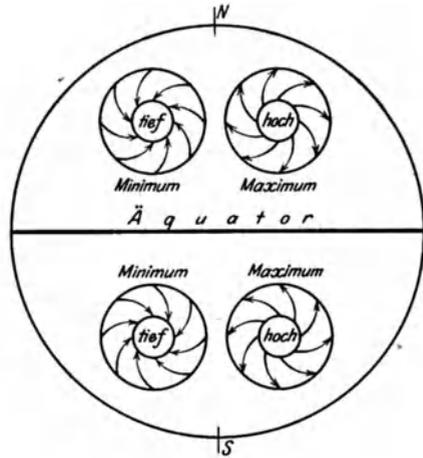


Abb. 16. Luftbewegungen an Hochdruck- und Niederdruckgebieten.

Das Gesetz von Stevenson besagt: „Die Windgeschwindigkeit ist um so größer, je größer der Gradient ist.“

Die nach einem Tiefdruckgebiet strömenden Winde nennt man Zyklone, die von einem Hochdruckgebiet ausgehenden Antizyklone. Im nördlichen Europa sind für die Entstehung der Stürme hauptsächlich die Tiefdruckgebiete maßgebend. Sie haben einen Durchmesser von 1600 bis 3000 km, der innere tiefste und gefährlichste Teil hat jedoch nur 300 bis 400 km Ausdehnung. Sie entstehen im nördlichen Teile des Atlantischen Ozeans und bewegen sich gewöhnlich innerhalb eines 25° breiten Streifens auf ziemlich bestimmten Bahnen von Westen nach Osten (vgl. die Wetterkarte Abb. 15, in welcher die Bahn des Mittelpunktes des Minimums punktiert eingetragen ist). Die nördlichste Zugstraße ihres Mittelpunktes verläuft über die Schettlandsinseln, die nördliche Nordsee, Südkandinavien und die mittlere Ostsee; die südlichste Zugstraße geht gewöhnlich von West-südwest nach Ostnordost über Spanien, Südfrankreich, nördliche Alpenländer, Südrußland. Die Fortschrittsgeschwindigkeit relativ zur Erde beträgt 6 bis 8 m/sek, ausnahmsweise sind am Ärmelmeer Geschwindigkeiten bis zu 34 m/sek beobachtet worden. Hiernach kann man mit Hilfe der von der deutschen Seewarte herausgegebenen Wetterkarten den Eintritt und Verlauf eines Sturmes ziemlich genau vorherbestimmen. Geht das Tief nördlich an einem Beobachtungsort vorüber, so ist nacheinander südlicher, südwestlicher, westlicher, nordwestlicher, nördlicher und nordöstlicher Wind zu erwarten, der die größte Heftigkeit beim Vorübergang des Zentrums als Südwest- bis Nordwestwind erreicht. Man nennt diesen Umlauf der Winde „rechtsdrehend“. Geht das Tief südlich am Beobachtungsort vorbei, so ist „linksdrehender“ oder „krimpender“ Wind zu erwarten. (Drehungsgesetz von Dove.) Der Vorübergang des Sturmgebietes

im Luftmeer dauert für einen Ort gewöhnlich 3 Tage. Zunächst wird eine rasche Abnahme des Luftdruckes beobachtet, es bilden sich Wolken, der Wind wird stürmisch, Regenböen treten ein; wenn alsdann der Mittelpunkt des Tiefes vorüber ist, nimmt der Luftdruck wieder zu, und das Wetter klart auf.

Aus ähnlicher Ursache und in ähnlicher Weise entstehen am Rande der Passatzonen die gefürchteten Taifune.

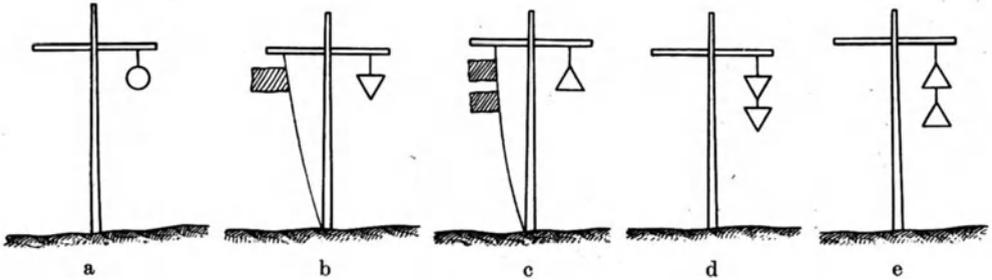


Abb. 17 a bis e. Sturmsignale.

Die deutsche Seewarte hat an der deutschen Nordsee- und Ostseeküste eine Reihe von Sturmwarnungssignalen eingerichtet. An der Raa eines von weither sichtbaren Mastes werden verschiedene Signalkörper aufgezogen (Abb. 17); es bedeutet:

- runder Ball (Abb. 17a): atmosphärische Störung;
- ein Kegel mit Spitze nach unten (Abb. 17b): Sturm aus Südwest;
- ein Kegel mit Spitze nach oben (Abb. 17c): Sturm aus Nordwest;
- zwei Kegel mit Spitze nach unten (Abb. 17d): Sturm aus Südost;
- zwei Kegel mit Spitze nach oben (Abb. 17e): Sturm aus Nordost.

Außerdem wird an dem andern Arm der Raa aufgezogen:

- eine rote Flagge bei rechtsdrehenden Stürmen (Abb. 17b);
- zwei rote Flaggen bei linksdrehenden Stürmen (Abb. 17c).

Bei Nacht wird als einziges Zeichen eine rote Laterne gezeigt.

Zur Gewinnung der Unterlagen für die Herstellung der Wetterkarten werden an zahlreichen Orten Beobachtungen des Luftdruckes, der Windrichtung und Windstärke und der Temperatur und Bewölkung sowie der Niederschläge ausgeführt. Seit Einführung der drahtlosen Telegraphie werden von den Dampfern aus auch Nachrichten aus dem inselosen Teile des atlantischen Ozeans an die Beobachtungsstationen übermittelt.

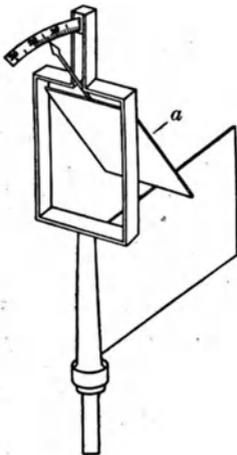


Abb. 18. Anemometer von Wild.

Die Heftigkeit eines Windes wird durch die in m/sek gemessene Geschwindigkeit der Luftteilchen angegeben. Der Winddruck wächst ungefähr im quadratischen Verhältnis zur Windgeschwindigkeit, er hängt aber im hohen Maße von der Form der getroffenen Fläche ab. Das Messen der Windgeschwindigkeit erfolgt mittels sogenannter Anemometer, die eigentlich durch den Winddruck betätigt werden. Abb. 18 stellt das einfachste Anemometer von Wild dar. Eine Tafel a, die durch eine genügend große Wetterfahne quer zur Windrichtung gestellt wird und mittels einer wagerechten Achse pendelnd aufgehängt ist, schwingt infolge des Winddruckes aus der senkrechten Lage aus. An einer angebrachten Teilung kann man sogleich die Windgeschwindigkeit ablesen, wenn die Vorrichtung vorher geeicht war.

Das Schalenkreuzanemometer von Robinson, Abb. 19, wird durch den Wind um eine lotrechte Achse gedreht, weil der Druck auf die hohlen Flächen der Schalen größer ist als auf die gewölbten. Die Drehung wird auf ein Zählwerk übertragen, das auch selbstschreibend ausgebildet werden kann. Das Verhältnis der Umdrehungsgeschwindigkeit zur Windgeschwindigkeit muß durch Versuche festgestellt werden.

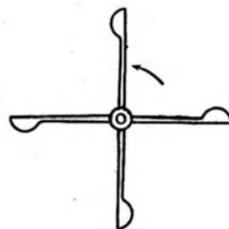


Abb. 19. Schalenkreuzanemometer von Robinson.

Ähnlich wirkt ein nach Art der Woltmannschen, Flügel ausgebildetes Flügelinstrument.

Die größten beobachteten Windgeschwindigkeiten sind 50 bis 60 m/sek in einzelnen besonders heftigen Stößen, für gewöhnlich wird aber das Maß von 40 m/sek nicht überschritten. Die Winddrücke betragen bei starken Stürmen bis zu 150 kg/qm, sie können jedoch in seltenen Ausnahmefällen bis zu 250 kg/qm anwachsen. Der Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Winddruck ist aus nachstehender Tabelle zu ersehen.

Der Seemann mißt den Wind meistens nach der von Beaufort aufgestellten Einteilung in 12 Heftigkeitsstufen (Windstärken). Ihre Bezeichnung und ihre Beziehungen zu Windgeschwindigkeit und Winddruck sind folgende:

Beaufortsche Windeinteilung.

Stärke	Bezeichnung	Geschwindigkeit in m/sek	Druck in kg/qm
0	Windstille oder sehr leiser Zug	0—1,3	0—0,2
1	leiser Zug	3,6	1,5
2	flaue Brise	5,8	4,1
3	leichte Brise	8,0	7,7
4	mäßige Brise	10,3	12,6
5	frische Brise	12,5	18,9
6	steife Brise	15,2	27,9
7	harter Wind	17,9	38,7
8	stürmischer Wind	21,5	55,6
9	Sturm	25,0	75,6
10	starker Sturm	29,1	102,5
11	schwerer Sturm	33,5	135,7
12	Orkan	40,2	195,5

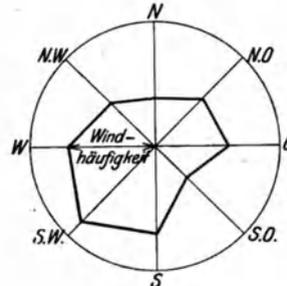
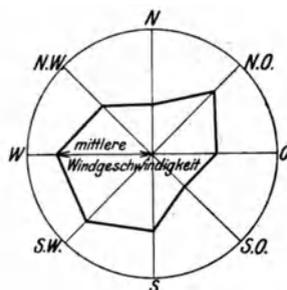


Abb. 20. Getrennte Darstellung der Windstärke und Windhäufigkeit für einen Ort.

Die Verteilung der Winde ist für verschiedene Orte verschieden. Ihre Kenntnis ist wichtig für die Anordnung von Hafendämmen und Hafeneinfahrten. Man stellt daher die arithmetischen Mittel der Windstärken und die Häufigkeiten für alle Windrichtungen fest und veranschaulicht die Ergebnisse durch zeichnerische Darstellung. Die Abb. 20 zeigt getrennt die Windstärken und Häufigkeiten für einen Beobachtungsort. In Abb. 21 ist eine ebenfalls oft gebrauchte Darstellung wiedergegeben, bei welcher die Häufigkeiten aller Windrichtungen auf den Strahlen der Windrose, die zugehörigen Windstärken als Strecken senkrecht zu diesen

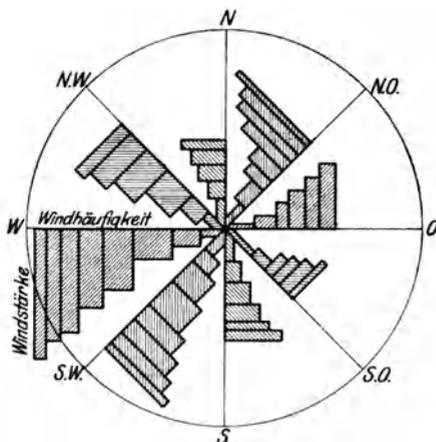


Abb. 21. Gemeinsame Darstellung der Windstärke und Windhäufigkeit für einen Ort.

Strahlen eingetragen sind. Auch die Ermittlung der mittleren Windrichtung für bestimmte Zeiträume mit Hilfe des Geschwindigkeitspolygons sowie die Darstellung der Produkte aus Windhäufigkeit und Windstärke sind für manche wissenschaftliche Zwecke von Bedeutung.

B. Windstau und Sturmfluten.

Der über eine Seefläche streichende Wind erzeugt die im nächsten Kapitel beschriebene Wellenbewegung. Er bewirkt außerdem durch die Reibung zwischen Luft und Wasser, daß Teile des letzteren in der Windrichtung mit fortgerissen werden; es bilden sich also Windströmungen. Wenn diese gegen die luvseitige¹⁾ Küste stoßen, so staut sich das Wasser allmählich an. Der auf die geneigte Fläche wirkende Winddruck erhält das Gleichgewicht. Andererseits entstehen durch ablandigen Wind Wasserstandssenkungen an einer in Lee gelegenen Küste. Durch diese Erscheinungen können erhebliche Wasserstandsänderungen herbeigeführt werden, die bisweilen die Grenzen der durch Ebbe und Flut hervorgerufenen sowohl nach oben als auch nach unten weit übertreffen. Art der Sturm, der das Wasser an einer Küste anstaut, zum Orkan aus und dauert er längere Zeit an, so entstehen verheerende Sturmfluten.

In der Nordsee entstehen für die deutschen Küsten die höchsten Sturmfluten bei Nordweststurm, wenn gleichzeitig im Ärmelkanal und im Busen von Biskaya Südwest weht; es trifft dann die aus dem Kanal kommende Stauwelle mit derjenigen aus dem Nordseebecken zusammen. Während der Sturmflut am 12./13. März 1906 betrug der Windstau nicht weniger als 3,7 m über dem mittleren Hochwasser am Pegel zu Husum. Noch erheblich höher steigt die Sturmflut über das Niedrigwasser der Ebbe. Bei Eintritt der Flut findet also scheinbar ein Nachlassen des Windstauens statt oder, mit anderen Worten, der Windstau gleicht den Unterschied zwischen Hochwasser und Niedrigwasser der Tiden zum Teil aus. Dieser glückliche Umstand erklärt sich dadurch, daß die Gezeitenflutwelle bei Sturmflut bereits einen zum Ufer ansteigenden Wasserberg vorfindet, dessen Böschung sie hinauflaufen muß, dabei erleidet sie eine beträchtliche Abschwächung. Die Annahme, daß die Sturmfluten bei Syzigenstellung von Sonne, Mond und Erde (vgl. S. 35) am heftigsten seien, ist nicht zutreffend; im Gegenteil wirken Windstau und Gezeitenflutwelle sich bis zu einem gewissen Grade entgegen.

Einzelne besonders schwere Sturmfluten haben große Einbrüche des Meeres in das Land herbeigeführt; in geschichtlicher Zeit entstanden auf diese Weise der Jadebusen (1066), der Dollart (1377) und die Zuider See (1287). Im allgemeinen werden aber die durch die Sturmfluten verursachten Landverluste vielfach überschätzt. Die in manchen Lehrbüchern verbreitete Angabe, daß auch die Ost- und Nordfriesischen Inseln Überreste einer in geschichtlicher Zeit untergegangenen Landmasse seien, ist nicht begründet²⁾.

An der südlichen und westlichen Ostseeküste entstehen Sturmfluten, wenn das Ostseebecken durch längere Zeit andauernde Westwinde gefüllt ist und wenn alsdann der Wind, zum Orkan werdend, plötzlich auf Nordost überspringt. Die durch Sturmfluten an den Ostseeküsten in einzelnen Fällen angerichteten Verheerungen sind kaum geringer gewesen als diejenigen im Nordseegebiet. Jedoch sind die Sturmfluten in der Ostsee viel seltener, weil orkanartige Nordostwinde an sich schon weniger häufig eintreten als die für die Nordseeküste gefährlichen Nordwestwinde und weil außerdem noch die Füllung des Ostseebeckens durch längere Zeit ununterbrochen wehende Westwinde der Erscheinung vorangehen

¹⁾ Die „Luvseite“ eines Gegenstandes ist die dem Winde zugekehrte Fläche; die windab liegende Fläche heißt „Leeseite“.

²⁾ Vgl. Fülischer, Über Schutzbauten zur Erhaltung der ost- und nordfriesischen Inseln. Zeitschr. für Bauwesen 1905.

muß. Die letzten großen Fluten der Ostsee waren am 13. November 1872, am 30./31. Dezember 1904 und im Januar 1914. Der Wasserstand erreichte an der schleswig-holsteinischen Küste eine Höhe von 3,30 m über Mittelwasser. Allein an der pommerschen Küste entstand durch die Flut von 1904 ein Landverlust von mehr als 2000 ha. Glaubhafte Nachrichten besagen, daß besonders im 14. und 15. Jahrhundert bedeutende Landflächen zwischen Rügen und Usedom durch Sturmfluten verschlungen worden sind¹⁾.

Die größten bekannt gewordenen Wasserstandssenkungen infolge der Windwirkung betragen an der Nordsee (Cuxhafen) 2,26 m unter mittl. Niedrigwasser am 6. März 1881, in der Ostsee (Kiel) 1,76 m unter Mittelwasser am 29. November 1909.

Die Winde bestimmen nicht nur die Höchst- und Niedrigstwerte der Wasserstände, sondern sie haben auch auf die Bildung des Mittelwassers großen Einfluß. So sind gewisse regelmäßige Schwankungen des Mittelwassers im Roten Meere, in der Ostsee und auch in der Nordsee durch periodischen Wechsel der vorherrschenden Winde im Monatsdurchschnitt zu erklären.

4. Abschnitt. Wellenbewegung.

A. Ursache und Gestalt der Wellen.

Die Oberfläche jeder im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit wird durch die auf sie einwirkenden Kräfte bestimmt; sie ist eine Ebene, wenn die Kräfte gleichmäßig verteilt und parallel sind, eine Kugelfläche, wenn sie gleichmäßig verteilt und nach einem Punkt gerichtet sind, wie z. B. annähernd die Schwerkkräfte der Erde. Wird das Gleichgewicht einer Wassermenge mit freier Oberfläche durch eine äußere Einwirkung gestört, so gerät die Wassermenge in Schwingungen, die Oberfläche zeigt dann die bekannte Form der Wasserwellen. Dabei führen die einzelnen Wasserteilchen kreisende Bewegungen aus, ohne daß sie dauernd fortschreiten; nur die Wellenform, der Wechsel zwischen Erhebung und Vertiefung der Oberfläche, bewegt sich vorwärts. Die Erhebungen nennt man Wellenberge, die Vertiefungen Wellentäler. Der höchste Punkt eines Wellenberges heißt der Scheitel, der tiefste heißt Wellenfuß. Der senkrechte Höhenunterschied zwischen Scheitel- und Fußpunkt ist die Wellenhöhe, der Abstand zweier benachbarter Scheitel- oder Fußpunkte ist die Wellenlänge (vgl. Abb. 22).

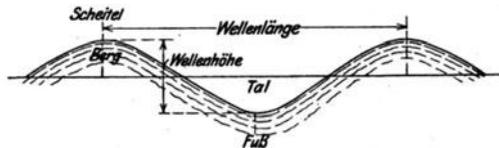


Abb. 22. Bezeichnungen bei Wasserwellen.

Für den Verlauf der Erscheinung sind maßgebend die Fortschrittsgeschwindigkeit und die Schwingungsdauer, d. i. die Zeit, in welcher die Bewegung um das Maß einer Wellenlänge fortschreitet.

Die häufigste und an allen Orten wirksame Ursache der Meereswellen ist der Wind. Die Größe der Windwellen hängt einerseits ab von der Stärke des Windes, andererseits von der Länge, auf der er die Seefläche bestreicht, der sogenannten Streichlänge. Letztere ist nur solange mit der Ausdehnung der dem Beobachtungsorte luvseitig vorgelagerten Wasserfläche, der sogenannten Landentfernung, gleichbedeutend, wie die Ausdehnung des Windes sich über diese ganze Wasserfläche erstreckt. Nach den Ausführungen im vorstehenden Abschnitt 3 ist aber die Ausdehnung eines Windfeldes nur beschränkt. Bei großen Meeren ist daher die Landentfernung meistens erheblich größer als die Streich-

¹⁾ Nach E. Steurich, die Sturmfluten in der Ostsee. Diese kleine Schrift enthält einige bemerkenswerte Stellen aus alten Chroniken über die Fluten von 1304 und 1449.

länge. Riesenhafte Sturmwellen können nur dann entstehen, wenn ein großes Sturmfeld sich mit einer großen Seefläche deckt.

Die Messung der wahren Wellenformen ist eine schwierige Aufgabe, die erst neuerdings mit Hilfe des Meßbildverfahrens befriedigend gelöst werden kann. Die bisherigen Angaben über die größten Sturmwellen sind widerspruchsvoll, wie aus nachstehender Zusammenstellung¹⁾ hervorgeht.

Beobachtungsort	Wellenhöhe	Wellenlänge	Fortschritts- geschwindigkeit	Schwingungs- dauer	Verhältnis Wellenhöhe
	m	m	m/sek	sek	Wellenlänge
Atlantischer Ozean	6,0	91	7,2	13	1 : 15
„ „	6,6	100	8,1	12	1 : 15
„ „	8,0	170	15,0	11	1 : 21
„ „	6,71	582	45,0	13	1 : 86
„ „	?	824	35,8	23	?
Indischer	11,5	240	19,4	12	1 : 21
Stiller	14,0	230	26,0	9	1 : 16,5

Man kann annehmen, daß die Wellen im Ozean 8 bis 10 m, im Meerbusen von Biskaya 6 bis 7 m, am Ausgang des Ärmelkanals 5 bis 6 m, in der Nordsee 4 bis 5 m, in der Ostsee 4 m, im Mittelländischen Meere etwa 5 m Höhe erreichen können.

Über die Abhängigkeit der Wellenhöhe von der Streichlänge des Windes gibt Stevenson folgende Erfahrungsformeln an:

Für größere Streichlängen

$$H = 0,45 \sqrt{f};$$

für kürzere Streichlängen

$$H = 0,45 \sqrt{f} + (0,75 - 0,3 \sqrt{f})^4.$$

Hierin bedeutet H die Wellenhöhe in m, f die Streichlänge in Seemeilen (1852 m). Die Formeln sind nicht sehr zuverlässig, sie gelten nur für die höchsten Wellen bei heftigem Sturme, der Einfluß wechselnder Windstärke ist nicht berücksichtigt.

Nach Beobachtungen, die der Verfasser auf der Reede von Saßnitz angestellt hat²⁾, bestehen folgende Zusammenhänge zwischen der Windstärke und der innerhalb der Streichlänge liegenden Landentfernung einerseits und den mittleren Wellengrößen andererseits:

Windstärke nach Beaufort	Mittlere Wellenhöhe m	Mittlere Wellenlänge m	Mittlere Schwingungs- zahl in 1 Minute
a) Landentfernung 5 km			
2	0,115	3,2	36,5
3	0,20	5,0	32
4	0,24	6,5	27,5
5	0,30	8,5	23
6	0,50	11,6	19
b) Landentfernung 50 km			
2	0,172	4,5	29,5
3	0,27	7,0	26
4	0,39	10,5	20
5	0,53	17,0	17
6	0,77	22,0	14
c) Landentfernung 200 km			
2	0,26	6,5	22
3	0,33	9,0	18,5
4	0,40	12,0	14
5	0,48	15,0	13
6	0,66	18,0	11,5

Das Verhältnis zwischen Wellenhöhe und Wellenlänge schwankte in den beobachteten Fällen zwischen 1 : 21 und 1 : 36, im Mittel betrug es 1 : 26. Es ist am kleinsten bei mittleren Windgeschwindigkeiten und großen Landentfernungen und Streichlängen, am größten bei großen Windstärken und kurzen Landentfernungen. In abgeschlossenen Buchten treten also bei starken Stürmen kurze steile Wellen auf.

Die merkwürdige Erscheinung der Seichen oder Seebären ist vielleicht auch auf die Wirkungen des Windes

¹⁾ Nach F. W. O. Schulze, Seehafenbau I. S. 142.

²⁾ Proetel, Beobachtungen über Meereswellen. Zeitschrift für Bauwesen 1912.

zurückzuführen. Sie macht sich dadurch kenntlich, daß das Wasser an einer Seite einer großen Bucht plötzlich steigt und wieder fällt, während an der entgegengesetzten Seite zu gleicher Zeit das Umgekehrte eintritt. Dasselbe wiederholt sich bisweilen im Atstade von einigen Stunden noch mehrmals. Vielleicht handelt es sich dabei um langsame stehende Schwingungen der ganzen Wassermasse der Bucht. Eine einwandfreie Erklärung dieser Vorgänge ist noch nicht gefunden; nach einer anderen Anschauung sind sie auf vulkanische Ursachen zurückzuführen.

Nächst den Windwellen sind die durch ungleichmäßige Einwirkung der Gestirne verursachten Flutwellen die häufigsten; diese sind in Abschn. 5 ausführlich beschrieben. Außerdem können durch Felsstürze und Erdbeben die sogenannten Stoßwellen erzeugt werden. Der Ausbruch des Krakatau im August 1883 verursachte Wellen, die noch an der südafrikanischen Ostküste bemerkt wurden. Beim Erdbeben von Limoda (Japan) entstand ein Wellenstoß, der sich in wenigen Stunden bis San Franzisko fortpflanzte; die Fortschrittsgeschwindigkeit hat man zu 400 m/sek, die Wellenlänge zu 340 km berechnet.

B. Theoretisches über die Wellenbewegung.

Helmholz hat nachgewiesen, daß die Berührungsfläche zweier sich nicht vermischender unstarrer Medien, die sich mit verschiedener Geschwindigkeit bewegen, Wellenform annimmt. Die Ursache sind die infolge der Reibungskräfte und der Nachgiebigkeit der Medien entstehenden Wirbel. Ist das Gleichgewicht erst einmal gestört und die Schwingung dadurch eingeleitet, so ist eine periodische Ungleichmäßigkeit der gegenseitigen Einwirkung der beiden Medien bedingt; die Intensität der Schwingungen wird solange gesteigert, bis die Arbeit der inneren Reibung der bewegten Medien der Arbeit der äußeren Einwirkungen gleicht.

Nach Beobachtungen, die in Deutschland besonders von den Gebrüdern Weber und von Gotthilf Hagen gemacht sind, bewegen sich die Wasserteilchen auf geschlossenen Bahnen, die bei tiefen Gewässern nahezu Kreise sind. Der Durchmesser dieser Schwingungskreise ist an der Oberfläche gleich der Wellenhöhe, er nimmt mit zunehmender Wassertiefe rasch ab.

Die beiden Grundbedingungen der Wellenschwingung sind: 1) Alle Wasserteilchen müssen sich so bewegen, daß kein Hohlraum entsteht (Raumbedingung); 2) die Teilchen dürfen sich bei ihrer Schwingung nicht behindern; Schwerkraft, Nachbardrücke und Trägheitswiderstand müssen miteinander im Gleichgewicht sein, so daß die lebendige Kraft erhalten bleibt (dynamische Bedingung).

Der Bewegungsvorgang wird durch die Abb. 23 erläutert. Man denke sich die Wassermasse im Ruhezustand in parallele gleichbreite Streifen a, b, c, d, e usw. zerlegt. Wird das Gleichgewicht an der Oberfläche gestört, so müssen die Streifen infolge der Nachgiebigkeit des Wassers ihre Form verändern. Streifen a sei nach unten gedrückt, so daß der Oberflächenpunkt I nach 1 rückt. Der Streifen verbreitert sich dadurch und drückt die Nachbarstreifen zur Seite; letztere senken sich

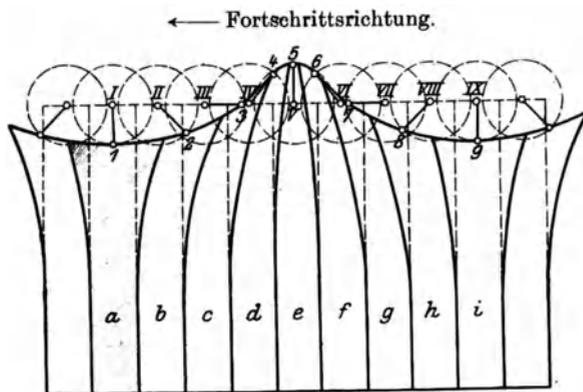


Abb. 23. Darstellung der Wellenschwingungen.

außerdem infolge des nachlassenden Seitendruckes unter dem Einfluß der Schwerkraft, der Oberflächenpunkt II rückt also nach 2. Die Streifen c, d, e erleiden vermehrten Seitendruck, jedoch wird ihr seitliches Ausweichen durch den Trägheitswiderstand der Nachbarstreifen zum Teil gehindert, sie werden daher schmaler und dehnen sich nach oben aus; Punkt III rückt nach 3. Punkt IV nach 4, V nach 5 usw. Der Einsenkung des Wasserspiegels bei I, II entspricht also eine Aufquellung bei IV, V, wie es in der Abb. 23 dargestellt ist. Der Zustand kann aber nicht bestehen bleiben, sondern es schnellen die unter höherem Druck stehenden Streifen a, b wieder nach oben und die über die Spiegelfläche gehobenen Streifen d, e, f fallen wieder nach unten. Wegen der lebendigen Kraft bleiben sie jedoch nicht in der Niveaubene stehen, sondern sie schwingen, genau wie ein Pendel, über die Ruhelage hinaus, um alsdann die soeben beschriebenen Bewegungen von neuem durchzumachen. Die einzelnen Streifen führen daher zwar gleiche Bewegungen aus, aber sie befinden sich in verschiedener Phase. Während der Streifen b sich nach rechts bewegt, ist Streifen a in der tiefsten Lage, d erhebt sich, e ist in der höchsten Lage und f erniedrigt sich wieder, d. h. der tiefste Punkt der Wellenform, der in der Abbildung 23 dem Streifen a angehört, wandert nach dem linken Nachbarstreifen, der höchste Punkt vom Streifen e zu d, c usw.; wenn die Kreisbewegung im entgegengesetzten Sinne des Uhrzeigers erfolgt, so schreitet die Form der Welle von rechts nach links fort, trotzdem die Wasserteilchen ihren Streifen nicht verlassen. Der Punkt 1 nimmt beispielsweise in bezug auf den festen Punkt I nacheinander dieselben Lagen ein, wie 2 zu II, 3 zu III usw., d. h. er umkreist ihn. Alle Punkte einer ursprünglich senkrechten Linie schwingen in Kreisen und befinden sich in derselben Schwingungsphase.

Unter der allerdings nicht streng zutreffenden Voraussetzung, daß die Bahnen der einzelnen Wasserteile Kreise sind, und daß sowohl die Kreisbewegung als auch das Fortschreiten der Scheitelwanderung von Streifen zu Streifen gleichmäßig erfolgt, ist die Wellenform eine Kreiscykloide, und da die Fortschrittsgeschwindigkeit der Wanderung schneller ist als die Umfangsgeschwindigkeit der kreisenden Oberflächenpunkte, ist die Wellenlinie eine verlängerte Cykloide, die man als Trochoide bezeichnet.

Die Entstehung dieser Kurve ist in Abb. 24 veranschaulicht. Zu einem bestimmten Zeitpunkt befinden sich die Oberflächenpunkte der Streifen, die

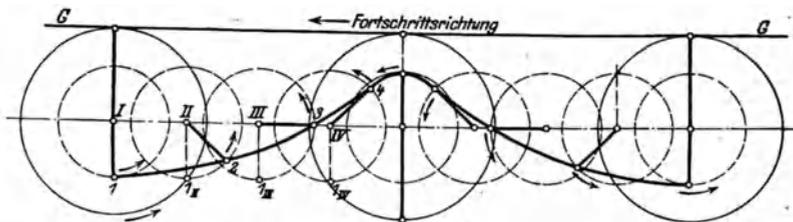


Abb. 24. Entstehung der Trochoidenform.

bei ebener Wasserfläche in I, II, III, IV liegen würden, in den Lagen 1, 2, 3, 4 usw., d. h. die Zentriwinkel $1_{II} II 2$, $1_{III} III 3$ usw. sind den Abständen I—II, I—III usw. proportional. Schlägt man daher um I einen Hilfskreis mit einem solchen Radius R, daß die zum Zentriwinkel $2 II I_{II}$ gehörige Bogenlänge gleich der Strecke I II ist, so rollt sich dieser Kreis auf einer im Abstande R zur Spiegellinie parallelen Geraden GG' ab, wobei der innerhalb des Kreisumfangs liegende Punkt I die Trochoide beschreibt.

Aus der Theorie der Trochoide lassen sich folgende Formeln für den Fall unbegrenzter Wassertiefe herleiten.

Ist L die Wellenlänge, H die Wellenhöhe, V die Fortschrittsgeschwindigkeit, T die Schwingungsdauer und g die Erdbeschleunigung, so ist

$$I) \quad L = \frac{g}{2\pi} T^2 = 1,56 T^2,$$

$$II) \quad T = \sqrt{\frac{2\pi}{g} L} = 0,8 \sqrt{L},$$

$$III) \quad V = \frac{L}{T} = \frac{g}{2\pi} T = 1,56 T$$

oder

$$Ia) \quad L = \frac{2\pi}{g} V^2 = 0,64 V^2,$$

$$IIa) \quad T = \frac{2\pi}{g} V = 0,64 V,$$

$$IIIa) \quad V = \sqrt{\frac{g}{2\pi} L} = 1,25 \sqrt{L}.$$

Eine Beziehung zwischen der Höhe H und den andern Größen läßt sich aus der Trochoidentheorie nicht herleiten.

Ist $r = \frac{H}{2}$ der Halbmesser des Schwingungskreises an der Oberfläche, ρ derjenige in der Tiefe Z , v die Kreisungsgeschwindigkeit der Wasserteilchen an der Oberfläche, so ist

$$IV) \quad \rho = r \cdot e^{-\frac{2\pi Z}{L}},$$

worin e die Basis des natürlichen Logarithmensystems bedeutet,

$$V) \quad v = \frac{2r\pi V}{L}.$$

Aus IV) erkennt man, daß der Durchmesser des Schwingungskreises mit zunehmender Tiefe ziemlich rasch abnimmt. Für eine 90 m lange und 5 m hohe Ozeanwelle ergibt sich:

in einer Tiefe von	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90 m
ist $\rho =$	2,5	1,25	0,63	0,31	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01	0,005 m

Bei begrenzter Wassertiefe können die am Grunde befindlichen Wasserteilchen nicht mehr im Kreise schwingen, sondern nur wagerechte Bewegungen ausführen. Die darüber liegenden Schichten schwingen in flachen elliptischen Bahnen, die mit zunehmender Höhe immer kreisförmiger werden. Nach der Theorie müßten die Scheitel schneller fortschreiten als die Fußpunkte. In der Tat zeigt sich diese Erscheinung als Brandung in flachen Meeren bei starkem Seegang.

Die Cykloidentheorie gibt in ihrer heutigen Entwicklung noch keine befriedigende Erklärung der Wellenerscheinung, da sie den tatsächlich bestehenden Zusammenhang zwischen L und H nicht erkennen läßt. Auch gestattet sie nicht, die Wellengrößen aus der Windstärke und Streichlänge vorherzubestimmen.

Ob die im offenen Ozean gemessenen Wellenformen mit dieser Theorie übereinstimmen, wie in manchen Lehrbüchern behauptet wird, ist bisher nicht einwandfrei nachgewiesen; in der Nordsee und Ostsee sind die Abweichungen sehr bedeutend, zum Teil größer als 100 von Hundert¹⁾. Auch zeigen weder die

¹⁾ Vgl. die in der Fußnote auf S. 24 genannte Arbeit des Verfassers.

Meßbildaufnahmen von Windwellen noch die Aufzeichnungen von Flutwellen durch selbstzeichnende Pegel die charakteristische Trochoidenform mit spitzen Bergen und flachen Tälern, sondern sie zeigen bei unbehindertem Verlauf der Erscheinung eher Sinuslinien mit symmetrischen Erhebungen und Senkungen. Die Abweichungen dürften daher rühren, daß die Bahnen der schwingenden Wasserteilchen keine genauen Kreise sind und daß ihre Umfangsgeschwindigkeit nicht gleichförmig ist, sondern sich durch den Einfluß der Schwerkraft periodisch ändert.

C. Wirkungen der Meereswellen.

Für die tatsächliche Wellenerscheinung ist der Umstand von Bedeutung, daß fast niemals ein einzelnes System gleichmäßig fortschreitender Wellen vorhanden ist. Weil der Wind in größerer Entfernung anders gerichtet ist oder mit anderer Stärke weht, sind stets mehrere durcheinander gehende Wellensysteme vorhanden, die alle Erscheinungen der Interferenz erkennen lassen. Außerdem ändern auch Strömungen und Küstenbildung die Wellenformen ab.

Wenn der Grund ansteigt, so wird der Wellenfuß stark verzögert, während der Scheitel fortschreitet. Die Wellen werden sehr steil und kippen schließlich vornüber, sie „brechen“ oder „branden“. Dabei geht die schwingende Bewegung in eine fortschreitende über, und die Welle übt heftige Stöße aus. Die Brandung ist an jedem Meeresufer zu beobachten, sie macht sich schon von weitem als weiße Schaumzone kenntlich. Ähnliche Erscheinungen entstehen auf offener See



Abb. 25. Brecherbildung.

bei starken Stürmen. Der Wind drückt dann auf den Wellenberg, flacht dessen luvseitige Fläche ab und macht die leeseitige Fläche steil (Abb. 25); wenn dann der Wellenberg schließlich vornüber kippt, so entstehen die gefürchteten Brecher

oder Sturzseen, die imstande sind, die Aufbauten der Schiffe zu zertrümmern und Menschen und Gegenstände über Bord zu schlagen.

Wenn zahlreiche Systeme von Wind- oder Reflektionswellen aus verschiedenen Richtungen durcheinander laufen oder wenn Wellen auf starke Strömungen treffen, so entstehen höchst unregelmäßige Bewegungen, die man als kabbelige See bezeichnet. Im Zentrum eines Taifuns tritt diese Erscheinung besonders

stark auf, weil der Orkan aus allen Richtungen gewaltige Sturmwellen dorthin treibt (vgl. S. 19 u. 20); ein Schiff, das da hinein gerät, ist stark gefährdet.

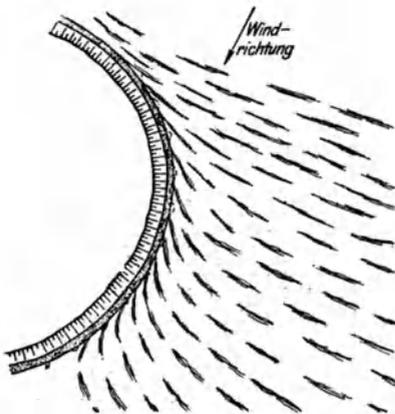


Abb. 26. Wellenablenkung an gekrümmten Küsten. (An der Halbinsel Jasmund beobachtet.)

Ein Branden der Wellen findet auch über einzeln liegenden Untiefen statt, weil der untere Teil der schwingenden Wasserstreifen (Abb. 23) Widerstand findet. Die sich an der Meeresoberfläche kenntlich machende Störung ist um so größer, je steiler die Untiefe ansteigt. An der Neufundlandbank zeigt sich diese Erscheinung bei starken Stürmen bereits an Stellen, wo die Wassertiefe noch 100 m beträgt. Hinter der Untiefe sind die Wellen abgeschwächt. Werden dann noch mehrere Untiefen überschritten, so ist die Bewegung schon wesentlich gedämpft. Untiefen vor Häfen sind daher günstig, soweit sie nicht der Schifffahrt

gefährlich werden. Die offenen Reeden von Ostende und Dünkirchen sind auf diese Weise von Natur aus geschützt.

Treffen Wellen schräg auf einen allmählich ansteigenden Strand, so findet infolge der Verzögerung der Fortschrittsbewegung durch die Reibung im flachen Wasser eine Ablenkung der Wellenrichtung statt (Abb. 26). An gekrümmten Küsten schlagen die Wellen daher unabhängig vom Winde immer in einem ziemlich steilen Winkel an den Strand. Aus derselben Ursache ist das in Abb. 27 dargestellte Wellenbild entstanden, das bei der Ostseeinsel Greifswalder Oie bei Nordoststurm beobachtet werden kann. Es laufen dort auf der Leeseite die Wellen fast gegen den Wind. Auch Molenköpfe in tieferem Wasser lenken die Wellen so ab, daß sie um das Hindernis herum-schwenken und zum Teil in den Hafen gelangen (Abb. 28).

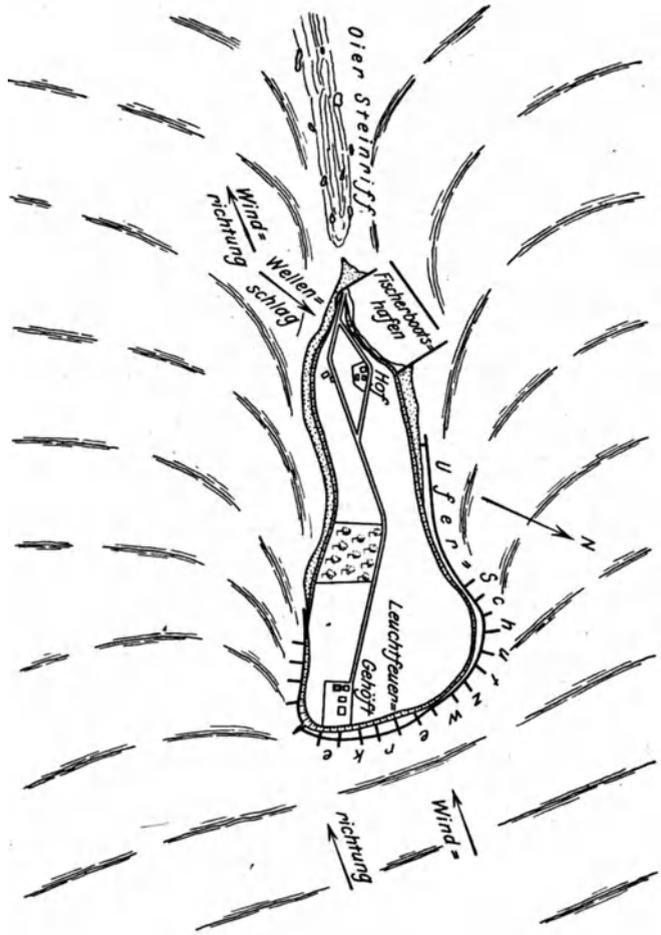


Abb. 27. Wellenbild von der Greifswalder Oie.

Treffen die Wellen senkrecht gegen eine feste Wand, so findet eine deutliche Reflexion statt; das neue Wellensystem durchdringt das ursprüngliche, und es zeigen sich dabei Interferenzerscheinungen. Vor der Ostmole in Saßnitz kann aus dieser Ursache das Zustandekommen stehender Wellen beobachtet werden (Abb. 29). Die Punkte a bleiben infolge der Durchdringung in Ruhe, während die Punkte b abwechselnd nach oben und unten ausschlagen.

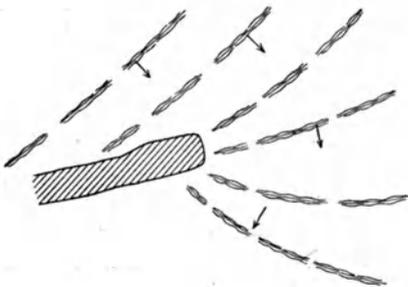


Abb. 28. Herumschwenken der Wellen um einen Molenkopf.

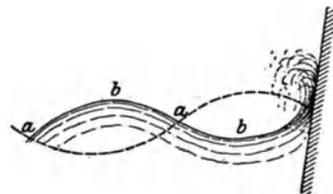


Abb. 29. Zustandekommen stehender Wellen.

Reflektierend wirken Wände bis zu etwa 45° Neigung, an flacheren Böschungen laufen die Wellen empor. Vor der Annahme, daß senkrechte Wände durch die Reflektion keinen Stoß erhielten, muß gewarnt werden; man beobachtet auch an steilen Molen eine erhebliche Brandung. An der im Unterbau unter 4 : 1 geneigten Mole zu Saßnitz ist die Brandung so stark, daß schon bei mittleren Stürmen das Betreten der Mole, die nach Abb. 217 S. 163 gestaltet ist, unmöglich wird.

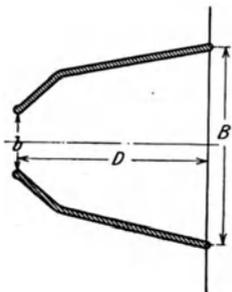


Abb. 30.
Wellenschwächung
durch schräggestellte
Hafendämme.

Laufen Wellen in trichterförmig sich verengende Buchten, so werden sie erhöht; diese Erscheinung macht sich unter anderm in der Bucht von Genua unangenehm bemerkbar. Wenn die Wasserfläche sich dagegen in der Richtung des Wellenfortschrittes erweitert, so werden die Wellen abgeschwächt. Daher wirken Hafendämme, die nach Abb. 30 angeordnet sind, besonders günstig für die Beruhigung der durch die Öffnung einlaufenden Wellen. Für das Maß der Abschwächung gibt Stevenson folgende Erfahrungsformel an. Ist H die Wellenhöhe vor der Hafeneinfahrt, h diejenige an der gegenüberliegenden Kaikante, und werden die aus Abb. 30 ersichtlichen Längen in Metern gemessen, so ist

$$\frac{h}{H} = \sqrt{\frac{b}{B}} - 0,027 \left(1 + \sqrt{\frac{b}{B}} \right)^4 \sqrt{D}.$$

Die Gewalt des Wellenstoßes ist sehr bedeutend. Am Südmolenkopfe in Pillau sind Betonblöcke von 400 t Gewicht bei dem starken Sturme am 23. Dezember 1894 verschoben worden¹⁾. In Ymuiden wurden mehrere 20 t schwere Betonblöcke von der äußeren Molenschüttung über die Mole hinweg in den Vorhafen geschleudert.

Zum Messen der Stoßkraft der Wellen verwendete Stevenson den in Abb. 31 dargestellten Federstoßmesser, der an der Außenseite einer Mole oder an einem Felsen angeschraubt wurde. Die Scheibe a ist durch 4 Stangen b gehalten,

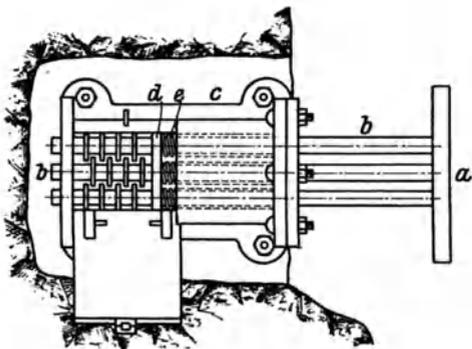


Abb. 31. Wellenstoßmesser von Stevenson.

Die Scheibe a trifft, so werden die Stangen b unter Anspannung der Federn e eine gewisse Strecke rückwärts durch den Zylinder hindurchgeschoben. Nach Aufhören des Stoßes werden sie durch die Federkraft wieder vorgetrieben. Hinter der Scheibe d sind vor dem Versuche mehrere Lederringe im gleichen Abstände auf den Stangen b aufgereiht; dadurch, daß die hintersten durch die Bewegung der Stangen aus ihrer Lage geschoben werden, läßt sich nachträglich die größte Bewegung der Stangen b ermitteln. Hieraus kann man die Stoßkraft der Wellen feststellen, wenn man eine gleich große Bewegung durch Gewichtsbelastung hervorruft.

Gaillard benutzte zu gleichem Zwecke ein durch eine Membran F ge-

¹⁾ Vgl. Anderson, Bericht zum X. internationalen Schiffahrtskongreß in Mailand.

schlossenes, mit Flüssigkeit gefülltes Gefäß A, von dem ein dünnes Rohr P zu einem Manometer G führte (Abb. 32). T ist ein durch den Hahn C abstellbares Gefäß zur vollständigen Auffüllung des Membrangefäßes A und der Rohrleitungen. Der durch die Wellen auf die Membran ausgeübte Druck wird von dem Manometer direkt angezeigt¹⁾.

Nach den Versuchen Stevensons und Gaillards liegt der größte Wellenangriff in der Höhe des ruhenden Wasserspiegels. Dort beträgt der größte Druck am Ozeanstrande 30 bis 35 t/qm, an der Nordsee 15 bis 20 t/qm. Wellen, die in eine Höhlung hineinschlagen, üben nach oben noch erheblich größere Stöße aus.

Oberhalb und unterhalb der Wasserlinie läßt der Druck ziemlich schnell nach.

Die zum Kanten eines rechteckig-prismatischen Blockes erforderliche Kraft in t/qm ist bei den in Abb. 33 angegebenen Abmessungen

$$P = \frac{b^2}{c} (\gamma_1 - \gamma),$$

wenn γ_1 das spezifische Gewicht des Blockes, γ dasjenige des Wassers bedeutet. Zum Verschieben dieses Blockes bedarf es der Kraft (in t/qm)

$$P = \mu \cdot b (\gamma_1 - \gamma),$$

wobei μ die Reibungszahl zwischen

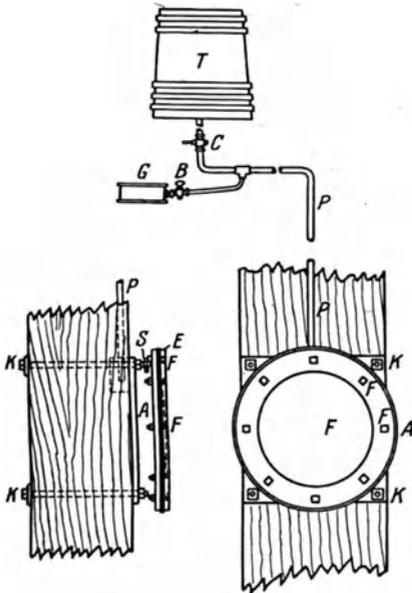


Abb. 32. Wellenstoßmesser von Gaillard.

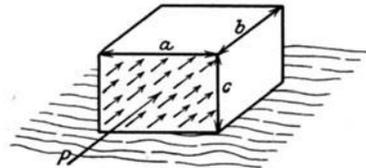


Abb. 33. Bewegung eines rechteckig-prismatischen Blockes.

Block und Unterlage bezeichnet. Zum Heben desselben Blockes müßte von unten die Kraft wirken

$$P_1 = c (\gamma_1 - \gamma).$$

Einer Stoßkraft P in t/qm entspricht eine Wassergeschwindigkeit

$$v = \sqrt{P \cdot g} \text{ in m/sek.}$$

Zur Beruhigung der Wellen wird mit Erfolg das Außgießen von Öl angewendet. Letzteres verteilt sich in sehr dünner Schicht über die Wasserfläche und vermag diese bis zu einem gewissen Grade zu glätten; während die Brecher fast verschwinden, bleibt die schwingende Bewegung jedoch bestehen. Die merkwürdige Wirkung des Öles bedarf noch der wissenschaftlichen Erklärung.

5. Abschnitt. Tidebewegung.

A. Allgemeines.

An den Ozeanen und den damit in Verbindung stehenden Randmeeren beobachtet man, daß der Wasserstand in Zeiträumen von etwa 25 Stunden zweimal ansteigt und wieder fällt. Man nennt diese Erscheinung die Gezeiten oder Tiden. Das Steigen des Wassers heißt Flut, das Fallen Ebbe, die obere

¹⁾ Abb. 32 ist entnommen aus Schulze, Seehafenbau.

Wasserstandsgrenze Hochwasser, die untere Niedrigwasser. Der Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser heißt Flutwechsel, Flutgröße oder Tidehub. Den Verlauf der Erscheinung von einem Hochwasser zum folgenden oder von einem Niedrigwasser zum folgenden nennt man „eine Tide“; ihre Zeitdauer entspricht durchschnittlich der Zeit zwischen zwei Mondkulminationen, nämlich 12 Stunden 25 Minuten 14 Sekunden.

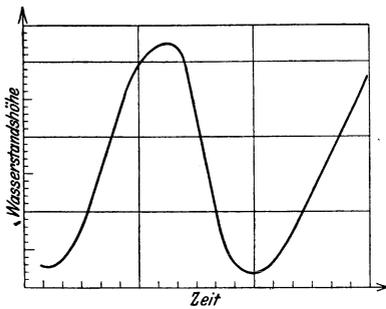


Abb. 34. Flutkurve.

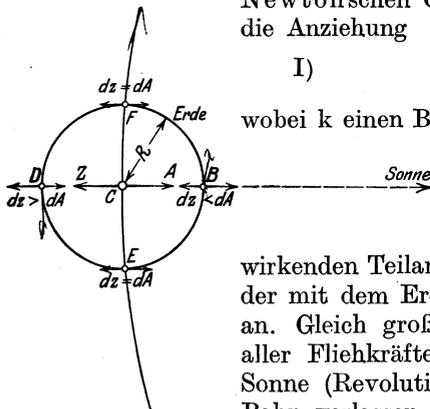
Zur genauen Beobachtung der Tideerscheinungen werden für möglichst viele Orte die Flutkurven aufgetragen. Dies sind graphische Darstellungen des zeitlichen Verlaufes der Wasserstandsänderungen, wobei die Zeitabschnitte als Abszissen, die Wasserstände als Ordinaten aufgetragen werden (Abb. 34). Die genauesten Flutkurven werden von selbstzeichnenden Pegeln erhalten (vgl. S. 8 u. f.).

Die Flutkurve ist zugleich ein verzerrtes Abbild der Form der Flutwelle; die die Zeit zwischen zwei Hochwassern oder zwischen zwei Niedrigwassern darstellende Strecke entspricht einer Wellenlänge; das wirkliche Maß der letzteren ergibt sich durch Multiplikation der Zeitstrecke mit der Fortschrittsgeschwindigkeit der Flutwelle.

B. Die mathematische Ursache der Tidebewegung.

Die Ursache der Tiden ist, wie Newton zuerst nachgewiesen hat, die ungleichmäßige Einwirkung der Massenanziehung der Sonne und des Mondes auf die verschiedenen Teile der Erde. Der in Wirklichkeit höchst verwickelte und noch nicht in allen Einzelheiten vollständig aufgeklärte Vorgang kann in einfacher Weise wie folgt dargestellt werden.

Es seien zunächst nur die von der Sonne verursachten Tiden betrachtet, und die in Wirklichkeit elliptische Erdbahn sei als Kreis angesehen. Nach dem Newtonschen Gesetz erfährt die Erde durch die Sonne die Anziehung



I)
$$A = k \frac{M \cdot m}{a^2},$$

wobei k einen Beiwert, M die Masse der Sonne, m diejenige der Erde und a den Abstand der Mittelpunkte beider Gestirne bedeutet (Abb. 35). Diese Kraft ist die Mittelkraft aller auf die einzelnen Erdpunkte wirkenden Teilanziehungen; sie greift im Erdschwerpunkte, der mit dem Erdmittelpunkte C gleichgesetzt werden darf, an. Gleich groß und entgegengesetzt muß die Mittelkraft aller Fliehkräfte der Erde infolge ihrer Kreisung um die Sonne (Revolution) sein, denn sonst müßte erstere ihre Bahn verlassen. Die Mittelkraft der Fliehkräfte ist

II)
$$Z = \frac{m \cdot v^2}{a},$$

Abb. 35. Anziehungskräfte und Fliehkräfte in ihrer Wirkung auf der Erde.

bedeutet. Es ist also $A = Z$, oder

III)
$$k \cdot \frac{M \cdot m}{a^2} = \frac{m \cdot v^2}{a}.$$

worin v die Bahngeschwindigkeit des Erdmittelpunktes

Dieselbe Beziehung gilt auch für jeden Massenpunkt, der auf der Erdbahn oder in der durch den Erdmittelpunkt senkrecht zum Radius vector a gedachten Tangentialebene an die Erdbahn gelegen ist; bezeichnet man dessen Masse mit dm , so ist $dA = dz$, oder

$$\text{IIIa)} \quad k \cdot \frac{M \cdot dm}{a^2} = \frac{dm \cdot v^2}{a}.$$

Anders verhält es sich dagegen mit einem außerhalb dieser Tangentialebene gelegenen Massenpunkt. Für den der Sonne zugekehrten Oberflächenpunkt B, der um den Erdradius R der Sonne näher liegt, ist die Anziehungskraft größer, nämlich $dA = \frac{k M dm}{(a - R)^2}$; für den der Sonne abgekehrten Punkt D ist sie kleiner,

nämlich $dA = \frac{k M dm}{(a + R)^2}$. Die Fliehkraft bleibt

dagegen für alle Massenpunkte die gleiche. Da nämlich die Achsendrehung der Erde (Rotation) keinen Einfluß auf die Tidebildung ausübt¹⁾, so kann sie als gar nicht vorhanden gedacht werden; dann würde die Erde eine reine Translation um die Sonne ausführen, die Strecke DB bliebe also immer in parallelen Lagen (Abb. 36). In diesem Falle würden alle Punkte der Erde gleiche Kreise²⁾ mit dem Radius a beschreiben, sie erhalten also alle die gleiche Fliehkraft $dz = \frac{dm \cdot v^2}{a}$. Mithin ist

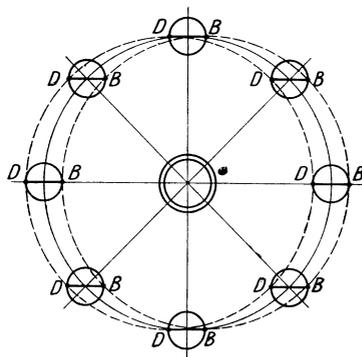


Abb. 36. Gedachte Translation der Erde.

in der in Abb. 35 dargestellten Lage für Punkt B $\div dz < dA$, für Punkt D $\div dz > dA$, dagegen für die Punkte E und F $\div dz = dA$. Es bleiben also in den verschiedenen Punkten verschieden große Einzelkräfte K als Resultierende übrig. Im Punkte B ist die Einzelkraft

$$K_b = \frac{k M dm}{(a - R)^2} - \frac{dm v^2}{a} = \frac{k M dm}{a^2} \frac{1}{\left(1 - \frac{R}{a}\right)^2} - \frac{dm v^2}{a},$$

oder mit Rücksicht auf Formel IIIa

$$\text{IV)} \quad K_b = \frac{k M dm}{a^2} \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{R}{a}\right)^2} - 1 \right].$$

Formt man noch die Klammer um zu dem Ausdruck

$$\frac{R}{a} \left[\frac{2 - \frac{R}{a}}{\left(1 - \frac{R}{a}\right)^2} \right]$$

und vernachlässigt man den sehr kleinen Wert $\frac{R}{a}$ gegenüber den Werten 2 und 1, so erhält die Formel IV den abgekürzten Ausdruck

$$\text{IVa)} \quad K_b = 2 k \cdot M dm \frac{R}{a^3}.$$

¹⁾ Vgl. H. von Schaper, Über die elementare Darstellung der fluterzeugenden Kräfte. Annalen der Hydrographie 1910.

²⁾ Die Exzentrizität dieser Kreise kann vernachlässigt werden, weil das Verhältnis $R : a$ sehr klein ist.

Ebenso ergibt sich für den Punkt D die Einzelkraft

$$V) \quad K_d = \frac{k M dm}{a^2} \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{R}{a}\right)^2} - 1 \right],$$

oder abgekürzt

$$Va) \quad K_d = -2 k M. dm \frac{R}{a^3}.$$

Für die in der Tangentialebene liegenden Punkte E und F sind dagegen die Einzelkräfte nach Gleichung IIIa)

$$VI) \quad K_e = K_f = \frac{k M dm}{a^2} - \frac{dm v^2}{a} = 0.$$

Es sind also auf der der Sonne zugekehrten Erdseite Kräfte vorhanden, die nach der Sonne gerichtet sind und der Erdschwerkraft entgegenwirken; auf der der Sonne abgekehrten Seite wirken entgegengesetzte gleichgroße Kräfte ebenfalls der Schwerkraft entgegen. Denkt man sich zunächst die Sonne in der Äquatorialebene, so entsteht das in Abb. 37 dargestellte Kräftebild. Die Kräfte erreichen ihren Größtwert in der Verbindungslinie der Mittelpunkte von Sonne und Erde, in der dazu senkrechten Tangentialebene an die Erdbahn, werden sie zu Null. Sie

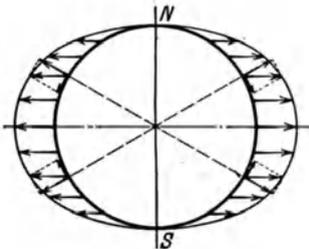


Abb. 37. Kräftebild für die Flutzeugung.

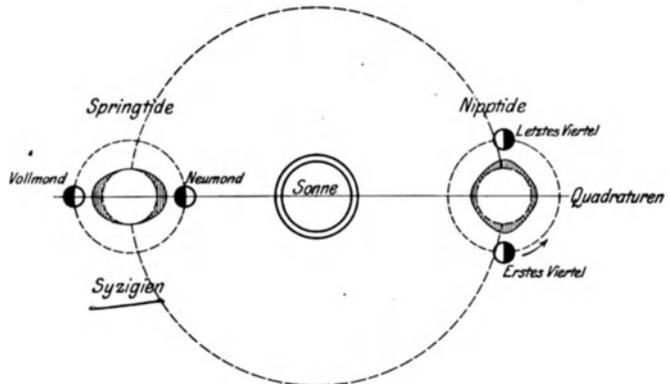


Abb. 38. Gestirnsstellungen bei Springtide und Nipptide.

sind nach vorstehenden Formeln proportional der Masse des Gestirns und umgekehrt proportional der dritten Potenz seiner Entfernung; sie erzeugen zwei Flutberge, deren Scheitel in der Verbindungslinie Sonne — Erde stehen bleiben, während sich die Erde täglich einmal um ihre Achse dreht. Daher hat jeder Punkt auf der Erdoberfläche täglich zweimal Hochwasser und zweimal Niedrigwasser; der Flutwechsel eines Ortes ist um so größer, je näher der Ort der Erdbahnebene liegt.

Man kann sich die tidebildenden Kräfte in radiale und tangentialen Komponenten zerlegt denken (Abb. 37); erstere heben den Meeresspiegel durch Verminderung der Schwerkraft, letztere ziehen die Wassermassen nach der Erdbahnebene hin.

In derselben Weise wie die Sonnenflut entsteht auch die Mondflut. Erde und Mond kreisen um ihren gemeinsamen Systemschwerpunkt, und es sind wieder die Fliehkräfte dieser Kreisbewegung mit den Anziehungskräften des Mondes zusammzusetzen. Da der Mond der Erde sehr viel näher ist als die Sonne, so ist trotz seiner kleinen Masse seine Einwirkung auf die Tidebildung etwa das 2,23fache der Sonnenwirkung. Der Flutberg des Mondes verdeckt daher für gewöhnlich denjenigen der Sonne und ersterer bestimmt also die sichtbare Tide. Die beiden Flutberge verstärken sich und erzeugen die Springtiden,

wenn der Mond in den Syzygien steht, d. h. in der Richtung Sonne—Erde, also bei Neumond und Vollmond; sie schwächen sich dagegen ab und erzeugen die Nipptiden, wenn der Mond in den Quadraturen steht, d. h. quer zu der Richtung Sonne—Erde, also beim ersten Viertel und letzten Viertel (vgl. Abb. 38).

Zwischen den Grenzfällen der Springtide und Nipptide ändert sich der Flutwechsel ziemlich stetig; diese Änderung nennt man die halbmonatliche Ungleichheit. Außerdem ist die Stellung der Gestirne in bezug auf die Äquatorialebene, die Deklination, für die Gezeitenbildung an einem Orte von Bedeutung. Treten nämlich die Gestirne aus der Äquatorialebene heraus, so folgen ihnen auch die Scheitel der Flutberge (Abb. 39). Der Punkt A hat daher bei der oberen Kulmination des Gestirnes die Fluthöhe h , nach einer halben Erdumdrehung aber nur die Fluthöhe h_1 . Den Unterschied nennt man die tägliche Ungleichheit. Diese richtet sich also nach der Deklination der Sonne und des Mondes. Erstere ändert sich im Laufe eines Jahres von $+ 23 \frac{1}{2}^\circ$ über Null bis $- 23 \frac{1}{2}^\circ$ und zurück; diejenige des Mondes wechselt innerhalb eines Mondmonats ($27 \frac{1}{3}$ Tage), dabei schwanken die Größt- und Kleinstwerte in einer Periode von 19 Jahren zwischen $18 \frac{1}{2}^\circ$ und $28 \frac{2}{3}^\circ$. Die tägliche Ungleichheit verschwindet, wenn Sonne und Mond gleichzeitig im Äquator stehen, was vorkommen kann, wenn die Syzygien in die Zeit der Äquinoktien fallen; alsdann müßte theoretisch am Äquator der größte Flutwechsel sein.

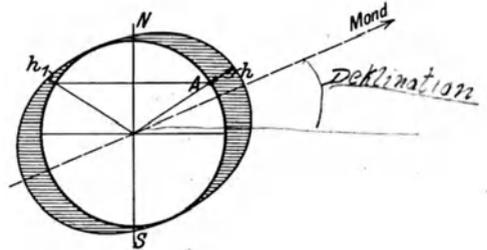


Abb. 39. Tägliche Ungleichheit.

Aus Abb. 40, die eine den Zeitraum von 10 Tagen umfassende Flutkurve darstellt, ist sowohl die halbmonatliche als auch die tägliche Ungleichheit deutlich zu erkennen.

Die rechenmässigen Flutgrößen sind 0,25 m für die Sonnentide und 0,55 m für die Mondtide. Daher müßten die Gesamtgrößen sein 0,80 m bei höchsten Springtiden, 0,30 m bei niedrigsten Nipptiden.

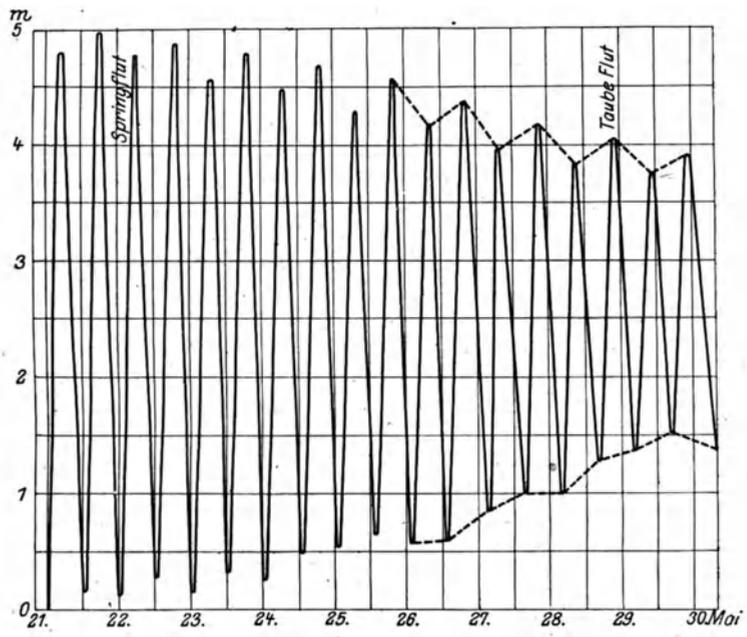


Abb. 40. Flutkurve für einen 10-tägigen Zeitabschnitt.

Die Flutwellen befolgen die Gesetze der Wellenbewegung in gleicher Weise wie die Windwellen, jedoch ist ihre Wellenlänge im Vergleich zur Wellenhöhe sehr groß. Diese beiden Werte sind an verschiedenen Orten sehr verschieden. Die Schwingungsdauer beträgt 12,4 Stunden, als Fortpflanzungsgeschwindigkeit hat man in der Nordsee rund 26 m/sek festgestellt.

C. Tatsächliche Tideerscheinungen.

Die beobachteten Gezeiten weichen von den theoretischen Rechnungsergebnissen recht erheblich ab, im allgemeinen sind sie wesentlich größer. Die Ursache wird darin liegen, daß die Flutwelle beim Anlauf auf eine Küste auf dem flach ansteigenden Meeresgrunde in ähnlicher Weise kurz und steil wird wie die gewöhnlichen Windwellen (vgl. S. 28). Nur im offenen Ozean scheinen die Flutgrößen einigermaßen der Theorie zu entsprechen, denn der beobachtete Tidehub beträgt:

bei St. Helena	1,0 m
bei Mauritius	1,0 m
bei Ascension	0,6 m
bei Honolulu	0,6 m
bei Tahiti	0,3 m

Das eigentliche Entstehungsgebiet der Tiden scheint die meerreiche südliche Halbkugel zu sein, insbesondere der ununterbrochene Ozeangürtel um den antarktischen Kontinent herum, der an seiner schmalsten Stelle, nämlich bei der Südspitze von Südamerika (Kap Horn) noch etwa 10° breit ist. Von hier aus scheinen die Flutwellen nach Norden in die großen Ozeanbecken hineinzulaufen, begünstigt durch die tangentialen Komponenten der tidebildenden Kräfte (vgl. Abb. 37). Aus dem weiten Wege von dort bis in unsere Breiten ist vielleicht die Tatsache zu erklären, daß bei uns die Springfluten erst 2 bis 3 Tage nach den Mondsyzygien eintreten.

Die Anteile der Sonnentide und der Mondtide an der Gezeitenbildung eines Ortes können nach dem von Thomson angegebenen Verfahren der harmonischen Analyse ermittelt werden. Die Mondstellungen kehren wieder in einer Periode von 19 Jahren = 235 Mondmonaten. Man mißt für jede Sonnenstunde dieses Zeitraumes die Wasserstände und bildet Durchschnittswerte für alle Stunden gleicher Zeitlage (d. h. für die 1., 2., 3., 4., . . . Stunde je besondere Durchschnittswerte); dadurch erhält man die wahren Werte der Sonnentide, denn alle anderen Einflüsse sind zufällig und heben sich in dem großen Zeitraum gegenseitig auf. Ebenso teilt man den Zeitabschnitt in Teile, die den Umlaufzeiten des Mondes entsprechen (Mondmonate) und diese wieder in Unterabschnitte (Mondtage und Mondstunden). Man mißt auch die Wasserstände für jede Mondstunde und erhält durch Bildung der Durchschnittswerte die wahren Werte der Mondtide. Dann kann man die Flutkurve für die Sonne und diejenige für den Mond getrennt aufzeichnen; durch Addition der Kurvenwerte kann man für jeden zukünftigen Zeitpunkt den Wasserstand voraussagen, jedoch ohne Berücksichtigung des Windstaus. Letzterer kann an Tidemeeren nur durch Vergleich des beobachteten Wasserstandes mit der auf die vorstehend beschriebene Weise ermittelten zusammengesetzten Flutkurve für Sonne und Mond zuverlässig bestimmt werden.

Die sichtbaren Gezeiten sind an einem bestimmten Ort meistens aus mehreren ursprünglichen und reflektierten Wellen zusammengesetzt; die Flutgröße ist daher sehr abhängig von den örtlichen Verhältnissen. Auch der Wind beeinflusst die sichtbaren Tiden; Hochwasser und Niedrigwasser werden durch auflandigen Wind gehoben, durch ablandigen Wind, namentlich wenn er längere Zeit weht, gesenkt. Trichterförmig sich verengende Buchten wirken verstärkend auf die Flutwelle ein; in dem 143 km langen Bristolkanal an der Südwestküste Englands steigert sich die Höhe der Springtide von 8 m am Anfang des Kanals bis 12,2 m am Ende, in der Fundy Bay bei Neuschottland (Nordamerika) sogar von 2,5 m bis auf etwa 15 m!

Wird die Fortschrittsgeschwindigkeit der Flutwelle durch steiles Ansteigen des Grundes oder durch Strömungen plötzlich gehemmt, so können wie bei Wind-

wellen sogar Brandungserscheinungen eintreten, indem der Wellenseitel den vorausgehenden Wellenfuß erreicht und schließlich vornüber stürzt. Dieser der Schifffahrt sehr gefährliche Vorgang wird unter anderm am Amazonenstrom beobachtet, früher auch an der Mündung der Dordogne und der Seine sowie am Severn; die Franzosen nennen ihn Mascaret, die Engländer Bore.

Die Flutgrößen für die wichtigsten Orte an der europäischen Westküste sind folgende.

Ort	Springtide	Nipptide
Tajomündung	3,5	0
La Coruna	3,9	2,8
St. Nazaire (Loiremündung)	4,9	2,3
Brest	6,2	2,6
Granville	11,7	5,1
Le Havre	6,8	3,5
Dünkirchen	5,2	2,9
Plymouth	4,7	2,6
Southampton	4,0	1,8
Dover	5,7	3,4
Vlissingen	4,6	2,9
Ymuiden	1,8	1,3
Nieuwe Diep	1,3	—
Borkum	2,6	2,1
Emden	3,4	2,7
Wilhelmshaven	4,0	3,1
Bremerhaven	3,7	3,0
Cuxhaven	3,1	2,4
Hamburg	2,0	1,8
Tönning	3,0	2,3
Helgoland	2,8	1,8

Der auffallend geringe Tidehub an der holländischen Küste ist wahrscheinlich durch Interferenz zu erklären. Die aus dem Ozean kommende Flutwelle wird durch die englischen Inseln gespalten, ihre Teile gelangen zu verschiedenen Zeiten nach Ymuiden und gleichen sich zum großen Teile aus. In der Tat zeigen sich an manchen Orten zwei Wellen, denn die Tagesflutkurven von Helder, Portland, Southampton u. a. lassen beim Hochwasser und beim Niedrigwasser meistens zwei Spitzen erkennen.

Die Form der Flutkurve, die das Gesetz des Wasserstandswechsels für einen Ort angibt, ist von großer Wichtigkeit für den Betrieb der Dockhäfen.

Abb. 41 stellt eine am Ärmelmeer aufgenommene Flutkurve dar, diese läßt erkennen, daß das Hochwasser zwar sehr schnell eintritt, dann aber 4 Stunden lang mit nur geringer Änderung anhält, bevor die Ebbe langsam folgt. Während der 4 Stunden können die Schleusentore offen stehen, so daß die Schiffe ohne Zeitverlust in die Dockbecken ein- oder aus diesen ausfahren können.

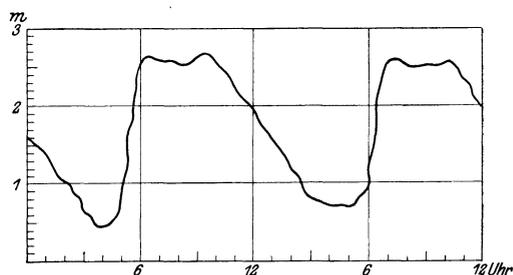


Abb. 41. Flutkurve mit lange andauerndem Hochwasser.

In den Mittelmeeren ist die Flutgröße sehr gering; sie beträgt in der Ostsee nur wenige Zentimeter und verschwindet gänzlich unter den täglichen Stauwirkungen des Windes; im Mittelländischen Meere schwankt sie zwischen 6 und 60 cm.

Die Zeiten des Hoch- und Niedrigwassers, die Flutgröße und Strömungen werden von der deutschen Marineverwaltung in den Gezeitentafeln für zahl-

reiche Küstenorte im voraus angegeben. Die Zeit vom Durchgang des Mondes durch den Ortsmeridian bis zum Eintritt des Hochwassers am Tage des Mond-syzygiums heißt die Hafenzeit eines Ortes. Sie hängt nicht nur von der geographischen Lage des Ortes, sondern auch von der Küstengestaltung ab. Sie beträgt z. B.:

für Cuxhaven	— Std.	49 Min.
„ Bremerhaven	1 „	18 „
„ Helgoland	11 „	48 „
„ Norderney	11 „	11 „
„ Borkum	10 „	44 „
„ Cherbourg	7 „	58 „

Man kann aus ihr mit Hilfe von Tabellen auch den Eintritt des Hochwassers an anderen Tagen ermitteln; sie ist daher wichtig für Dockhäfen, weil daraus zu entnehmen ist, wann die Schleusentore offen stehen.

6. Abschnitt. Meeresströmungen.

A. Entstehung der Strömungen.

Die Meeresströmungen sind nicht allein in nautischer, sondern auch in technischer Hinsicht von Interesse, denn sie haben wesentlichen Einfluß auf die Offenhaltung oder Versandung der Fahrwasser und Häfen und auf manche Vorgänge bei der Umbildung der Küsten. Sie entstehen:

- durch ungleichmäßige Dichte des Wassers infolge verschiedener Erwärmung und verschiedenen Salzgehaltes;
- durch Einwirkung des Windes;
- durch die Tidebewegung;
- durch wechselnde Spiegelhöhe benachbarter Seebecken.

Die Entstehung der Strömungen infolge ungleichmäßiger Dichte des Wassers erklärt sich folgendermaßen:

Wird das Wasser in gewissen Gegenden stark erwärmt, so wird es spezifisch leichter, es muß sich also zur Herstellung des Druckausgleiches eine Erhebung bilden (Abb. 42). Dabei bleibt jedoch die Niveauläche noch vorläufig im Gleichgewichte. Erst wenn dieser Wasserberg durch starke Verdunstung salzreicher wird, wird er spezifisch schwerer, und seine Wassermassen suchen sich auszuweiten. Dann entsteht eine Oberströmung nach kälteren Gegenden, deren



Abb. 42. Strömungsbildung infolge ungleichmäßiger Dichte des Seewassers.

Richtung nicht nur durch die Lage der Ausgleichgebiete, sondern auch durch die Gestaltung des Meerbeckens, durch Wind und durch die Drehung der Erde beeinflußt wird. In dem kalten Teilgebiete entsteht infolge der Zuströmung eine Anhäufung des Wassers, und es bildet sich neben dem warmen salzreichen Ströme ein kalter salzreicher Rückstrom nach dem Gebiete der Erwärmung. Nach den Versuchen von Sandström¹⁾ haben Schichten mit verschiedenem spezifischem Gewicht wenig Neigung, sich zu vermengen, sondern sie streichen neben- oder übereinander her, natürlich die leichtere über der schwereren. Die Dichteströmungen unterscheiden sich von den gewöhnlichen Windströmungen stets durch bedeutende Tiefenausdehnung.

Auf die vorstehend beschriebene Weise entstehen vermutlich die großen Meeresströmungen, wie der warme Golfstrom (vom Golf von Mexiko an der

¹⁾ Annalen der Hydrographie 1908.

Ostküste Nordamerikas entlang bis Neufundland, alsdann nach der nordeuropäischen Westküste), der kalte Labradorstrom (von der Ostküste Grönlands nach Südwesten, kreuzt bei Neufundland den Golfstrom), der Kuroschio im Großen Ozean usw.

Über die Mächtigkeit der großen Meeresströmungen sei angeführt, daß der Golfstrom mit einer Breite von 32 Seemeilen und einer Tiefenausdehnung von etwa 400 m beginnt und allmählich auf 600 Seemeilen Breite bei nur 150 m Tiefe ausläuft. Seine mittlere Geschwindigkeit beträgt etwa 2 km in einer Stunde.

Deutlicher als in den Ozeanen läßt sich der Ausgleich der Dichte in den Mittelmeeren erkennen. In solchen mit großer Wärme und geringem Süßwasserzufluß, wie im Roten Meere und im Mittelländischen Meere, steigert sich der Salzgehalt durch die Verdunstung, daher fließt in den Verbindungsstraßen zwischen Mittelmeer und Ozean ein schwerer salzhaltiger Tiefenstrom nach dem Ozean und ein leichter salzärmerer Oberstrom fließt nach dem Mittelmeer. In der Straße von Gibraltar beträgt die Geschwindigkeit des Oberstromes etwa 5 km in einer Stunde. In Mittelmeeren mit großem Süßwasserzufluß stellt sich der Vorgang umgekehrt, z. B. fließt im Bosphorus der obere Süßwasserstrom aus dem Schwarzen Meere zum Mittelländischen Meere, der salzhaltige Unterstrom umgekehrt; in derselben Weise findet der Ausgleich zwischen salzarmem Ostsee- und salzreichem Nordseewasser in den dänischen Meeresstraßen statt, er ist jedoch wegen der starken Tideströmungen schwer zu beobachten.

Die Windströmungen entstehen dadurch, daß durch die Reibung zwischen Luft und Wasser die oberen Schichten des letzteren vom Winde mitgerissen werden. Sie verlaufen im Gegensatz zu den Dichteausgleichsströmungen nur flach an der Oberfläche. Wird das Wasser dabei gegen eine Küste getrieben, so kann sich durch den Aufstau eine entgegengesetzte Unterströmung ausbilden (Abb. 43). Der Rückstrom wird in der Nähe des Ufers durch die vom Strande zurücklaufenden Wellen noch verstärkt, es bildet sich der sogenannte „Grundsog“, der Badenden gefährlich werden kann.

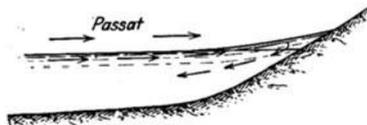


Abb. 43. Entstehung der Windströmungen.

Durch die Wirkung des Windes entstehen in den Passatgebieten die sogenannten Driftströme, die auf beiden Halbkugeln in den Zonen der regelmäßigen Winde sehr verbreitet sind. Im kleineren Maßstabe erkennt man dieselbe Erscheinung auch in den Küstenströmungen der Ostsee. An der pommerschen und preußischen Küste streicht meistens eine Strömung von Westen nach Osten oder Nordosten. Wie Baensch nachgewiesen hat, ist die Ursache das Überwiegen der Westwinde in unserer Gegend¹⁾. Wenn im Frühjahr Ostwinde überwiegen, kehrt die Strömung um.

Für die Küstenstrecken im Tidegebiete, besonders für die Nordsee, sind die Tideströmungen die heftigsten und wichtigsten. Im Tiefseegebiete ist die Bewegung der an der Tidebewegung teilnehmenden Wasserteilchen, die in etwa $12\frac{1}{2}$ Stunden nur eine Wellenschwingung ausführen, kaum wahrnehmbar; an den Küsten dagegen, insbesondere an Buchten und Flußmündungen, muß der Massenaustausch der zwischen Ebbe- und Flutspiegel liegenden Wassermengen durch verhältnismäßig enge Querschnitte erfolgen, dabei treten heftige Strömungen auf. Während der Flut strömt das Wasser als Flutstrom in die Bucht oder Mündung, dieser dauert infolge seiner lebendigen Kraft noch eine Zeitlang nach Eintritt der Ebbe an, bevor er „kentert“; d. h. umkehrt und zum Ebbestrom wird. Der letztere muß das Flußwasser, das sich während der Dauer des Flutstromes im Flußbette aufgespeichert hat, mit abführen, daher ist er meistens

¹⁾ Vgl. Baensch, Studien aus dem Gebiete der Ostsee. Zeitschrift für Bauwesen 1872.

der heftigere. Die größte Geschwindigkeit tritt kurz nach halber Ebbe auf. Die Vorgänge in den Flußmündungen sind im 3. Kapitel noch eingehender behandelt.

Die ganze Nordsee steht unter dem Einfluß starker Tideströmungen, die Geschwindigkeiten bis zu 5 Seemeilen in der Stunde erreichen. Sie vermögen den Kurs der Schiffe zu versetzen und die Wellenformen unregelmäßig zu gestalten. Da in der Nordsee eine aus dem Ärmelmeer kommende Flutwelle mit einer nördlich um Schottland herumkommenden zusammentrifft (vgl. S. 37), so sind die Strömungsrichtungen zu gleicher Zeit an verschiedenen Punkten verschieden, zum Teil sogar entgegengesetzt. Auch gibt es zahlreiche Stau- und Kenterflächen, wo trotz erheblichen Wasserstandswechsels keine nennenswerte Strömung stattfindet. Für nautische Zwecke hat man Karten entworfen, in denen der Zustand der Strömungen für jede Stunde nach Eintritt eines Hochwassers bis zum nächsten Hochwasser angegeben ist.

Als mittelbare Folge des Windstaus und der Tidebewegung sind noch die eigentlichen Gefälleströmungen zu erwähnen, die in engen Meeresstraßen durch Änderung der Spiegelhöhe eines angrenzenden Seebeckens entstehen. Sie sind dadurch von den vorherbeschriebenen Strömungsarten verschieden, daß die eigentlichen Ursachen (Wind und Tideschwingungen) nicht unmittelbar auf die strömenden Wassermengen einwirken. Die Gefälleströmungen treten besonders deutlich in Erscheinung in einem Seegatt (Verbindung zwischen Haff und Meer), in Fahrwassern zwischen Untiefen und in Meerengen. Sie wechseln ihre Richtung je nach dem Wasserstande des angrenzenden Seebeckens. Ihrer Wirkung ist es zu verdanken, daß in engen Fahrwassern sich genügende Tiefen für die Schifffahrt leicht erhalten lassen; so z. B. in den dänischen Belten, im Strelasund, im Pillauer Tief usw.

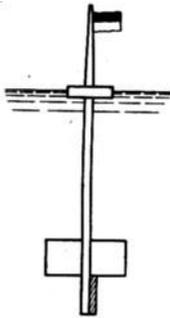


Abb. 44.
Schwimmer zum
Messen von
Strömungs-
geschwindigkeiten.

Strömungsgeschwindigkeiten mißt man meistens mit Schwimmern, seltener mit dem Woltmannschen Flügel. Erstere dürfen nur wenig über Wasser hervorragern, damit sie nicht vom Winde beeinflusst werden. In Abb. 44 ist ein solcher Schwimmer dargestellt; er besteht aus einer Stange, die durch ein flaches Brett gesteckt ist und oben ein Fähnchen und unten ein Grundkreuz trägt. Letzteres ist so mit Eisen beschwert, daß die Stange senkrecht steht, ohne jedoch das Brett unter Wasser zu ziehen. Das tief eintauchende Grundkreuz bewirkt, daß der Schwimmer wirklich der Strömung und nicht dem Winde folgt.

B. Verhalten der Strömungen an Hindernissen.

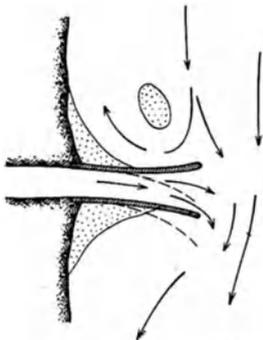


Abb. 45. Strömungsspaltung an Leitdämmen.

Wenn eine an einer Küste entlangstreichende Strömung ein Hindernis findet, so wird sie abgelenkt. Dabei können sich eigentümliche Kreis- und Wirbelströme bilden. Trifft z. B. die Strömung gemäß Abb. 45 auf die konkav gekrümmten Leitdämme einer Flußmündung, so bildet sich eine Stromspaltung; während der eine Zweigstrom an den Dämmen vorbeigeht, führt der andere vor dem ersten Leitdamm einen Kreislauf aus. Die Strömung würde auch zwischen die Leitdämme treten, wenn der aus dem Fluß kommende Strom dies nicht verhinderte. Leitdämme sollten daher besser konvex zur vorherrschenden Strömung gekrümmt werden, wie dies in der Abb. 45 punktiert angedeutet ist.

Ähnliche Stromspaltungen bilden sich auch an Inseln und Halbinseln, dabei hängt die Wirbelbildung von der Inselform ab. An der Halbinsel Hela wird beobachtet, daß der von Nordwesten kommende Strom um die Südspitze der Halbinsel herum biegt und als sogenannter Nehrstrom gegen den vorherrschenden Westwind in die Putziger Bucht eindringt (Abb. 46).



Abb. 46. Nehrstrombildung bei Hela.

In ähnlicher Weise pflegen die Strömungen um Molenköpfe herumzuschwenken. Dabei tritt oft die in Abb. 47 dargestellte Bildung eines kreisenden Nehrstromes ein.

Diese bei zahlreichen Häfen auftretende Erscheinung ist wichtig für die Auffrischung des Wassers und für die Abführung von Tang und Schlick, dagegen ist der Nehrstrom zu schwach, um die Versandung

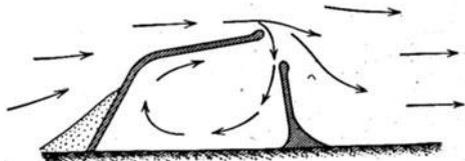


Abb. 47. Kreisstrombildung in einem Hafenbecken.

zu verhüten; er trägt im Gegenteil dazu bei, daß die vom stärkeren Außenstrom und vom Wellenschlage an die Hafeneinführung gebrachten Sandmassen weit in das Hafenbecken hineingetragen werden.

Zweites Kapitel.

Die Küsten.

7. Abschnitt. Einwirkung des Meeres auf die Küsten.

A. Umbildung der Ufer.

Die im vorigen Kapitel beschriebenen Kräfte des Wellenschlages und der Strömungen bewirken im Verein mit anderen Naturerscheinungen eine fortwährende Umgestaltung der Meeresufer. Steilküsten werden in der Höhe der Wasserlinie benagt und allmählich unterhöhlt (Abb. 48). Das überhängende Gebirge stürzt schließlich ab, die Trümmer verflachen die Wassertiefe und werden in der Zone der Brandung (vgl. S. 28) allmählich zerrieben. Die Umbildung schreitet um so schneller fort, je weicher die Gesteinsart der Steilküste ist; sie wird durch Verwitterung wesentlich begünstigt. Durch den Wechsel der Temperatur werden nämlich Risse gebildet, die sich mit Wasser füllen, durch Frostwirkung werden die Risse erweitert, und Stücke der Uferwand werden abgesprengt. Auch werden weichere Schichten vom Tagewasser und vom Quellwasser ausgespült, es bilden sich Hohlräume und Rutschflächen, und schließlich treten Abstürze ein. Die gelösten Massen werden größtenteils vom Meere aufgenommen. Auf diese Weise ist bekannte Zerklüftung an Felsküsten entstanden (Fingalshöhle auf der Insel Staffa, Schnepfgatt auf Helgoland und andere).

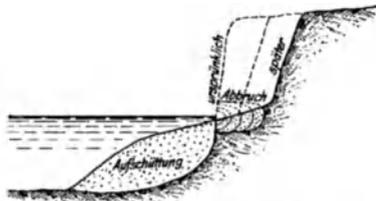


Abb. 48. Vorstrandbildung bei Steilküsten!

Nach vorbeschriebener Art bildet sich auch vor ursprünglich steil aus dem Meere emporsteigenden Uferrändern nach und nach ein flacher, meist sandiger Vorstrand, der das Weiterschreiten des Abbruches schließlich verhindert, sofern nicht eine starke Strömung oder die weiter unten beschriebene Vertriftung durch schräg auflaufende Wellen die zerriebenen Gesteinsreste fortführt. Große Tiefen findet man daher nur an Steilufern aus sehr hartem Gestein. (Granit- ufer der norwegischen, südschwedischen und finnischen Küste.)

An den Steilküsten der deutschen Meere, die aus den weichen Gebirgsarten der jüngeren geologischen Formationen bestehen, sind überall Vorstrandbildungen vorhanden. Diese bestehen meistens aus ziemlich reinem Sande, weil die tonigen Bestandteile der abgestürzten Massen vom Wasser aufgelöst und bereits von der schwächsten Strömung fortgetragen werden. Besteht das Hochufer vorwiegend aus geschiebeführenden Schichten, so bildet sich ein steiniger Vorstrand. Vor den Kreideufern Rügens ist letzterer aus faust- bis walnußgroßen Feuersteinen, den Einlagerungen der Kreide, gebildet. Die Steilküsten des Samlandes und zahlreiche Strecken der pommerschen, mecklenburgischen und holsteinschen Küsten sind dagegen mit einem Kranz von großen erratischen Felsblöcken, den Überbleibseln des abgestürzten diluvialen Geschiebemergels, umgeben; an diesen Blöcken, die zum Teil von beträchtlicher Größe sind, bricht sich die Gewalt der Brandung, sie bilden daher einen guten Schutz für das dahinter liegende Ufer.

Die namentlich in der Ostsee häufigen Steinriffe, das sind Untiefen, die mit großen Felsblöcken bedeckt sind und daher der Schifffahrt sehr gefährlich werden können, sind ebenfalls Reste zugrunde gegangenen Landes.

Die zerriebenen Trümmer der Gebirgsmassen werden, wenn sie klein genug geworden sind, durch Strömung und Wellenschlag fortbewegt und an solchen Stellen, wo die treibende Kraft nachläßt, abgelagert. Die Bewegung durch die Strömung erfolgt nach den Gesetzen der Schleppkraft des Wassers in derselben Weise wie in Flußläufen. Dabei begünstigt der Wellenschlag die Wirkung der Strömung, indem er die Bodenteile löst und aufwirbelt. Die Küstenströmungen sind am stärksten in gewissen Engteilen von Randmeeren mit starkem Flutwechsel, hier sind sie auch maßgebend für die Sandbewegung.

Am offenen Seestrände überwiegt meistens der Einfluß der Wellenbewegung. Die Wellen sind bestrebt, die Ufer zu ebnen, sie brechen Erhöhungen ab und lagern die Stoffe in einer sehr flachen Böschung (Abrasion der Ufer, vgl. Abb. 49). Nach



Abb. 49. Abrasion der Ufer an Flachküsten.

Hagen beträgt die Neigung des Strandes bei Gerölle 1 : 3 bis 1 : 5;

bei kiesigem Boden 1 : 8 bis 1 : 10; bei sandigem Boden 1 : 20 bis 1 : 50.

Treffen die Wellen senkrecht zum Strande, so wirft jede einzelne gelösten Sand und Gerölle vor sich her und zieht sie beim Zurückfluten wieder ein Stück nach See zurück. Demnach findet in diesem Falle nur eine Umlagerung, aber keine fortschreitende Ortsveränderung der Bodenteile statt. Anders ist es jedoch, wenn die Wellen schräg auf den Strand treffen. Das Zurückfluten geschieht dann nach dem Reflektionsgesetze unter gleichem, aber entgegengesetztem Winkel als der Anprall. Die Stoffe führen daher eine Wanderung in einer Zickzacklinie aus. Man nennt diesen Vorgang die Strandvertriftung.

Während die Strömung meistens nur Stoffe von geringer Korngröße forttragen kann, vermag der Wellenschlag auch noch Gerölle zu bewegen. Dadurch können ganze Küstenstrecken dauernd einen starken Abbruch erfahren, während anderwärts Verlandung stattfindet. Ein Beispiel dieses sehr verbreiteten Vorganges der Strandvertriftung ist die Geschiebebewegung an der nach Abb. 26,

S. 28 gestalteten rügenschcn Halbinsel Jasmund. Maßgebend für die Bewegung ist nicht die Richtung der häufigsten, sondern diejenige der stärksten Wellen; diese entstehen dort bei östlichem und nordöstlichem Winde, sie werden aber infolge der nach dem Ufer hin abnehmenden Wassertiefe so abgelenkt, daß sie stets nach dem Strande gerichtet sind und schräg auf ihn treffen (vgl. Abb. 26). Die faustgroßen, aus dem Abbruch der Kreideufer stammenden Feuersteine wandern daher auf zickzackförmiger Bahn nach Südwesten und Süden, sie sind bis zur „schmalen Heide“ zu verfolgen, obwohl ihr Herkunftsbereich, die Kreideformation der Hochufer, schon bei Saßnitz endet.

Im allgemeinen ist das Meer bestrebt, vorspringende Landgebiete abzubrechen und einspringende Buchten auszufüllen. Daher findet man an den meisten Küsten, wo nicht größere Flußmündungen, vorgelagerte Inseln oder stark gegliederte Felsufer vorhanden sind, eine glatte, sanft geschwungene Strandlinie, wie dies besonders an der Küste von Hinterpommern zu erkennen ist.

An den deutschen Küsten übertrifft der Abbruch bei weitem die Anlandungen. Sowohl an der Ostsee als an der Nordsee sind noch zu geschichtlichen Zeiten erhebliche Landverluste eingetreten, insbesondere sind vorspringende Höfte und kleinere Inseln, wie die Halligen, Helgoland, Wangeroog, in rascher Abnahme begriffen.

B. Strandwall-, Haken- und Nehrungsbildung.

Von großer Wichtigkeit für die Umgestaltung der Küste ist die Entstehung der Strandwälle. Die auflaufenden Wellen werfen Wassermassen auf den Vorstrand, die nur zum Teil oberflächlich wieder abfließen, während ein Teil im Boden versickert. Daher können auch die mitgeführten Sand- und Geröllmassen nicht vollständig zurückgespült werden, sondern ein Teil bleibt liegen und bildet nach und nach eine flache langgestreckte Erhöhung oberhalb der Wasserlinie, den sogen. Strandwall. Besteht letzterer aus Sand, so wird er vom Winde fortgeweht, sobald nach Abfallen des Wasserstandes die Austrocknung begonnen hat. Auf diese Weise werden die durch den Wellenschlag ausgeworfenen Sandmassen landeinwärts geführt, die Vorbedingung für die Dünenbildung ist gegeben (vgl. Abschn. 8). Jeder neue Seegang bildet einen neuen Strandwall und bringt damit neue Sandzufuhr, die bei aufländigem Winde landeinwärts gefördert wird. Der Vorstrand erhöht sich dadurch und wird steiler, die Dünen nehmen zu, bis eine besonders hohe Flut das langsam Gewordene wieder zerstört.

Langgestreckte Erhöhungen, die den Strandwällen äußerlich ähneln, findet man auch auf dem Meeresgrunde in einigem Abstände dem Ufer parallel laufend. Diese meist in mehreren gleichgerichteten Zügen hintereinander auftretenden und nach dem Meere zu flacher werdenden Erhöhungen nennt man Sandriffe. Ihre Entstehung ist noch nicht geklärt. Angeblich werden sie durch den Rückstrom infolge des Windstauens (vgl. S. 22) verursacht, indem der durch den Unterstrom vom Ufer mitgeführte Sand dort abgelagert wird, wo die Kraft des ersteren gegenüber dem Stoß der beginnenden Brandung zurücktritt. Damit steht aber die wiederholte Bildung in weiter zurück liegenden parallelen Riffzügen nicht im Einklang. Nach einer anderen Erklärung ist die Entstehung auf Wirbelbildung an der äußeren Brandungszone zurückzuführen. Sobald einmal eine Erhöhung gebildet ist, nagt die Brandung an der seeseitigen Böschung den Sand ab und wirft ihn nach der landseitigen, daher ist erstere flach, letztere steil¹⁾. Die Riffe müßten also nach dem Strande zu wandern. In Wirklichkeit beobachtet man aber, daß sie ihre Lage nur wenig ändern. Wahrscheinlicher ist, daß die Entstehung der Riffe mit der Bildung von Schwingungsknoten bei der Wellenbewegung zusammenhängt. Die Lage dieser Interferenzstellen ist von noch

¹⁾ Jentzsch im Handbuch des deutschen Dünenbaues von P. Gerhard, S. 42 und 43.

unbekannten Umständen abhängig; die Entfernung der Sandriffe voneinander und von der Uferlinie ist wesentlich größer als eine Wellenlänge¹⁾

Auch die sogen. Rippelmarken, d. s. kleine langgezogene Rücken, die in etwa 10 cm Abstand bei 3 bis 4 cm Höhe den Meeresboden an flachen Stellen zahlreich bedecken, entstehen wahrscheinlich durch Interferenzerscheinungen der Wellenbewegung. Diese nur bei ruhiger See zu beobachtenden Gebilde können in der nach Aufhören des Sturmes vorgefundenen Form erst geworden sein, als die nachlassende Wellenbewegung gerade noch zur Sandbewegung ausreichte; dadurch ist ihre Kleinheit erklärlich²⁾.

Durch das Zusammenwirken der vorbeschriebenen Strandwallbildung mit der Sandbewegung infolge von Strömung, Wellenschlag und Wind ist die merkwürdige Erscheinung der Hakenbildung zu erklären. Der am Ufer entlang wandernde Sand folgt im allgemeinen der Uferlinie. Erfährt letztere aber eine plötzliche Richtungsänderung, so behält die Sandwanderung, ebenso wie die Strömung, infolge des Beharrungsvermögens ihre frühere Richtung noch eine kurze Strecke bei. Mit zunehmender Wassertiefe hört die bewegende Kraft auf, daher fällt der Sand zu Boden und bildet allmählich eine langgestreckte Untiefe, einen sogen. Haken. Reicht dieser bei niedrigen Wasserständen nahezu bis zum Meeresspiegel, so beginnt sofort die Verbreiterung durch Strandwälle, alsdann die Erhöhung durch Dünenbildung. Der Haken wird dadurch zu einer Nehrung. Das Wachstum dauert, solange die Sandzufuhr anhält. In größerer Wassertiefe läßt es jedoch stark nach, weil die Querschnitte des Hakens bedeutend größer werden, es bildet sich dann auch ein Nehrstrom als Rundströmung um den Kopf herum, der letzteren verbreitert, die Verlängerung des Hakens aber aufhält. (Hela).

Bei genügender Sandzufuhr und nicht zu großer Wassertiefe können Inseln durch Haken verbunden werden, wie z. B. auf der Insel Rügen die früheren Inseln Wittow und Jasmund durch die „Schaabe“ und Jasmund und die Granitz durch die „schmale Heide“. Ebenso können Buchten ganz von der See abgeschnürt werden. Im letzteren Falle entstehen die Strandseen. (Lebsee, Lagunen bei Venedig, Deltaseen der Nilmündung.) Wenn größere Flüsse in die Strandseen münden, so bleibt eine Verbindung zur See, ein Tief oder Seegatt, bestehen; der Strandsee wird dann zu einem Haff.

In manchen Lehrbüchern sind die Nehrungen nicht als Haken, sondern als Strandwälle betrachtet, die vor flachen Buchten in ähnlicher Weise wie diejenigen oberhalb der Uferlinie oder wie die Sandriffe der Brandungszone entstanden sein sollen. Die Entstehung durch Hakenbildung dürfte jedoch die wahrscheinlichere sein.

Die Anlandung der Seeufer kann man überall dort, wo durch Strömung oder Wellenschlag Sinkstoffe herbeigebracht werden, künstlich hervorrufen oder befördern. Dies geschieht durch Einbauten, die die Bewegung des Wassers aufhalten, so daß letzteres seine Sinkstoffe fallen lassen muß. Wenn diese im wesentlichen parallel zur Uferlinie wandern, wie es vorstehend auf S. 42 beschrieben wurde, so sind die Einbauten senkrecht oder doch steil zur Strandlinie herzustellen; wenn sie dagegen in der Hauptsache aus der Tiefe zum Ufer getrieben werden, wie dies bei der Strandwallbildung geschieht, so sind durchlässige Parallelwerke zweckdienlich. Zu ersteren gehören die Buhnen, zu letzteren die Uferwälle (vgl. Abschn. 9). Im Schlickgebiet treten an Stelle der letzteren auch die aus gesteckten Reisern hergestellten Schlickzäune.

Der vom Winde bewegte Sand kann durch Zäune und durch Bepflanzung festgehalten werden, wie dies in Abschn. 8 näher beschrieben ist.

¹⁾ Vgl. auch Dr. Th. Otto, Der Darss und der Zingst. Dieses Werk enthält eingehende Studien über die Veränderungen an Sandküsten.

²⁾ Jentzsch im Handbuch des deutschen Dünenbaues von P. Gerhard, S. 42 u. 43.

C. Verlandungen an Schlickküsten.

An Küsten mit starkem Schlickfall (vgl. S. 13) bilden sich an solchen Stellen, wo die Ufer gegen Strandversetzung, Strömungen und Wellenschlag geschützt sind, Anlandungen durch allmähliche Erhöhung des Seegrundes infolge der Schlickablagerung. Die ursprünglich sehr wasserhaltige schlammige Schlickmasse wird allmählich fest und bildet den fruchtbaren Klaiiboden, aus dem die Niederungen an den deutschen und holländischen Nordseeküsten, die Marschen, bestehen. Die angrenzenden, geologisch älteren und höher liegenden Landflächen, die an Fruchtbarkeit hinter den Marschen weit zurückstehen, nennt man die Geest.

Da die Schlickablagerung durch Seepflanzen, die die Strömung hemmen, sehr begünstigt wird, so findet an Stellen mit üppiger Vegetation eine besonders schnelle Erhöhung des See- und Wattbodens statt. Die Pflanzen werden bald von Schlick bedeckt und sterben ab, neue wachsen in der nächst höheren Schicht, und die Verlandung erreicht bald den Spiegel des mittleren Hochwassers. Sie ist aber durchsetzt von Pflanzenresten und bleibt daher moorartig und weicher als die Ablagerungen aus reinem Schlick. Man nennt diese in den Marschen häufig vorkommende Bodenart Darg.

Während an Sand- und Geröllküsten der Hauptzweck der künstlichen Landgewinnung die Schaffung eines möglichst breiten Vorstrandes zum Schutze des höher liegenden Ufers gegen Abbruch ist, will man an geeigneten Stellen der Marschküsten landwirtschaftlich nutzbare Flächen schaffen. Vorbedingung ist dabei, daß die betreffende Küstenstrecke nicht infolge starker Strömungen oder schräg auflaufender Wellen im Abbruch liegt. Die Aufschlickung, die durch Steckzäune aus Reiseren begünstigt werden kann, geht zuerst rasch von statten: wenn das Watt etwa die halbe Fluthöhe erreicht hat, beginnt die Begrünung mit Wattpflanzen (Queller, Salzkraut, Glasschmelz u. a.), wodurch die Ablagerungen vermehrt werden. Sobald aber die untere Grenze des Hochwassers überschritten ist, läßt die Aufhöhung stark nach, weil die Überflutungen seltener, zuletzt nur noch bei ausnahmsweise hohen Tieden, stattfinden. Ist die Austrocknung so weit vorgeschritten, daß das Watt begehbar ist, so werden Entwässerungsgräben hergestellt; aus dem Aushubsboden werden kleine Dämme gebildet, die das Abfließen des Hochwassers aufhalten und daher die Schlickablagerung beschleunigen. Man nennt diese noch nicht eingedeichten und daher nur als Viehweide benutzbaren Flächen Groden oder Maifeld. Erst wenn die Aufhöhung nach und nach bis etwa 50 cm über die Höhe des mittleren Hochwassers fortgeschritten ist, wird die Wattfläche zur Beackerung geeignet. Sie wird dann durch einen Seedeich gegen hohe Springfluten und gegen die Sturmfluten geschützt. Die Entwässerung muß fortan durch ein Siel erfolgen. Solche eingedeichte Fläche nennt man Polder oder Koog. Zu beachten ist, daß der Klaiiboden auch nach der Eindeichung noch immer 20 bis 30 % Wasser enthält. Die Austrocknung schreitet nur sehr allmählich fort, in Verbindung damit findet noch viele Jahrzehnte lang ein Zusammensinken des Klais und noch mehr der Dargschichten, also eine Senkung der Oberfläche des Polders, statt. Ist die Eindeichung nun zu früh erfolgt, so werden die Senkungen zu groß, es fehlt deshalb das Gefälle für eine ordnungsmäßige Entwässerung; der Polder leidet dann bei hohen Fluten unter Drängewasser, und die Folgen etwaiger Deichbrüche werden besonders verhängnisvoll. In früheren Jahrhunderten hat man häufig Wattflächen zu frühzeitig eingedeicht; es liegen besonders in Holland, zum Teil auch in Ostfriesland, große Landflächen unter dem mittleren Niedrigwasser und können daher nur durch Schöpfwerke entwässert werden. Die Senkung hat dort in den letzten zwei Jahrhunderten angeblich noch zwei Meter betragen. Der Nachteil der zu tiefen Lage ist nicht mehr abzustellen, da vor

den tief liegenden Poldern bereits neue höher liegende angelegt sind. Besonders ungünstig sind die Verhältnisse in der holländischen Provinz Rheinland; dort liegen 32 000 ha mehr als 4 m und noch 5300 ha mehr als 5 m unter dem mittleren Hochwasser. Ein größerer Deichbruch an den Flußläufen, noch mehr ein Durchbruch des Meeres durch die Dünenkette am Strande, müßte die schlimmsten Folgen haben.

8. Abschnitt. Dünenbau.

A. Entstehung und Eigenschaften der Dünen.

Wenn starker aufländiger Wind über trockenen Sandstrand weht, so reißt er den Sand mit und treibt ihn landeinwärts. Wirbelbildungen im Windstrome bewirken, daß die Strandfläche wellenförmige Erhöhungen erhält, ähnlich wie die Riffe unter dem Wasserspiegel. Auch die Erscheinung der Windrippelmarken tritt dabei auf. Sobald einmal ein Sandriff vorhanden ist, wirkt dieses hemmend auf den Luftzug. Es lagert sich also vor ihm immer mehr Sand an der Luvseite ab, und es bildet sich dort eine flache Böschung. Der Wind treibt nun die Sandkörner über diese Böschung hinweg; sie kommen an der Leeseite in Windschutz

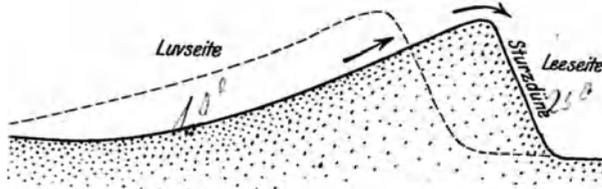


Abb. 50. Wanderdüne.

und lagern sich dort unter ihrem natürlichen Böschungswinkel ab. Dadurch entsteht eine Düne mit flacher Böschung von 4 bis 10 Grad an der Seeseite und steiler Böschung von 26 bis 33 Grad an der Landseite. Würde der Strand

keine Sandzufuhr erhalten, so würde er durch die Auswehung so lange tiefer werden, bis die in der Höhe des Seespiegels auftretende Grundfeuchtigkeit den Sand unbeweglich macht. Tatsächlich kommt aber durch die auf Seite 43 beschriebene Strandwallbildung immer neuer Sand hinzu, daher geht die Aufhöhung der Düne immer weiter. Begünstigt wird sie durch die Ansiedlung von Sandgräsern, die sandfangend wirken. Sobald die Höhe des Dünenberges so bedeutend ist, daß der Wind von der seeseitigen Dünenböschung mehr Sand abweht, als er vom Strande zuführt, ändert sich die Sandlagerung nach Abb. 50; es zeigt sich dann die eigenartige Erscheinung der hohen Wanderdüne. Während

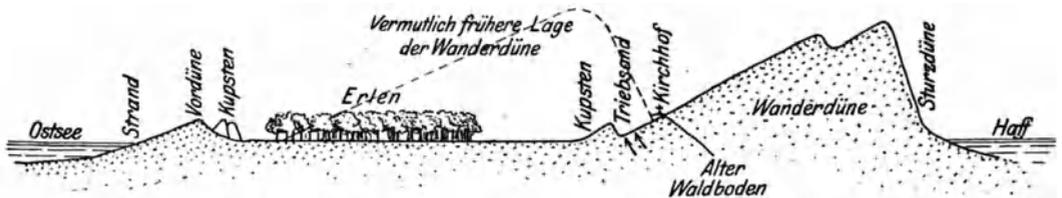


Abb. 51. Querschnitt durch die Kurische Nehrung bei Nidden.

diese weiterschreitet, vor sich Wälder, Wasserflächen und menschliche Wohnstätten verschüttend, bildet sich am Strande eine neue Düne, die sogenannte Vordüne. Abb. 51 zeigt einen Querschnitt der Kurischen Nehrung bei Nidden¹⁾, aus dem die erwähnten Dünengebilde deutlich erkennbar sind. Das Vorrücken der Wanderdünen beträgt jährlich 4 bis 6 m, ausnahmsweise noch mehr.

¹⁾ Nach P. Gerhard, Handbuch des deutschen Dünenbaues.

Wenn durch Auswehung Flächen am Fuße der Hochdünen bis nahe an den Grundwasserspiegel abgetrieben werden, so können sich infolge des von der Hochdüne herabkommenden Regenwassers Trieb sandstellen bilden, in denen Menschen und Tiere versinken würden. Man nennt solche Stellen an der Ostsee Glowwen oder Palwen.

Der Sand kann vom Winde auch auf Höhen von älterem geologischen Aufbau getragen werden; es entstehen dann Gehänge- und Stufendünen. Das bekannteste Beispiel dafür ist das rote Kliff auf Sylt.

Die durch Dünenbildung entstandenen Landschaften sind nicht nur am Meere, sondern auch im Binnenlande außerordentlich verbreitet; nach von Tillo nehmen sie etwa 7 % der gesamten Landoberfläche ein. Die bedeutendsten Abmessungen haben jedoch die Dünen am Seestrande erhalten. Sie erreichen auf der Kurischen Nehrung Höhen bis zu 60 m über dem Mittelwasser der Ostsee, auf der Frischen Nehrung 52 m, auf Hela 25 m, an der hinterpommerschen Küste 45 bis 56 m (bei der Stilo-Bake und am Scholpinleuchtturm); am roten Kliff auf Sylt erreicht die auf diluvialen Kern ruhende Düne 48 m. Die holländischen Dünen sind 35 bis 40 m hoch, diejenigen der Gascogne (Les Landes) 45 bis 50 m. Auf Madagaskar sollen Dünen bis 140 m Höhe, an der Küste von Tripolis sogar bis 200 m Höhe vorkommen.¹⁾

Die sich selbst überlassenen Dünen verändern ihre Gestalt durch den Einfluß des Windes fortwährend. An Stellen mit üppigem Graswuchs bilden sich Erhöhungen, diese lenken den Wind ab und bewirken, daß er zwischen ihnen um so stärker weht. Dadurch entstehen Windrisse und Auskehlungen; zwischen diesen bleiben sogenannte Kupsten stehen, d. s. Sandfeiler, deren Oberfläche durch Pflanzenwuchs gefestigt ist. Auf diese Weise kommt das Dünengelände in einen Zustand allgemeiner Verwilderung. Abgesehen davon, daß die fortschreitenden Sandmassen die benachbarten Kulturstätten bedrohen, verliert die Düne durch die Windrisse die Fähigkeit, das dahinter liegende Land gegen hohe Sturmfluten zu schützen. Daher ist an vielen Orten der Ausbau der Dünen zu einem regelmäßigen festliegenden Wall geboten. Insbesondere ist an Flachküsten mit schmalem Dünengürtel die Pflege der Vordünen notwendig, weil von deren Erhaltung der Schutz der Küste gegen Überflutung durch die See abhängt.

B. Künstliche Regelung der Sandablagerung und Befestigung der Dünen.

Als Mittel hierzu dienen: Anlage von Sandfangzäunen, Abdeckung und Bepflanzung. Bei der Anlage von Sandfangzäunen ist zu beachten, daß eine unbiegsame dichte Wand, welche in den Weg des Windes gestellt wird, eine Sandablagerung nach Abb. 52 bewirkt. Der Hügel liegt in einiger Entfernung

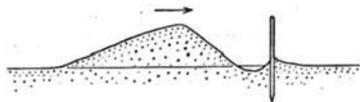


Abb. 52. Sandablagerung infolge einer unbiegsamen dichten Wand.



Abb. 53. Sandablagerung infolge einer biegsamen durchlässigen Wand.

vor ihr, während an ihrem Fuße eine Auswehung stattfindet. Eine biegsame durchlässige Wand verursacht dagegen eine dahinter liegende Ablagerung (Abb. 53). Ist die Wand unbiegsam und durchlässig, so wird sie selbst vom

¹⁾ Nach P. Gerhard, Handbuch des deutschen Dünenbaues.

Sande verschüttet (Abb. 54). Will man daher einen Sandwall gewinnen, so setzt man einen oder mehrere unbiegsame und durchlässige Zäune nach Abb. 55; sobald diese versandet sind, setzt man neue darüber. Auf diese Weise kann man unter günstigen Umständen eine künstliche Düne heranziehen. Die Erfahrung hat ergeben, daß es zweckmäßig ist, die Zäune mittels dünner Reiser aus Nadelholz oder Laubholz herzustellen, die man 30 bis 40 cm tief so in den Sand steckt, daß die Zwischenräume ungefähr gleich den Holzstärken sind. Auch Rohr

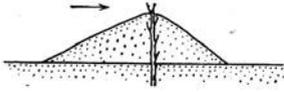


Abb. 54. Sandablagerung infolge einer unbiegsamen durchlässigen Wand.

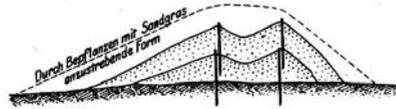


Abb. 55. Sandfangzäune zur künstlichen Aufziehung einer Düne.

ist zu diesem Zweck geeignet. Die Höhe der Zäune über dem Boden beträgt 70 bis 90 cm; der Abstand paralleler Zäune etwa 2 m. Ein möglichst wagerechter Verlauf der zu bildenden Dünenkrone ist durch allmählichen Ausgleich der Geländeunebenheiten anzustreben.

In den französischen „Landes“ stellt man die Zäune aus schmalen senkrechten Brettern her, die in Zwischenräumen gesteckt und nach fortgeschrittener Versandung höher gezogen werden; man nennt diese Zäune „palissades“.

Die Abdeckung kahler Flächen hat den Zweck, Auswehungen zu verhüten. Für liegende Abdeckungen benutzt man Kiefernstrauch, Seetang, Heidekraut und dergl. Die Deckung wird durch Streckstangen gehalten, die mit Hakenpfählen am Boden befestigt werden. Diese Art der Abdeckung ist kostspielig und leicht vergänglich, daher nur zur vorübergehenden Sicherung besonders stark bedrohter Kahlstellen geeignet.

Zum Festlegen größerer Flächen verdient stehende Bedeckung den Vorzug, die man als sogenannte Bestecks ausführt. Dies sind Quadratnetze von niedrigen Zäunen, ähnlich wie die Sandfangzäune, jedoch niedriger und durchlässiger. Nach Gerhard werden Auswehungen bereits verhindert, wenn die Zäune 30 cm hoch sind und die Netzweite 4 m beträgt. Nur auf steilen Hängen wird letztere bis auf 2 m verringert. Die Zwischenräume zwischen den gesteckten Zweigen können doppelt so groß, in geschützten Lagen sogar 4 mal so groß als die Holzstärken sein. Anstatt Strauchholz kann man für die Herstellung der Bestecks auch Rohr oder Heidekraut verwenden; die daraus hergestellten Zäune verrotten aber natürlich schneller.

Das vorzüglichste Mittel zur Befestigung des Dünensandes ist die Bepflanzung. Dazu eignen sich vor allem verschiedene Arten von Sandgräsern, vornehmlich der Strandhafer, *Ammophila arenaria* (nebst der Abart *Ammophila baltica*), ferner *Elymus arenarius* (Strandgerste) und *Triticum junceum*. Die wichtigste Dünenpflanze ist jedoch *Ammophila arenaria*. Sie gedeiht auf trockenstem Sandboden, ist gegen Sandflug unempfindlich und wächst mit fortschreitender Versandung immer höher. Dabei läßt sie sich zu einer gleichmäßigen Bedeckung heranziehen. Andere Pflanzen, insbesondere die Sandweide und die kaspische Weide, sind deswegen unbrauchbar, weil sie nur horstweise wachsen und zur Kupstenbildung beitragen. Der Strandhafer eignet sich sowohl zur Herstellung lebender Bestecks als auch zur Bildung niedriger Sandfangzäune; man pflanzt ihn in Reihen, in Quadraten oder in Büscheln; die Dichte kann man so ändern, daß die Dünenböschungen durch stärkeres oder schwächeres Auffangen von Sand beliebig gestaltet werden.

Die Regelung eines Dünenzuges hat mit der Beseitigung der Unregelmäßigkeiten zu beginnen. Erhöhungen und Kupsten läßt man vom Winde abtreiben,

indem man sie vom Pflanzenwuchs reinigt. Windrisse werden durch Anlage von Sandfangzäunen allmählich geschlossen, Kahlstellen werden abgedeckt. Vortretende Stellen läßt man „wandern“, um sie durch Bepflanzung festzulegen, sobald sie weit genug gerückt sind. Vor zu weit zurückliegenden Stellen ruft man durch Fangzäune neue Sandablagerungen hervor. Der Vorstrand ist zu reinigen und aufzurauhen, die Unebenheiten gleichen sich dann von selbst aus. Auf diese Weise erhält man nicht nur eine gleichmäßige Höhe des Dünenzuges, sondern auch eine geradlinige oder sanft geschwungene Grundrißform. Die Erfahrung hat gezeigt, daß solche Dünen am besten den Angriffen der Sturmfluten widerstehen. Vor einer gut gepflegten Düne bildet sich von selbst ein breiter und immer höher werdender Vorstrand. Bricht dann eine besonders hohe Flut die Düne ab, so gelingt es meistens, durch Anlage von Sandfangzäunen das Verlorene in wenigen Jahren wiederzugewinnen.

Wenn möglich, lege man die Vordüne so an, daß der Vorstrand an tidelosen Meeren vom Dünenfuß bis zur Mittelwasserlinie 40—50 m, im Tidegebiet bis zur mittleren Hochwasserlinie 30—40 m breit bleibt und daß der Dünenfuß vom Hochwasser nicht mehr berührt wird. Immer können diese Forderungen indessen nicht erfüllt werden.

Mit den vorstehend beschriebenen Hilfsmitteln kann man häufig auch an solchen Küstenstrecken Dünen künstlich aufziehen, wo natürliche Dünengebilde wegen starken Abbruches des Sandes nicht aufkommen. Man achte besonders auf schlanken Verlauf des Grundrisses und auf gleichmäßige Höhe der Krone. Durch sorgfältige Reinigung des Vorstrandes von Pflanzenwuchs und Tangablagerungen kann man den Sandflug sehr befördern. Hat die Düne eine Höhe von etwa 3 m über M. W. erreicht, so wird sie durch Bepflanzung mit Sandgräsern festgelegt. Alsdann wird der Strand sich bei sorgfältiger Pflege erhöhen. Durch Sandgraspflanzungen suche man die seeseitige Böschung möglichst flach zu halten, eintretende Schäden müssen sofort wieder ausgebessert werden.

Die richtige Erkenntnis der Grundzüge des Dünenbaues gewann man in Deutschland erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts. Die ersten unbestrittenen Erfolge hatte der Danziger Kranmeister Sören Biörn, ein geborener Däne, aufzuweisen. Die planmäßige Dünenpflege ist erst im 19. Jahrhundert, namentlich durch das Wirken von Krause und Gotthilf Hagen, allgemein eingeführt worden.

C. Aufforstung der Dünen.

Während die den Sturmfluten ausgesetzte und oft von ihnen beschädigte Vordüne nur auf vorbeschriebene Art durch sorgfältige Pflege in gutem Zustande zu erhalten ist, kann der übrige Teil des Dünengeländes bewaldet werden; wenn dies gelungen ist, wird kaum noch eine Unterhaltung nötig sein. Insbesondere hat man an vielen Orten die hohen Wanderdünen, die früher eine Gefahr für ihre Nachbarschaft gewesen sind, durch Aufforstung endgültig festgelegt und unschädlich gemacht.

Es erscheint auf den ersten Anblick verwunderlich, daß in dem dünnen Dünenande Bäume wachsen können. Untersuchungen haben aber gezeigt, daß selbst auf den höchsten Erhebungen der Wanderdünen der Sand in einiger Tiefe noch Spuren von Feuchtigkeit enthält; außerdem sind Überreste von Organismen, insbesondere Kalkpanzer von Infusorien, vorhanden, die Nährstoffe für Pflanzen und Bäume abgeben. Die erstmalige Aufforstung der Dünen erfordert sehr viel Sorgfalt und große Geduld; zeitweilige Mißerfolge bleiben dabei niemals aus. Wenn aber erst einmal Waldaufwuchs erzielt ist, sei er auch noch so kümmerlich, so findet Humusbildung statt, und die Nährverhältnisse werden dadurch mit der Zeit immer mehr verbessert.

Der Aufforstung hat die Festlegung des Strandes und der Vordüne sowie eine

Regelung der Hochdüne nach den vorstehend angegebenen Grundsätzen vorzugehen. Alsdann wird die Hochdüne durch Bestecke festgelegt, da die Pflänzlinge nur gedeihen, wenn kein Sand mehr zugeführt wird. Im Schutze der Besteckzäune werden dann die Pflanzen eingesetzt, und zwar meistens nach Abb. 56 in Quadratstellung mit 1 m Seitenabstand. In jedem Quadrate richtet man 9 Pflanzstellen ein; jede dieser Pflanzstellen wird mit 4 Pflänzlingen mit etwa 20 cm Abstand besetzt. Wenn von diesen 4 nur einer gedeiht, so ist die Dichte der Bepflanzung genügend. Die Pflanzlöcher werden mit dem Keilspaten hergestellt; man drückt damit

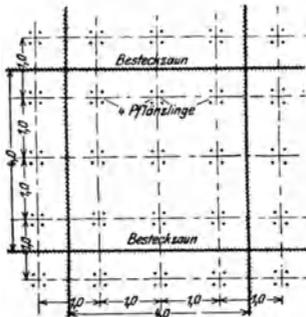


Abb. 56. Besteck mit Kiefern-pflänzlingen.

2 Stück 20 cm voneinander entfernte Spalte in den Boden und setzt an jedes Spaltende eine Pflanze (vgl. Abb. 57). An den Pflanzstellen setzt man vorher zweckmäßig Klumpen von gutem Boden (Mutterboden, Lehm oder Schlick) in den Dünen sand ein; bisweilen werden, besonders beim Nachpflanzen, die Bäumchen mit Ballen, d. h. mit einem vom

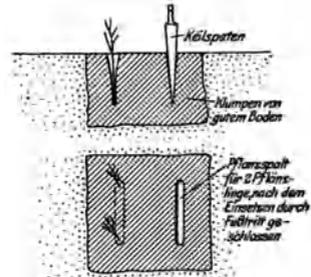


Abb. 57. Einsetzen von Kiefern-pflänzlingen mittels des Keilspatens. (Querschnitt und Grundriß der Pflanzstelle.)

früheren Standorte entnommenen Erdklumpen, in dem sie aufgewachsen sind, versetzt.

Für die Aufforstung des Dünengeländes eignet sich am besten die einheimische Kiefer, *Pinus sylvestris*. Versuche mit anderen Arten, insbesondere mit der vielfach angepriesenen amerikanischen Bankskiefer, haben beim Anlegen von Neupflanzungen nach den Erfahrungen des Verfassers keine besseren Erfolge ergeben. Dagegen eignet sich die Bankskiefer wegen ihrer Schnellwüchsigkeit zum Nachpflanzen der Kahlstellen in mehrjährigen Kulturen. Nur auf den höheren und besonders trockenen Stellen der Hochdünen kommt die gemeine Kiefer nicht mehr fort, dort hat sich als zweckmäßiger erwiesen die Bergkiefer, *Pinus montana*. Sie wächst außerordentlich langsam, deckt aber den Boden gut, weil sie sich strauchartig entwickelt. Sie ist auch sehr widerstandsfähig gegen Sandflug, der die gemeine Kiefer am Rande der Kultur oft stark beschädigt. Der forstliche Nutzen der Bergkiefer ist aber sehr gering.

In dem niedrigen Gelände zwischen Vordüne und Hochdüne gedeiht die Erle vorzüglich, und zwar die Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) an feuchten Stellen, die Weißerle (*Alnus incana*) auch noch mehrere Meter über dem Grundwasserstand¹⁾. Die Erlen zeichnen sich durch Schnellwüchsigkeit vorteilhaft aus. Sie gedeihen auch noch an Stellen, die bei hohen Fluten von der See überstaut werden, während alle Kiefernarten Salzwasser nicht vertragen.

Der Dünenwald ist sehr empfindlich gegen Raupenfraß und Wildschaden. Die forstliche Nutzung muß ganz zurücktreten gegenüber seiner eigentlichen Bestimmung als Schutzwald. Unvorsichtige Abholzung können großen Schaden hervorrufen, weil der Sand dadurch wieder flüchtig werden kann. Es ist nachgewiesen, daß die Dünen auf den preußischen Nehrungen und an der Danziger Bucht schon früher bewaldet gewesen sind und daß sie durch Waldvernichtung

¹⁾ Nach P. Bock in Gerhards Dünenhandbuch, S. 473, soll die Weißerle hohe Ansprüche an die Bodenbeschaffenheit stellen und gegen Seewind empfindlich sein. Bei den Aufforstungen am Großen Strande auf Mönchgut sind jedoch die Weißerlenkulturen sehr gut fortgekommen; der Baum ist dort sogar zum Nachpflanzen auf trockenen Kahlstellen in Kiefernbeständen mit Erfolg verwendet worden.

im 16. und 17. Jahrhundert wieder zu vollständigen Wanderdünen wurden. Sie sind erst in neuerer Zeit an den wichtigsten Stellen mit großer Mühe wieder festgelegt worden; die Aufforstung ist noch nicht überall durchgeführt.

9. Abschnitt. Uferschutzwerke.

A. Allgemeines.

Nicht an allen Küstenstrecken kann man durch Dünenbau allein den Rückgang des Ufers verhindern. Die dünne Sandgrasdecke hält dem Anprall der Sturmfluten nicht stand. Der losgerissene Boden wird um so leichter fortgespült, je stärker die auf Seite 42 beschriebene Küstenversetzung durch Strömung und Wellenschlag auftritt; die Aussicht auf Wiedergewinnung des Verlorenen ist um so geringer, je weniger die Bedingungen der Dünenbildung, nämlich Sandzufuhr und überwiegend auflandige Winde, gegeben sind. Will man in solchen Fällen dem Vorschreiten der See Einhalt gebieten, so muß man geeignete Uferschutzwerke errichten.

Um das bedrohte Land gegen unmittelbaren Abbruch zu schützen, wendet man die Uferdeckwerke an. Diese werden liegend als eigentliche Deckwerke oder stehend als Ufermauern oder Steinwälle ausgeführt. Sie können ihren Zweck nur erfüllen, solange der Strand nicht durch Vertriftung (vgl. S. 42) zurückgeht; in diesem Falle würden sie schließlich unterspült werden und einstürzen. Zur Festhaltung des Strandes dienen dann die Strandbuhnen. An manchen Küstenstrecken, besonders im Gebiete der Tideströmungen, bilden sich tiefe Stromrinnen (Priele) aus, die oft ihre Lage ändern, bisweilen sich einer Küstenstrecke nähern. Letztere ist dann aufs höchste bedroht; da in diesem Falle die tiefere Meeressohle abgespült wird, werden zunächst die Strandbuhnen und schließlich auch die Deckwerke unterwaschen und zum Einsturz gebracht.

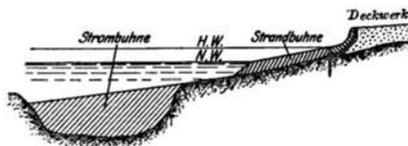


Abb. 58. Querschnitt einer Küstenstrecke mit verschiedenen Uferschutzwerken.

Um das Ufer zu erhalten, bleibt nur übrig, das Priel durchzubauen; zu diesem Zwecke dienen die Strombuhnen. Abb. 58 zeigt den Querschnitt durch eine bedrohte Küstenstrecke mit den vorbenannten drei Arten von Schutzwerken.

Die Kosten von Uferschutzwerken sind meistens viel erheblicher als der Wert des in einem Menschenalter verloren gehenden Landes. Sie sind daher nur dort am Platze, wo besondere Gründe für die Erhaltung des Ufers vorliegen, wenn beispielsweise größere Ortschaften zu schützen sind, wenn die Vernichtung eines für den Wohlstand einer ganzen Gegend bedeutungsvollen Badestrandes zu befürchten ist (Ostfriesische Inseln), wenn die Landerhaltung aus strategischen Gründen notwendig ist (Helgoland), oder wenn Landdurchbrüche die Verwilderung eines Fahrwassers zur Folge haben würden.

B. Deckwerke.

1. Liegende Werke. Die liegenden Deckwerke werden flach oder steil, mit ebener oder geschwungener Böschung ausgeführt; die verschiedenen Formen sind nachstehend an Beispielen erläutert. Meistens reichen die Deckwerke bis über den höchsten Hochwasserstand. Früher verwendete man bisweilen auch niedrige Parallelwerke, aus denen eine Reihe hölzerner Pfähle bis über Hochwasser hervorragte, die als Wellenbrecher dienen sollten. Wegen der geringen Wirksamkeit, der Beschädigung durch Eis und wegen der raschen Vergänglichkeit des Holzes über Wasser wird diese Bauweise nicht mehr angewendet.

Ein Beispiel eines einfachen flachen Deckwerkes ist das in Abb. 59 dargestellte Stackwerk aus Busch, wie es auf den Nordseeinseln ausgeführt wird. Auf den Sandboden des Strandes wird eine Klaischicht aufgebracht, darüber kommt eine Strohbestückung (vgl. S. 67), alsdann eine Buschlage. Das Ganze wird durch Pfähle festgehalten, zwischen denen Draht oder Faschinenwürste gespannt oder niedrige Flechtzäune hergerichtet werden. Die dadurch erzielte Rauigkeit wirkt wellenbrechend. Wegen der Vergänglichkeit des Holzes über Wasser ist diese an sich gut bewährte Bauart nur für vorübergehende Anlagen zu empfehlen.

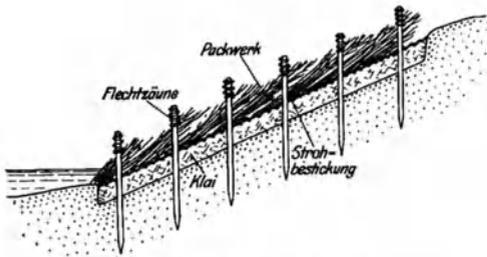


Abb. 59. Buschdeckwerk.

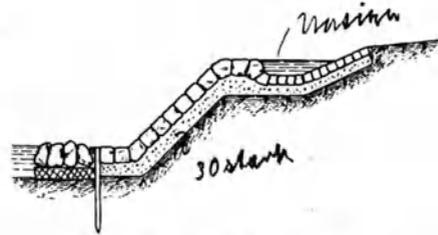


Abb. 60. Gepflasterte Böschung mit Wasserpolster.

Abb. 60 zeigt eine häufig angewandte einfache Pflasterböschung, die sich gegen eine Pfahlreihe oder Spundwand stützt. Man wählt die Steine 30 bis 40 cm stark, die Kiesbettung ebenso stark. Letztere besteht am besten aus Schichten verschiedener Korngröße nach Art eines Filters, und zwar kommt die größte Schicht nach oben, die feinste nach unten, damit die Auswaschung des Bodens durch den Sog der Wellen verhindert wird. Die Pfahlreihe wird zweckmäßig durch eine Buschvorlage mit Steinbelastung gesichert.

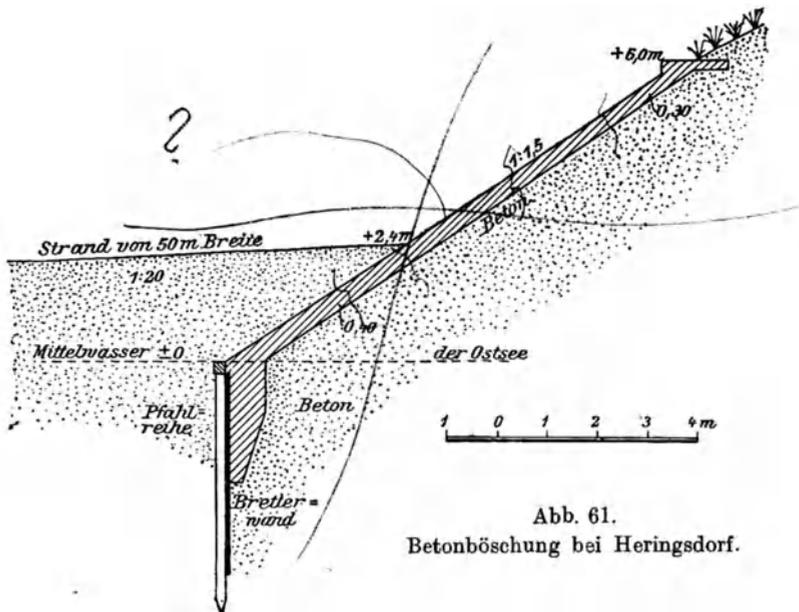
Abb. 61.
Betonböschung bei Heringsdorf.

Abb. 61 stellt eine mit Beton abgedeckte Böschung bei Heringsdorf dar.¹⁾ Der Fuß endet in eine Betonschürze, diese stützt sich gegen eine Wand aus waagrecht verlegten Brettern, die durch eine Pfahlreihe gehalten werden. Eine Kies-

¹⁾ Abb. 61 ist entnommen aus P. Gerhard, Handbuch des deutschen Dünenbaues.

bettung ist unter der Betondecke nicht angewendet worden. Ob dies vorteilhaft ist, muß bezweifelt werden, denn der Beton wird rissig, und die Wellen saugen den feinen Sand unter der Decke hervor; dadurch entstehen Hohlräume, die den Bestand des Bauwerkes gefährden.

Die ebenen Böschungsabdeckungen haben den Nachteil, daß die auf die schräge Fläche treffenden Wellen infolge ihrer plötzlichen Richtungsänderung starke Stöße ausüben und alsdann sehr hoch auflaufen, besonders wenn die Abdeckung zu glatt ist. Gelangen die Wellen bis über die Deckwerkskrone, so hinterspülen sie das Bauwerk und bringen es zum Einsturz. Man hat versucht, dies durch Anordnung von Mulden auf der Krone, in denen sich ein Wasserpolster bildet, zu verhüten (vgl. Abb. 60).

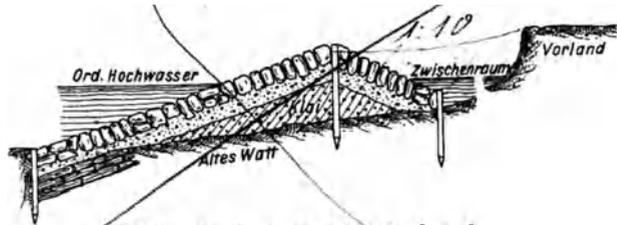


Abb. 62. Freistehendes Deckwerk.

Zur Vergrößerung des Wasserpolsters rückt man bisweilen das Deckwerk vom Ufer etwas ab (Abb. 62). Die Böschungsabdeckung muß dann auch auf die Innenseite des Werkes ausgedehnt werden, dadurch werden die Kosten vergrößert. Wenn der Fuß beider Böschungen nicht sehr sorgfältig gesichert wird, so liegt die Gefahr der Durchwaschung vor. Anlagen dieser Art an der Ostseite der Greifswalder Oie wurden durch die Sturmflut von 1904 gänzlich zerstört.

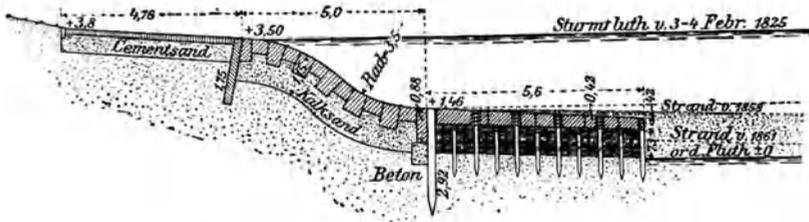


Abb. 63. Deckwerk auf Norderney.

Die Stöße der Wellen werden vermindert, wenn die Deckwerksfläche sich tangential aus der Strandfläche entwickelt. Nach diesem Gesichtspunkt ist das in Abb. 63 dargestellte schwere Deckwerk auf Norderney¹⁾ ausgeführt. Die Abdeckung der Böschung besteht aus in Traßmörtel verlegten Quadern auf Kalksand und ist mit dem Radius 3,5 m doppelt gekrümmt. Der Fuß stützt sich

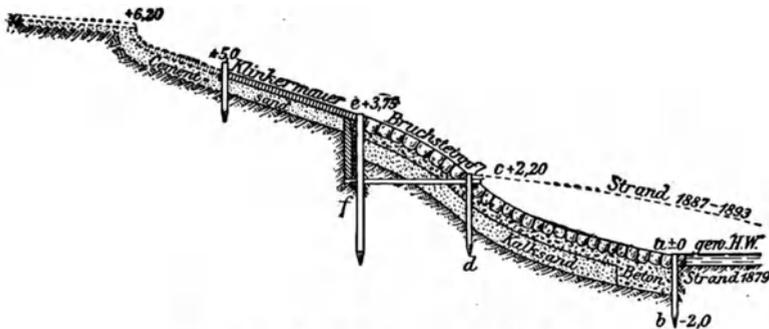


Abb. 64. Deckwerk auf Spiekeroog.

¹⁾ Die Abb. 63—66 u. 68 sind entnommen aus P. Gerhard, Handbuch des deutschen Dünenbaues.

gegen eine Pfahlwand, die eine Vorlage aus Faschinen mit Steinbelastung erhalten hat. Am oberen Ende der gekrümmten Abdeckung bindet eine dünne schräge Wand aus Steinplatten 1,75 m tief zum Schutze gegen Unterspülung in den Boden ein. Oberhalb ist noch eine flach geneigte Fläche mit Klinkerpflaster befestigt.

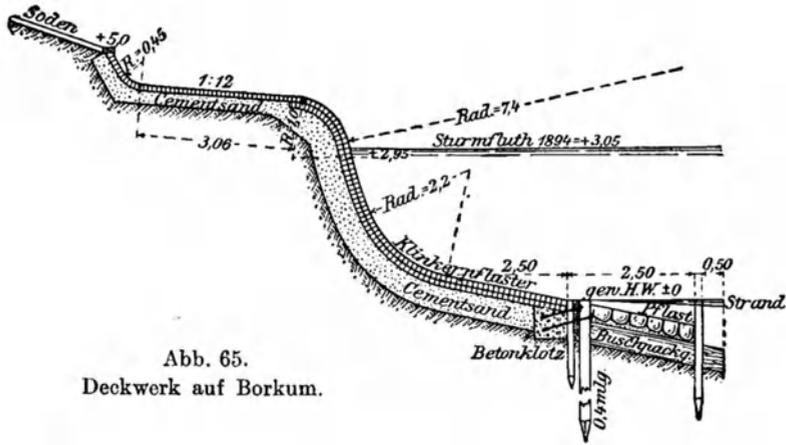


Abb. 65.
Deckwerk auf Borkum.

Ähnlich, jedoch flacher ist das in Abb. 64 dargestellte Deckwerk auf Spiekeroog. Die Abdeckung ist etwas leichter und besteht aus in Mörtel verlegtem Bruchsteinpflaster auf Beton.

Die in Abb. 63 und 64 dargestellte Deckwerksform hat den Nachteil, daß die konvexe Krümmung im oberen Teile die Wellen noch höher auflaufen läßt als bei ebenen Böschungen. In der Tat wurde das Deckwerk von Spiekeroog durch die Sturmflut von 1894 durch Hinterspülung stark beschädigt. Man hat

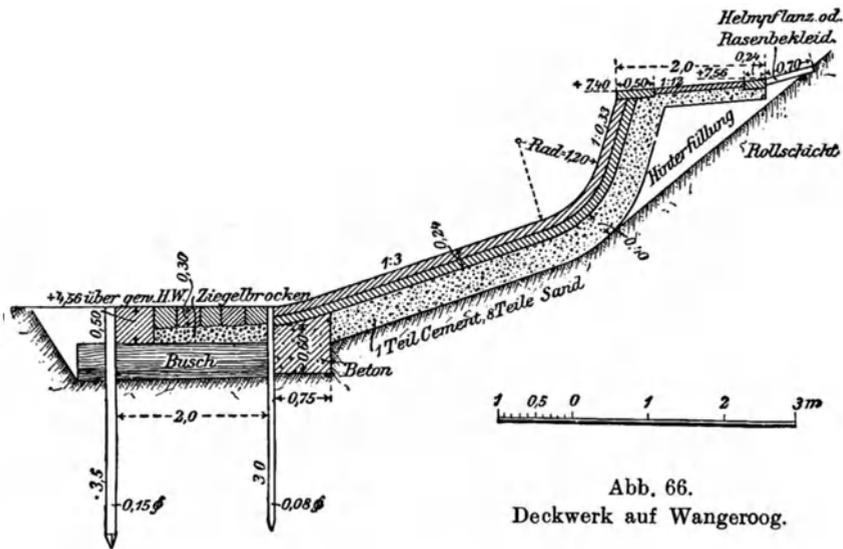


Abb. 66.
Deckwerk auf Wangeroog.

daher später das obere Klinkerpflaster bis + 6,20 m über das mittlere Hochwasser weiter geführt und es oben mit hohler Krümmung steil enden lassen. Ähnlich sind auch die Deckwerke von Norderney nachträglich ausgebaut worden.

Bei dem Deckwerk auf Borkum (Abb. 65) überwiegt die hohle Krümmung. Die Welle wird aus der wagerechten Richtung allmählich fast in die senkrechte übergeführt und fällt somit in sich zusammen. Gleichwohl ist oberhalb der hohlen

hergestellt. Letztere ist bei Punkt A durch eine mit Pappe ausgekleidete Fuge von der Böschungsbekleidung getrennt. Nach Vollendung der Hinterfüllung wurde hinter der Brustmauer noch ein 3 m breiter Streifen aus Trockenpflaster zum Schutze gegen überstürzende Wellen hergestellt.

Zwecks Ersparnis an Baustoffen und Arbeitsleistungen hat man versucht, Seedeckwerke auch als dünnwandige Eisenbetonkonstruktionen herzustellen. Abb. 68 zeigt ein nach der von Prof. Möller in Braunschweig angegebenen Bauweise hergestelltes Deckwerk auf der Insel Föhr. Es besteht aus einer dünnen eisenbewehrten Betonschale, die durch Betonstäbe mit dem Boden verankert ist. Die Herstellung geschieht wie folgt: Nachdem ein genau nach der Deckwerksform abgeglichenen Sandwall hergestellt ist, werden mit einer Eisenstange in etwa 40 cm Abstand Löcher von 4 cm Durchmesser bis zu etwa 40 cm Tiefe in den angefeuchteten Sand getrieben. In diese Löcher werden starke, am Ende umgebogene Drähte gesetzt, und alsdann werden die Löcher mit Zementmörtel vergossen. Hierauf wird eine Betonschicht von etwa 4 cm Stärke auf die Oberfläche des Sanddammes aufgebracht, darauf ein Netz aus Draht oder Streckmetall gelegt und letzteres mit den Enden der aus den vergossenen Löchern hervorragenden Drähte fest verbunden. Zuletzt wird dann noch über das Ganze eine Betonschicht von etwa 8 cm Stärke gebracht. Um das Reißen der Betondecke durch Temperaturspannungen oder Bodensetzungen zu verhüten, werden in passendem Abstände Querfugen angeordnet; durch Teerpappunterlage unter den Fugen wird das Auswaschen von Sand verhütet.

Nach dem von dem Holländer De Murald erfundenen Verfahren wird die Betondecke in einzelne gleichfalls verankerte Platten oder Streifen geteilt.

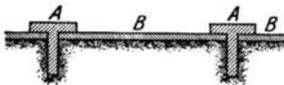


Abb. 69. Eisenbetondeckwerk, Bauart de Murald.

Dadurch sollen Risse vermieden und die Widerstandsfähigkeit gegen den Seegang soll durch geringe Nachgiebigkeit vergrößert werden. Die Abb. 69 u. 70 zeigen ein auf der Insel Schouwen nach diesem Verfahren ausgeführtes Schutzwerk. Eine Reihe von Plattenbalken A aus Eisenbeton sind senkrecht zur Brechkante der Böschung mit ihrem Stege in den

Boden eingegraben. Die Flanschen umfassen die einzelnen Eisenbetondielen B und halten sie fest. Bei dem Deckwerk auf Schouwen ist die Anordnung so getroffen, daß die Dielen sich staffelförmig überdecken. Die Abdeckung erhält daher die aus Abb. 70 ersichtliche Stufenform, die einerseits die auflaufenden Wellen besser zu brechen vermag als eine glatte Böschung und andererseits

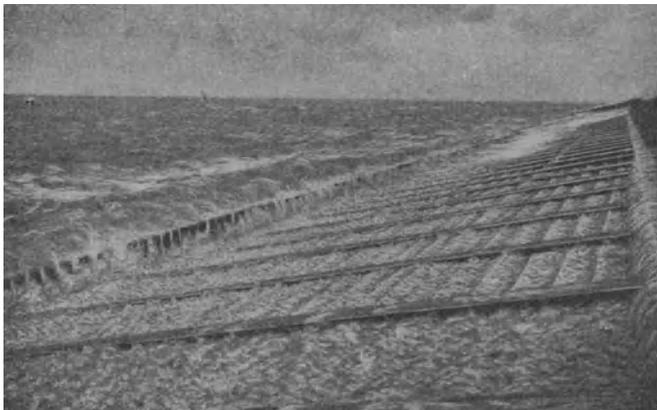


Abb. 70. Ansicht des de Muraldschen Deckwerkes auf der Insel Schouwen.

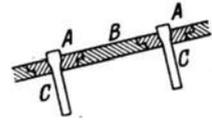
das Begehen des Werkes zwecks Besichtigung erleichtert. Die Anlage soll sich gut bewährt haben¹⁾.

Eine andere gleichfalls von De Murald angegebene Ausführungsform für glatte Böschungen ist in Abb. 71 a und b dargestellt. Die Betondecke besteht aus einzelnen Platten, deren Ränder mit Falzen versehen sind, die so übereinandergreifen, daß die Platten B von den Platten A festgehalten werden. Letztere sind durch Betonpföcke C, die durch eine Öffnung der Platten A hindurchgesteckt sind, mit dem Boden verbunden.

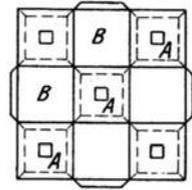
Über die Bewährung der dünnwandigen Eisenbetondeckwerke kann ein endgültiges Urteil noch nicht abgegeben werden²⁾.

2. Stehende Werke. Abb. 72 zeigt eine ähnlich wie das Deckwerk von Wangeroog wirkende Ufermauer in Scheveningen, die mit hohler Vorderfläche zwecks Senkrechtführung der Wellen hergestellt ist. Eine Ufermauer mit steiler ebener Vorderfläche ist in Abb. 73, S. 58, dargestellt; sie ist freistehend und hat eine Vorlage von Faschinen mit Steinbelastung erhalten. Für gute Entwässerung ist durch eine Sickerschicht hinter der Mauer und durch Querdrainagen gesorgt.

Anstatt der massiven Mauern hat man an der Ostsee mit sehr gutem Erfolge Wälle aus großen lose gepackten Steinen angewendet. Abb. 74 zeigt einen älteren, Abb. 75, S. 58, einen neueren Steinwall. Letzterer hat eine Faschinenunterlage erhalten, er ist ziemlich steil, hat aber an der Seeseite eine Vorlage zum Schutz gegen Unterspülung.



a) Querschnitt.



b) Grundriß.

Abb. 71 a und b.
Deckwerk aus verankerten Platten.

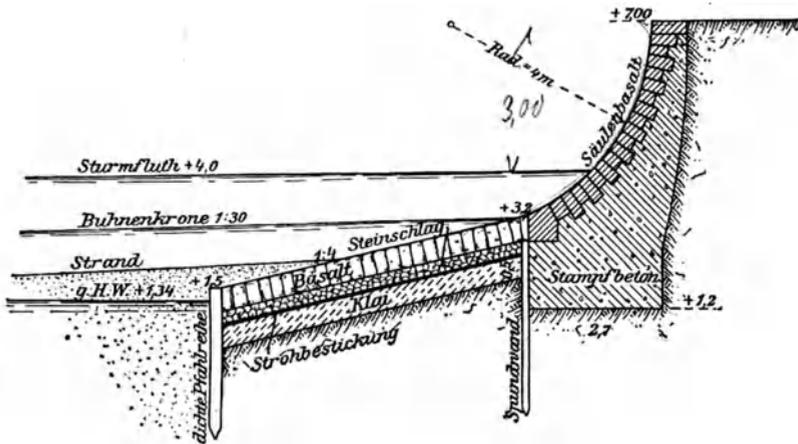


Abb. 72. Ufermauer bei Scheveningen.

Diese Wälle werden neuerdings aus rohen Felsblöcken bis zu 4000 kg Gewicht hergestellt; aus Abb. 75 ist das vom Verfasser auf Rügen benutzte Versatzgerüst (hölzerner Portalkran mit Laufkatze) ersichtlich. Guter Steinverband ist für die Standsicherheit sehr wesentlich, dagegen ist es schädlich, kleine

¹⁾ Zentralblatt der Bauverwaltung 1911, S. 562.

²⁾ Ein auf der Insel Ruden ausgeführtes Betondeckwerk mit Eiseneinlagen hatte schon nach einem Winter zahlreiche feine Haarrisse, die sich bald erweiterten und zu Ablätterungen führten.

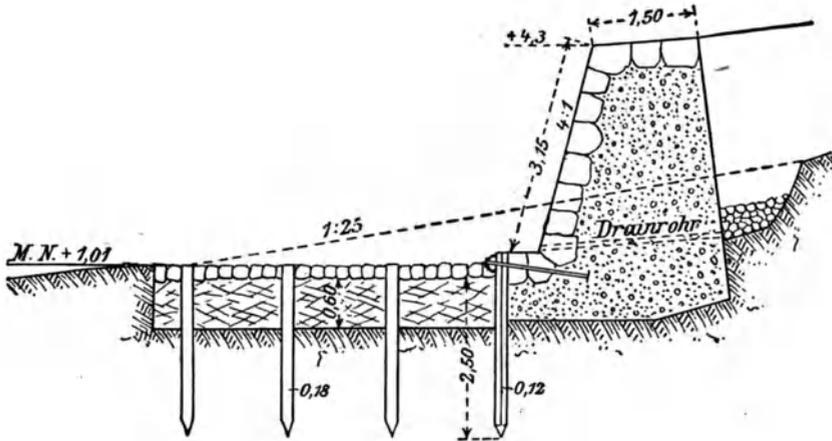


Abb. 73. Ufermauer am Streckelberge.

Zwicksteine zu verwenden, weil diese durch die Brandung herausgerissen werden und dadurch der Verband gelockert wird. Die Wälle werden am besten so weit vom Ufer abgerückt, daß sie in 0,3 bis 0,5 m tiefes Wasser zu stehen kommen.

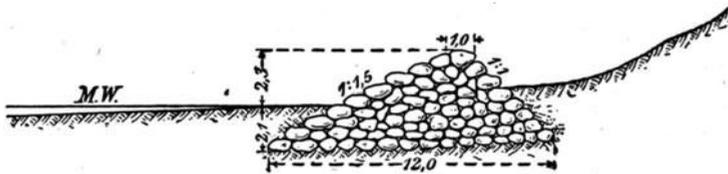


Abb. 74. Älterer Steinwall bei Brüsterort.

Dadurch bleibt die Faschinenunterlage unter Wasser, ohne daß Erdarbeiten nötig sind. Durch die Hohlräume zwischen den Steinen wird von der Brandung viel Sand hindurch getrieben, der eine erwünschte Strandverbreiterung bewirkt.

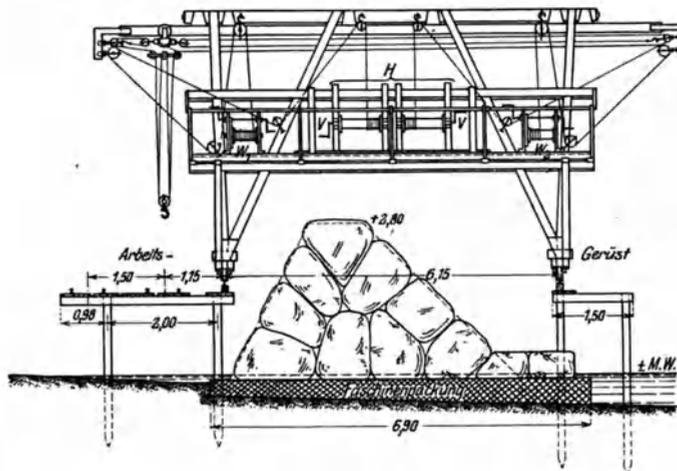


Abb. 75. Neuerer Steinwall bei Thiessow auf Rügen.

C. Strandbuhnen.

Die Strandbuhnen haben den Zweck, das Abwandern der vom Wellenschlage gelösten Erdmassen zu verhüten und, wenn möglich, die von anderwärts herrührenden auf dem Strande fortbewegten Sinkstoffe zur Ablagerung zu zwingen. Im ersteren Falle wird der Strand dadurch festgehalten, im zweiten Falle wird er sogar erhöht. Erfolgt an einer Küstenstrecke keine Erdbewegung parallel zum Ufer, so sind Buhnen dort zwecklos; der Abbruch würde mit Deckwerken allein zu verhindern sein.

Seebuhnen werden gewöhnlich senkrecht zum Strande angelegt. Man baut sie so weit in die See hinaus, daß eine zur Ufersicherung notwendige Strandbreite bedeckt wird. Die Neigung soll tunlichst flach sein, etwa 1 : 30 bis 1 : 50, und tunlichst der natürlichen Strandneigung entsprechen. Man legt im Tidegebiet gewöhnlich den Buhnenkopf auf die Höhe des mittleren Niedrigwassers, an der Ostseeküste auf diejenige des Mittelwassers; zweckmäßig ist es aber, die Buhnenköpfe unter Verlängerung des Buhnenkörpers noch tiefer zu legen, so daß ein möglichst breiter Streifen des nassen Strandes gedeckt wird. Wenn die Buhnen nicht so hoch geführt werden können, daß sie gegen Hinterströmung gesichert sind, so schließt man die Wurzeln zweckmäßig an ein Deckwerk an. Die Buhnenköpfe sind nach einer geraden oder sanft geschwungenen Streichlinie auszurichten. Der Abstand der Buhnen ist gleich der 1- bis 1½fachen Buhnenlänge, vom Kopfe bis zur Strandlinie bei Mittelwasser bzw. Mittelhochwasser gerechnet, zu wählen. Die Länge richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen; sie beträgt gewöhnlich in der Ostsee 20 bis 60 m, in der Nordsee je nach der Breite des Watts 50 bis 200 m, ausnahmsweise noch erheblich mehr. Bei sehr großen Buhnenlängen darf der Abstand nicht in gleichem Maße wachsen, sonst wird der Angriff zwischen zwei Buhnen zu stark. Man ordnet dann zweckmäßig kürzere Zwischenbuhnen an. Hohe und steile Ränder der Buhnen rufen leicht Auskolkungen hervor, daher wählt man den Querschnitt am besten flach gewölbt. Nach eingetretener Strandaufhöhung sind die Buhnen gleichfalls zu erhöhen.

Die einfachsten Formen der Buhnen sind die Pfahlbuhnen (Abb. 76, a und b) aus einfacher oder doppelter Pfahlreihe, die in der Ostsee und auch in der Nordsee ausgeführt worden sind. Wenn Zwischenräume zwischen den Pfählen vorhanden sind, wird der Sand hindurchgeschlagen, die Anlage ist alsdann wirkungslos. Da die Pfähle außerdem durch Eis und durch den Seewurm leicht beschädigt werden, wendet man diese Bauart nur selten an.

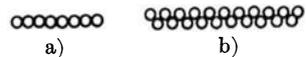


Abb. 76 a und b. Pfahlbuhnen. (Grundriß.)

Besser bewähren sich die durch beiderseitige Steinschüttung gesicherten Pfahlbuhnen (Abb. 77). Noch widerstandsfähiger sind die aus doppelter Pfahlreihe mit Steinfüllung nach Abb. 78 bestehenden Buhnen, die nament-



Abb. 77. Pfahlbuhne mit Steinen umschüttet.



Abb. 78 a und b. Buhnen aus Steinschüttung zwischen Pfahlreihen.



lich an der Ostsee häufig ausgeführt werden. Bisweilen wird unter der Steinschüttung eine Faschinenunterlage angeordnet. Diese Bauart ist auch an der Nordsee auf Borkum mit Erfolg angewendet worden.

Eine eigentümliche Form sind die Erdbuhnen auf der Halbinsel Eiderstedt an der schleswig-holsteinschen Nordseeküste (Abb. 79)¹⁾. Auf dem Strand wird die Buhne aus gutem Klauboden

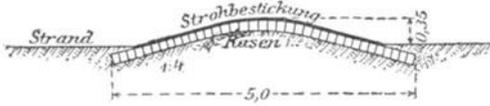
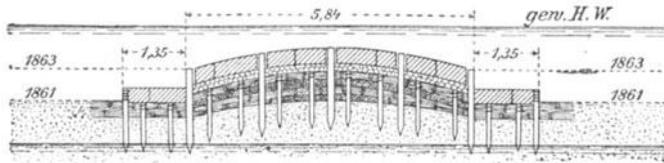


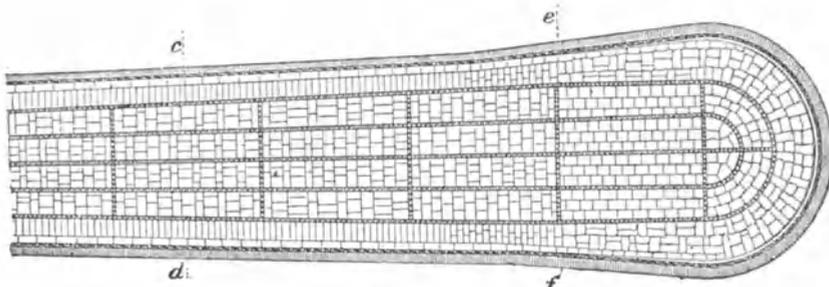
Abb. 79. Erdbuhne auf Eiderstedt.

in gewölbter Form hergestellt und mit etwa 12 cm starken Rasenplaggen belegt. Alsdann wird das Ganze mit Strohbestückung (vgl. S. 67) versehen. Diese Bauweise ist nur an geschützten Stellen

anwendbar; an den starken Wellenangriffen ausgesetzten Küstenstrecken der Westseite der friesischen Inseln würden derartige Erdbuhnen wohl keinen Sturm überdauern.

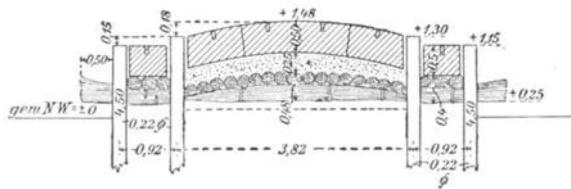


a) Querschnitt.

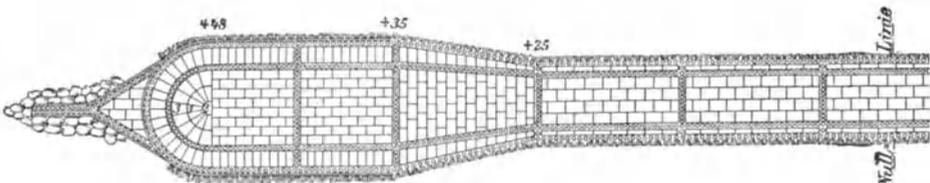


b) Grundriß.

Abb. 80 a und b. Steinbuhnen auf Norderney.



a) Querschnitt.



b) Grundriß.

Abb. 81 a und b. Hauptbuhnen auf Sylt.

¹⁾ Die Abb. 79—83 u. 88 sind entnommen aus P. Gerhard, Handbuch des deutschen Dünenbaues.

Abb. 80 zeigt einen Querschnitt und den Grundriß der Steinbuhnen auf Norderney. Auf einer gewölbten, durch Pfähle gehaltenen, mehrfachen Faschinenlage ist eine 20 cm starke Schicht von Steinbrocken aufgebracht. Darauf ist eine gewölbte Decke von 30—40 cm starken Quadern verlegt. Durch 5 Längsreihen und zahlreiche Querreihen von eingerammten Pfählen sind Felder gebildet, die ein Verschieben der Steindecke verhindern. An beiden Seiten ist ein flaches Bankett aus Quadern auf Faschinenunterlage hergestellt. Die Breite des gewölbten Buhnenteiles nimmt von der Wurzel zum Kopfe von 5,84 auf 8,76 m zu, diejenige des Banketts von 1,25 auf 2,30 m.

Ähnlich sind die Hauptbuhnen auf Sylt ausgeführt (Abb. 81). Die Längspfahlreihen sind dort auf 4 beschränkt und so angeordnet, daß der Mittelteil und die beiden Banketts besondere Einfassung haben. Die Quadern sind durch Betonblöcke ersetzt.

Eine bemerkenswerte Anlage von Strandbuhnen ist zum Schutz der Helgoländer Düne, einer rd. 1500 m östlich vom Hauptlande gelegenen flachen Nebeninsel, nach dem Vorschlage von Ludwig Franzius ausgeführt worden. Nach Abb. 82 sind 8 sehr lange Buhnen strahlenförmig in die See hinausgebaut worden. Ihre Länge beträgt 550 bis 900 m. Sie reichen zum Teil bis 5 m unter Niedrigwasser. Trotz des starken Wellenangriffes sind die über dem Niedrigwasser liegenden Teile aus Faschinenpackwerk hergestellt (Abb. 83).

Die Breite des Packwerkskörpers beträgt 10 bis 12 m; die Stärke an den Rändern nur 10 cm, in der Mitte 35 bis 50 cm. Durch diese flache Form sollten die Werke dem Wellenangriffe

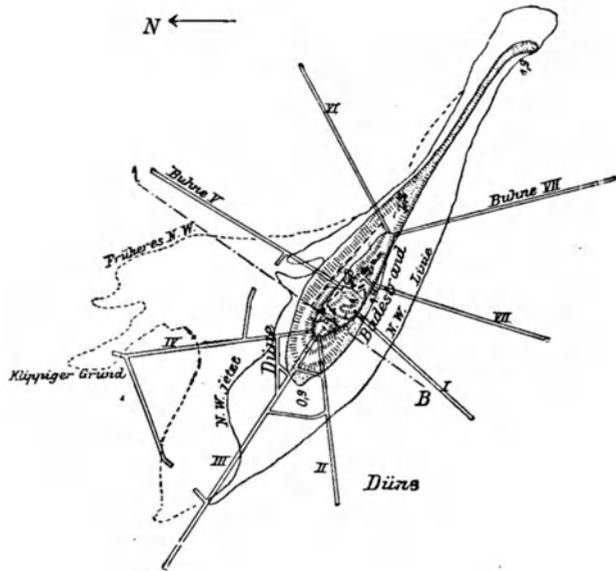


Abb. 82. Befestigung der Düne bei Helgoland.



Abb. 83. Querschnitt einer Packwerksbuhne.

entzogen werden. Die Buschbunde liegen senkrecht zur Buhnenrichtung; sie sind 15 bis 20 cm tief in den Strand eingegraben und durch starke Drähte gesichert, die in der Längsrichtung der Buhne in 60 bis 70 cm Abstand verlegt und mittels Krampen an eichenen Pfählen befestigt sind. Letztere sind 0,6 bis 1,00 m lang und durch das Packwerk hindurch in den Boden eingeschlagen. Anstatt der Pfähle sind zum Teil auch Bückingsche Erdanker verwendet, d. s. schraubenförmige Platten mit Drähten, die mit einem passenden Schlüssel in den Boden eingeschraubt werden (Abb. 84). Nach einigen Tiden war das Ganze mit Sand durchsetzt.



Abb. 84.
Bückingscher
Erdanker.

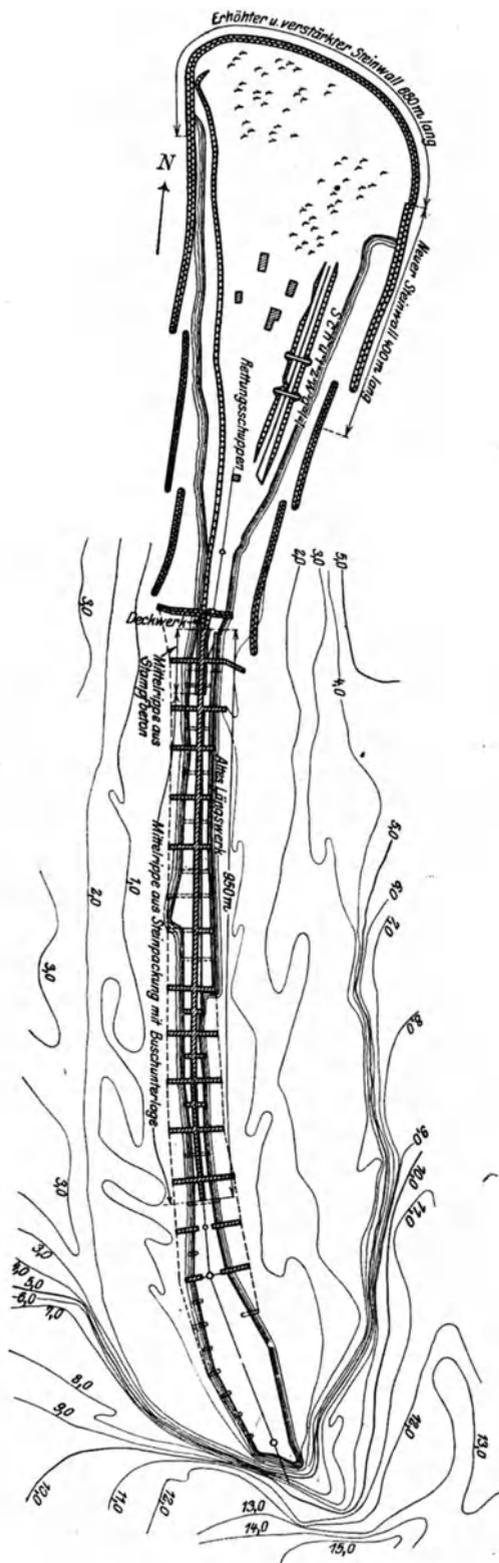


Abb. 85. Befestigung der Insel Ruden.

Die Buhnen überragen den Strand nur um etwa 30 cm; bei eintretender Versandung sollten sie durch Auflegen weiterer Buschlagen erhöht werden. Die unter dem Niedrigwasser liegenden Buhnenstrecken werden aus 3 nebeneinanderliegenden Sinkstücken gebildet. Das mittelste ist 10 m breit und 70 cm hoch, die beiden seitlichen sind 2,5 m breit und im Querschnitt trapezförmig, damit die Ränder des Ganzen niedrig werden. Die Sinkstücke sind in Längen bis zu 100 m hergestellt und bei der Versenkung mit einer etwa 30 cm hohen Steinschicht belastet worden. Mit fortschreitender Versandung sollten auch die Sinkstückbuhnen durch Auflegung weiterer Schichten erhöht werden. An der Nordwestseite sind die Buhnen durch schwache Querwerke verbunden.

Die Buhnenanlage sollte die infolge der vorherrschenden Rundströmung um die Insel kreisenden Geschiebe auffangen und dadurch eine allmähliche Erhöhung des Strandes herbeiführen. Trotz anfänglicher Erfolge sind jedoch die gehegten Erwartungen, soweit sie die Vergrößerung der Düne betrafen, nicht erfüllt worden. Jedoch scheint der früher rasch fortschreitende Landabbruch durch den Buhnenbau verlangsamt worden zu sein. Die leichten Buschwerke sind dem schweren Seegang auf die Dauer nicht gewachsen, sie können nur mit großen Kosten unterhalten werden und sind zum Teil durch Steinbuhnen ersetzt worden.

Eine ähnliche Befestigung ist mit gutem Erfolge auf der Ostseeinsel Ruden ausgeführt worden. Die Insel liegt vor der Peenemündung, sie ist ein ausgesprochenes Dünengebilde. An den noch etwa 300 m breiten nördlichen Teil schließt sich nach Süden ein langer schmaler Landstreifen an (Abb. 85). Die Insel ist wichtig als Lotsenstation, dem südlichen Teil wird eine Bedeutung für die Erhaltung des zum Peenestrom führenden Fahrwassers beigemessen. Der Rückgang der Insel hat seit 1845 mindestens 50% ihrer damaligen Flächengröße

betragen. Die Sturmflut von 1872 durchbrach den mittleren Teil, diejenige von 1904 nahm die 4 bis 5 m hohen Dünen des südlichen Teiles bis auf einen geringen Rest hinweg. Auch der nördliche Teil, der schon durch Schutzwälle und Buhnen geschützt war, wurde stark beschädigt. In den Jahren 1905 bis 1907 wurde die Insel planmäßig befestigt. Die älteren Schutzwälle am nördlichen Teil wurden teils verstärkt, teils durch neue, 25 bis 30 m von der Uferlinie abstehende Wälle nach Abb. 75, S. 58, ersetzt. Die aus Abb. 85 ersichtlichen Unterbrechungen in dem Zuge der Steinwälle waren erforderlich, um das Landen von Booten zu ermöglichen. Weil die Insel 1904 fast ganz überflutet worden war, so daß die Bewohner in Lebensgefahr schwebten, wurde ein bis 4 m über Mittelwasser reichender, also hochwasserfreier, Schutzwall mit 9 m Kronenbreite mittels eines Pumpenbaggers aufgespült und mit Dünengräsern und Sträuchern befestigt.

Am südlichen Teile wurde der Durchbruch durch ein 950 m langes Verbindungswerk geschlossen, dessen Querschnitt aus Abb. 86 ersichtlich ist. Es besteht, ähnlich wie die vorstehend beschriebenen Nordseebuhnen auf Sylt, aus gewölbter Steinpackung, die auf Buschunterlage verlegt und durch Pfahlreihen gesichert ist.

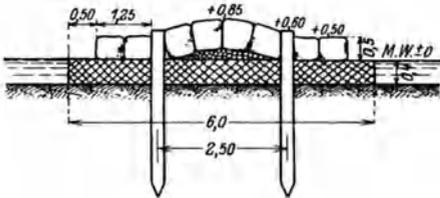


Abb. 86. Verbindungswerk auf Ruden.

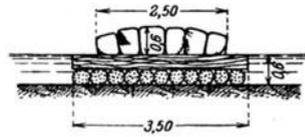


Abb. 87. Buhne auf Ruden.

Ein 100 m langes Stück wurde außerdem probeweise aus Eisenbeton hergestellt. Zu beiden Seiten dieses Längswerkes wurden zahlreiche 15 bis 50 m lange Buhnen, die aus Steinpackung auf Buschunterlage gemäß Abb. 87 bestehen, hergestellt. Zwischen je zwei Hauptbuhnen sind kurze Zwischenbuhnen angeordnet. An der Südspitze zeigt sich Hakenbildung, sie liegt daher trotz der Nähe großer Wassertiefen nicht im Abbruch. Die Werke haben sehr günstig gewirkt; der aus den Untiefen nördlich und östlich der Insel stammende und infolge der Wellenwirkung an der Ostseite der Insel entlang wandernde Sand ist nach und nach auf größere Länge zwischen den Buhnen angesammelt worden. Der Durchbruch, der sich bereits so vertieft hatte, daß kleinere Fahrzeuge hindurchsegeln konnten, ist nicht mehr zu erkennen. Durch Setzen von Strauchzäunen ist bereits auf dem größten Teile der früher kaum in Mittelwasserhöhe liegenden Sandbank wieder eine niedrige Düne entstanden.

D. Strombuhnen.

Wenn tiefe Stromrinnen sich einer Küste nähern, so soll man nicht abwarten, bis die Köpfe der Strandbuhnen abzustürzen drohen, sondern beizeiten durch Vorbauen von Grundwerken bis in die Tiefe der Rinne die Strömung abzulenken versuchen. Solche Strombuhnen sind sehr teuer, wenn die Tiefen der Stromrinnen bedeutend sind.

In Abb. 88, S. 64, ist die Westküste der Insel Baltrum dargestellt. Um das Vorrücken des großen Prieles, die Wichter Ee genannt, zu verhindern, sind vor den Köpfen der Strandbuhnen bis ins tiefe Wasser reichende Grundwerke vorgebaut worden.

Die Strombuhnen stellt man entweder als einfache Steinschüttungen her, oder man bildet sie aus übereinander versenkten Sinkstücklagen. An der Insel Baltrum hat man die Stromkolke zum Teil durch Versenken von alten Schiffsgefäßen, die vorher mit Steinen gefüllt wurden, geschlossen.

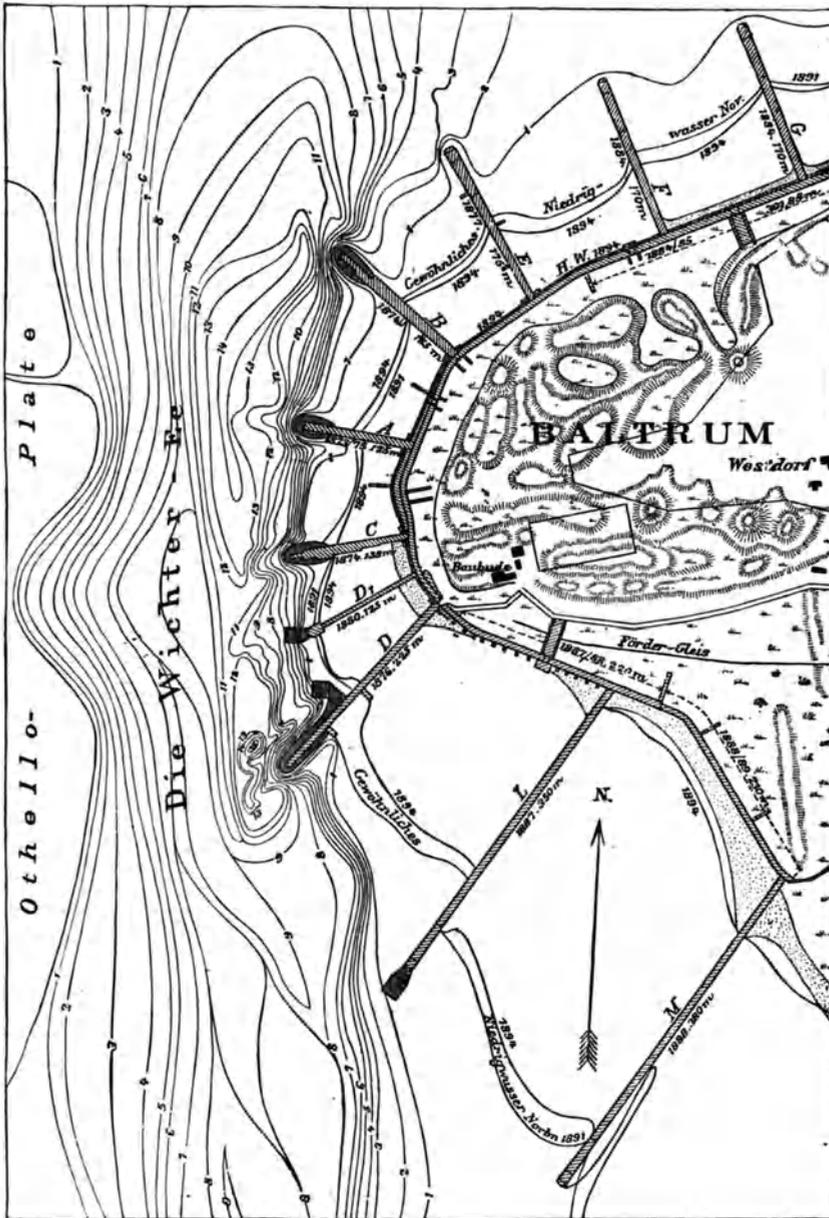


Abb. 88. Befestigung der Insel Baltrum.

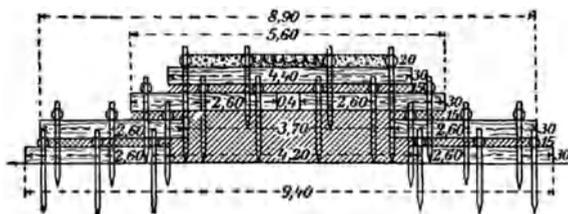


Abb. 89. Verbindungsdamm zwischen Langeneß und Oland.

Ähnliche Zwecke wie die Strombuhnen erfüllen auch die Verbindungs-dämme, mit denen man an der schleswig-holsteinschen Westküste einzelne Inseln an das Festland angeschlossen hat, um die landabspülenden Tideströmungen abzuschneiden. Abb. 89 zeigt einen Querschnitt des von der Insel Langeness nach der Hallig Oland und dem Festlande gezogenen, im ganzen etwa 8 km langen Dammes. Er besteht aus Faschinenpackwerk mit einem Kern aus Erdschüttung. Die Befestigung der Buschlagen geschieht durch Pfahlreihen und Faschinenwürste.

10. Abschnitt. Seedeiche.

A. Einteilung.

Wo Dünen fehlen, muß das tiefliegende Land durch Deiche gegen Überflutung bei höheren Wasserständen geschützt werden. Die Seedeiche haben im Gegensatz zu den Flußdeichen kein längere Zeit andauerndes und hinsichtlich des Eintrittes und Verlaufes gewöhnlich schon durch Meldungen aus dem oberen Flußgebiet vorher bekanntes Hochwasser zu kehren, sondern sie müssen den zwar schnell vorübergehenden, aber meist plötzlich und mit elementarer Gewalt hereinbrechenden Sturmfluten und der Brandung widerstehen. An den Flußmündungen geht der Seedeich allmählich in einen Flußdeich über.

Die Benennung der Seedeiche richtet sich nach ihrer Lage und ihrem Zweck. Hauptdeiche oder Winterdeiche haben die höchsten, nur in den Herbst- und Wintermonaten vorkommenden Sturmfluten abzuhalten; Sommerdeiche schützen das noch nicht genügend erhöhte Maifeld gegen kleinere Sommerfluten, während sie im Winter überströmt werden. Sie sollten nur dort angelegt werden, wo auf weitere Aufhöhung des Vorlandes nicht zu rechnen ist, weil sie diese verzögern. Bann- oder Schaudedeiche gehören einem Deichverbände an und werden durch regelmäßige Deichschau überwacht. Binnendeiche halten den Rückstau aus Wasserläufen, die mit der See in Verbindung stehen, ab. Ringdeiche sind in sich geschlossen, während Verbindungsdeiche an das höher liegende Land oder an andere Deiche angeschlossen sind. Schardeiche liegen ohne Vorland direkt an der Uferlinie, Schlafdeiche sind frühere Hauptdeiche, die infolge neuer davorgebauter Deiche nicht mehr dem Hochwasser ausgesetzt sind; sie entstehen häufig im Tidegebiet durch neue Einpolderungen. Sturmdeiche werden als Reserve hinter besonders gefährdeten Hauptdeichstrecken angelegt. Kajedeiche dienen vorübergehenden Zwecken. Eine Einlage ist die Zurückverlegung eines Hauptdeiches unter Preisgabe eines Teiles der Polderfläche, eine Auslage ist eine Deichvorschiebung.

B. Anordnung und Ausführung.

Die Lage eines Seedeiches ist so zu wählen, daß eine möglichst gerade oder sanft geschwungene Grundrißform entsteht. Vor dem Deichfuße muß tunlichst ein über Mittelwasser, im Tidegebiet über Mittelhochwasser, liegendes Vorland von 100 bis 350 m Breite verbleiben, da dieses zur Brechung der Wellen bei Sturmfluten beiträgt (vgl. S. 28). Die Erhaltung dieses Vorlandes ist von großer Wichtigkeit, es ist daher durch Uferschutzwerke zu befestigen; die Kosten der letzteren sind meist geringer als die Maßnahmen zur Sicherung des Deichfusses, wenn der Deich nach Verschwinden des Vorlandes zum Schardeich geworden ist. Im Interesse einer gestreckten Linienführung können jedoch nicht alle kleineren Einrisse des Ufers oder schwächeren Priele umgangen werden.

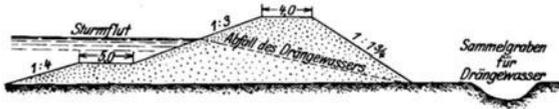
Die Seedeiche haben außer dem Druck des Hochwassers dem oft sehr kräftigen Wellenschlage zu widerstehen, während Strömung und Eisschiebungen meistens

weniger von Belang sind. Daher muß der Deichkörper möglichst massig hergestellt werden. Die Höhe muß den höchsten Stand der Sturmflut noch um soviel übersteigen, daß keine Wellen mehr über den Deich hinwegschlagen können, sonst treten Abspülungen an der Deichkrone ein. Diese Höhe richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen; halten vorgelagerte Inseln die Wellen ab oder bewirken ausgedehnte Wattflächen oder breite Vorländer eine Mäßigung der Wellen, so kann die Deichhöhe geringer sein, während sie an besonders gefährdeten Scharstrecken die Sturmfluthöhe um 3—4 m übertreffen muß. Als maßgebend gilt an der Nordseeküste gewöhnlich die Sturmflut von 1825, die das mittlere Hochwasser je nach dem Beobachtungsort um 3—4 m überstieg.

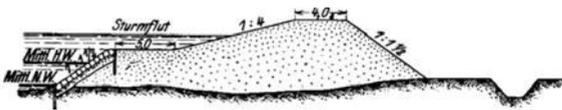
Ausgeführte Deichhöhen sind:

Unterweser-Deiche	0,6—1,2 m über Sturmflut.
Ostfriesland	1,6—2,2 m „ „
Dithmarscher Deiche	1,8—2,8 m „ „
Jadebusen und Scheldemündung bei Westkappeln	3,3 m „ „

Querschnitte von Seedeichen sind in Abb. 90 a und b dargestellt. Die Breite der Deichkrone oder Deichkappe beträgt in Deutschland 3 bis 4 m, in Holland bis zu 8 m. Die Außenböschung wählt man um so flacher, je stärker der auftretende Wellenschlag ist.



a) Gewöhnlicher Hauptdeich.



b) Schardeich.

Abb. 90a und b. Querschnitte von Seedeichen.

wird meistens der unter dem Bankett liegende Teil etwas steiler gemacht und durch ein Deckwerk befestigt (vgl. Abb. 90 b). Die Innenböschung kann mit $1 : 1\frac{1}{2}$ bis $1 : 2$ geneigt sein.

Für die Herstellung der Deiche eignet sich am besten eine Bodenmischung aus Klai und Sand. Reiner Klai- oder Tonboden läßt sich nicht fest genug lagern, auch wird er beim Eintrocknen leicht rissig, während reiner Sandboden zu durchlässig ist. Gleichwohl sind auch Sanddeiche ausgeführt worden. Das in einen Sanddeich eindringende Wasser geht nicht wagerecht hindurch, sondern fällt unter einem Neigungswinkel von etwa 7 Grad ab; es tritt nicht an die Oberfläche, wenn der Deich breit genug ist (Abb. 90 a). Sanddeiche müssen aber mit Rücksicht auf den Graswuchs mit einer Schicht guten Bodens abgedeckt werden. Gute lückenlose Berasung ist die Hauptbedingung für die Haltbarkeit des Deiches, sie wird daher besonders gepflegt. In der Regel wird das Gras nicht abgemäht, sondern durch Kleinvieh abgeweidet. Die Tiere werden dabei angepflöckt, was man „Tüdern“ nennt. Auch die Vorländer werden durch Pflanzenwuchs befestigt. Auf den Wattflächen vor Schardeichen werden neuerdings geeignete Salzgräser angesät.

Vor der Schüttung eines Deiches ist die Grundfläche zunächst sorgfältig von Graswuchs, Schlamm und Schmutz zu reinigen. Der Schüttbodyen ist dann lagenweise aufzubringen und sorgfältig festzustampfen. Üblich und zweckmäßig war es früher, ihn durch Pferde festtreten zu lassen. Da jetzt die Boden-

Ihre Neigung beträgt $1 : 3$ bis $1 : 10$. Während sie bei Flüssen möglichst eben hergestellt wird, ist hier ein äußeres Bankett (Berme) sehr erwünscht, weil es wellendämpfend wirkt. Auch konkave und konvexe Außenböschungen, ähnlich wie sie bei Deckwerken angewendet werden (vgl. S. 54), sind ausgeführt worden. Bei Schardeichen

massen meistens durch eine Feldbahn mit Lokomotivbetrieb gefördert werden, so begnügt man sich damit, die Schüttung in Schichten von etwa 2 m Höhe vorzuschreiben; durch das Befahren mit den schweren Erdzügen wird die Schüttung genügend fest zusammengedrückt.

Sandiger und mooriger Untergrund ist bei der Deichtrassierung tunlichst zu umgehen, sonst dringt bei Hochfluten Drängewasser (auch Qualmwasser oder Kuwerwasser genannt) hindurch. Dieses ist an der See wegen seines Salzgehaltes für die Felder viel schädlicher als am Flusse. Muß ein Priel durchbaut werden, so wird zunächst durch einen oder mehrere Faschinendämme die Strömung abgeschnitten, alsdann wird hinter oder zwischen diesen Dämmen, aber nicht über ihnen, der Deich geschüttet. Etwa zu durchschüttende Schlammlöcher sind sorgfältig zu reinigen.

Deichrampen zum Überleiten von Wegen werden wie bei Flußdeichen dicht an den Deichkörper herangelegt (Abb. 91). Werden sie so häufig befahren, daß der Graswuchs nicht gedeihen kann, so müssen sie durch Abpflasterung befestigt werden. Deichscharten sind verschließbare Einschnitte in den Deichkörper zur Durchführung eines Weges, wenn eine genügend lange Rampe aus irgendwelchen Gründen nicht angelegt werden kann. Sie sollten in Seedeichen tunlichst vermieden werden, weil die Sturmfluten meist so plötzlich auftreten, daß zum Schließen der Scharte keine Zeit übrig bleibt. Müssen sie dennoch angewandt werden, so pflegt man sie massiv auszukleiden und mit Verschlussstoren und Anschlagröhrchen, ähnlich wie bei Sielen, zu versehen.



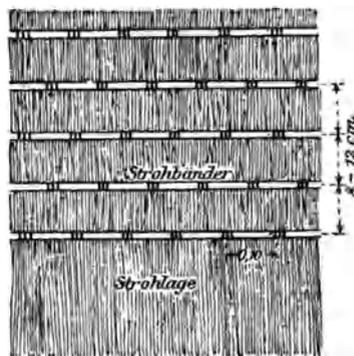
Abb. 91. Grundriß einer Deichrampe.

C. Deichverteidigung.

Die Deichverteidigung wird durch den schnellen Eintritt der Sturmfluten sehr erschwert. Der Deichkörper muß daher tunlichst so massig angelegt werden, daß der durch eine Sturmflut etwa bewirkte Abbruch noch keinen Durchbruch herbeiführt. Einrisse, Schälungen oder Schölungen genannt, werden sogleich mit Sandsäcken und Faschinen ausgefüllt. Als bald nach Ablauf der Flut muß der Schaden wieder gründlich ausgebessert werden, damit die Berasung bis zum Eintritt der nächsten Flut wieder gedeihen ist. Wenn dies nicht gelingt, so bringt man eine Bedeckung auf von Faschinen, Weidenmatten, Seegras, im Falle der Not auch Segeltuch, die von ausgespannten, an Haltepfählen befestigten Drähten, Strohseilen oder Faschinenwürsten gehalten wird. Am meisten üblich ist aber die Strohbesteckung. Diese wird wie folgt ausgeführt (vgl. Abb. 92): Eine 3 bis 4 cm starke Lage von Glatstroh, am besten Weizen- oder Roggenstroh, wird gleichmäßig auf der zu schützenden Fläche



a) Querschnitt.



b) Grundriß.

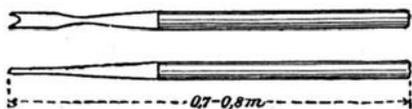


Abb. 93. Gabel zur Strohbesteckung.

Abb. 92 a und b. Strohbesteckung.

ausgebreitet, dann werden gedrehte Strohseile in etwa 10 cm Entfernung darüber gelegt und in Abständen von 10 cm mittels einer besonders geformten Gabel (Abb. 93) 10 bis 15 cm tief in den Boden gedrückt; sie sitzen so fest, daß sie das Stroh gegen Abheben durch die Wellen schützen. Dieses Verfahren ist an der deutschen und holländischen Nordseeküste sehr gebräuchlich. Auf Sandboden ist es nicht geeignet, weil die Strohseile darin nicht fest genug sitzen.

D. Deichsiele.

1. Anordnung der Entwässerungsanlagen. Die Entwässerung von Seepoldern ist, abgesehen von künstlicher Hebung des Wassers, nur durch Auslaßschleusen möglich. Letztere werden an der See allgemein Siele¹⁾ genannt. Der durch das Siel geführte Wasserlauf heißt Sielfleet oder Sieltief; der im Polder befindliche Teil desselben heißt das Binnentief oder die Wetteren, der Teil zwischen Deich und See oder Strom heißt das Außentief. Die in das Binnentief mündenden Entwässerungsgräben des Polders heißen Zuggräben oder Zugschlöte. Im Tidegebiet liegen nach Seite 45 u. 46 oft große Teile der eingedeichten Marsch unter dem mittleren Hochwasser, so daß das Siel bei jeder Tide eine Zeitlang geschlossen werden muß. Zur Aufnahme des Binnenwassers während dieser Zeit erhält das Binnentief vor dem Siel oft eine teichartige Erweiterung, den Mahlbusen oder Kolk. Zur Herbeiführung einer guten Entwässerung muß ein namhafter Teil der Polderfläche von dem Mahlbusen, dem Binnentief und den Zugschlöten eingenommen werden. Das Verhältnis der Grundfläche aller Binnenwasserzüge zur Gesamtpolderfläche beträgt erfahrungsgemäß bei niedrigen Weidepoldern $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{15}$, bei mittelhohen Poldern $\frac{1}{25}$ bis $\frac{1}{36}$, bei hohen Ackerpoldern $\frac{1}{70}$. Die Grabenzüge sind nach den auf sie entfallenden Teilwassermengen und dem Gefälle zu berechnen (Formel von Ganquillet-Kutter, Darcy-Bazin u. a.). Abb. 94 zeigt die gewöhnliche Anordnung der Entwässerungsanlagen eines Seepolders.

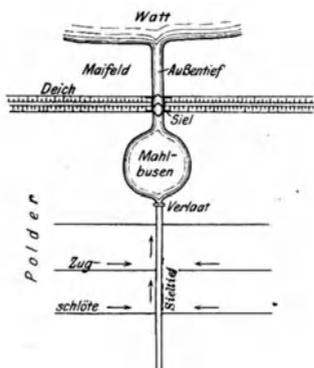


Abb. 94. Entwässerungsanlagen eines Seepolders.

Da jedes Siel eine gewisse Schwächung des Deiches bedeutet, so legt man es gern an Stellen, die durch Wellenschlag oder Strömung minder gefährdet und leicht zu überwachen sind. Der Baugrund muß möglichst undurchlässig sein. Tragfähige Schichten müssen entweder unmittelbar oder durch Pfahlrost zu erreichen sein. Von großer Wichtigkeit ist, daß das Außentief kurz und geradlinig angelegt werden kann, denn es ist meistens bedeutenden Schlickablagerungen ausgesetzt, die die Vorflut stark beeinträchtigen und daher häufig entfernt werden müssen. Zur Reinigung gebraucht man den Schlickpflug, d. i. eine senkrecht geführte Bohlentafel von der Querschnittsform des Außentiefs, die durch ein Boot geschleppt wird (Abb. 95). Außerdem wendet man von Zeit zu Zeit künstliche Spülungen an, wie nachstehend noch erläutert wird.

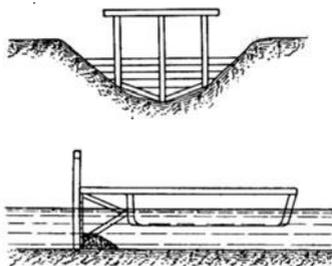


Abb. 95. Schlickpflug.
(Vorder- und Seitenansicht.)

¹⁾ Der Ausdruck „Siel“ stammt aus dem Holländischen. Man sagt in der Regel: das Siel, in Ostfriesland auch: der Siel.

Abgesehen von vorbenannten Rücksichten ist die Lage des Sieles natürlich in erster Linie durch die Gefälleverhältnisse bestimmt. Es ist tunlichst an die tiefste Stelle des Polderrandes zu legen, damit eine gute Entwässerung stattfinden kann. Die Tiefe des Grundwasserstandes unter der Geländeoberfläche hat nach landwirtschaftlichen Rücksichten zu betragen:

- Für Weideland 0,3—0,5 m
- „ Wiesen 0,3—0,75 m
- „ Ackerland 0,5—1,25 m

Bei zu reichlicher Vorflut werden diese Höhen durch Einbau von Stauschleusen mit Überfällen in den Zuggräben künstlich gehalten; liegen Polderflächen dagegen so tief, daß die natürliche Entwässerung nicht mehr ausreicht, so ist ein Schöpfwerk anzulegen. Ausgedehnte Marschen Hollands sind lediglich auf künstliche Entwässerung angewiesen (vgl. S. 45 u. 46). Da die Wasserhebung kostspielig ist, so wird sie aufs äußerste eingeschränkt. Wenn wenigstens einzelne Teile des Polders hoch genug liegen, so bildet man für diese ein besonderes Grabenetz mit hochliegendem Binnentief, das durch ein gewöhnliches Siel entwässert wird. Die Zuggräben der zu tief liegenden Teile läßt man dagegen in ein Fleet münden, das zum Schöpfwerk führt. Letzteres hebt das Wasser manchmal nicht über den Deich, sondern in einen durch Dämme eingeschlossenen Vorbusen, der so hoch liegt, daß von ihm aus die Entwässerung mittels eines Sieles durch natürliches Gefälle erfolgen kann.

In Abb. 96 sind die den vorstehenden Ausführungen entsprechenden Entwässerungsanlagen bei Halfweg in Holland dargestellt. Das Schöpfwerk liegt zwischen Mahlbusen und Vorbusen. Letzterer ist nicht nur mit dem

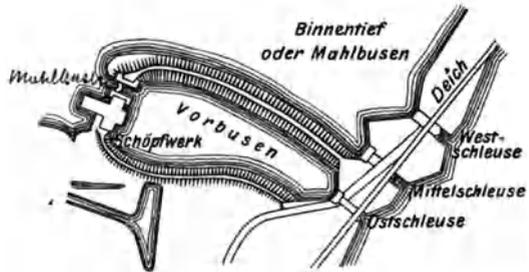


Abb. 96. Entwässerungsanlagen bei Halfweg in Holland.

Außenfleet, sondern auch mit dem Mahlbusen durch ein Siel verbunden, damit bei besonders niedrigen Tiden die Wasserhebung gespart werden kann. Zwischen Binnentief und Außentief sind zwei Schiffahrtsschleusen angeordnet.

Die Höhenlage der Sielschwelle muß sorgfältig erwogen werden; liegt sie zu hoch, so wird die Vorflut des Polders beeinträchtigt, liegt sie dagegen zu tief, so ist das Siel übermäßiger Verschlickung ausgesetzt. Unter gewöhnlichen Verhältnissen legt man die Schwelle 0,5 bis 1,00 m unter den mittleren Niedrigwasserspiegel; ist jedoch das Sielfleet schiffbar, so muß die Schwellentiefe entsprechend größer sein. Ergibt die Rechnung eine sehr große Sielweite, so werden mehrere Sielöffnungen nebeneinander angelegt. Die Sieldecke legt man bei begehbaren Sielen am besten so hoch, daß auch bei höchstem Binnenwasserstand das Siel noch mit einem Kahn befahren werden kann. Wenn über der Sieldecke kein genügend großer Erdkörper mehr verbleiben würde oder wenn Schiffe mit Masten das Siel passieren sollen, so wird es offen angeordnet.

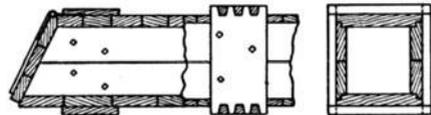


Abb. 97. Kastensiel mit Abschußklappe.

Die einfachsten Siele sind kleine Kastensiele und Rohrsiele. Diese bestehen nur aus einer viereckigen oder runden Röhre mit hängender Abschlußklappe, die bei höherem Binnenwasserstande durch den Wasserdruck selbsttätig gehoben, bei höherem Außenwasserstand selbsttätig geschlossen wird (Abb. 97). Die Kastensiele werden meistens aus Holz hergestellt.

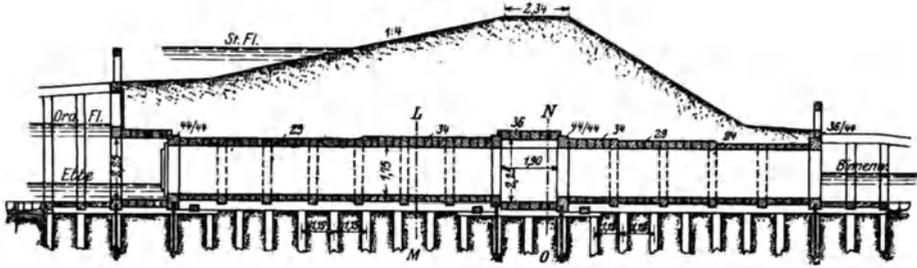


Abb. 98. Balkensiel.

Die überdeckten Siele können dichter ausgeführt werden als offene, weil die Verschlussvorrichtung allseitig fest aufliegt und sich nicht wesentlich verbiegen kann. Außerdem ist sie erheblich kleiner als bei offenen Siele, wo sie bis zur Höhe der Deichkrone reichen muß.

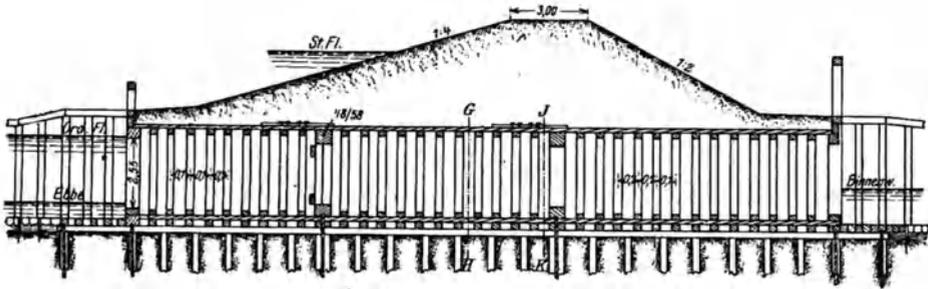
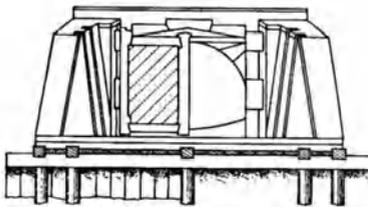


Abb. 99. Ständersiel.

Auch größere überdeckte Siele werden noch häufig aus Holz gebaut. Dabei unterscheidet man Balkensiele, die aus aneinanderliegenden Balken nach Art des Blockhausbaues hergestellt sind (Abb. 98)¹⁾, und Ständersiele, die aus einem Balkengerippe mit Bohlenverkleidung bestehen (Abb. 99).

Abb. 100. Überdecktes Massivsiel.
(Vorderansicht.)

Massive Siele erhalten, wenn sie überdeckt sind, einen tunnelförmigen Querschnitt; sie werden meist aus Klinkermauerwerk hergestellt (Abb. 100). Offene Massivsiele gleichen einer verkürzten Schifffahrtsschleuse und werden wie diese ausgebildet (Abb. 101). In jedem Falle ist auf gute Fundierung Bedacht zu nehmen;

wenn der Boden nicht tragfähig genug ist, wendet man Pfahlrost an. Zur Verhinderung von Unterspülungen des Sieles wird das ganze Fundament mit einer Spundwand eingefaßt.

Zur Sicherheit erhalten größere Siele mindestens zwei Verschlüsse; der am Außenhaupt liegende wirkt selbsttätig,

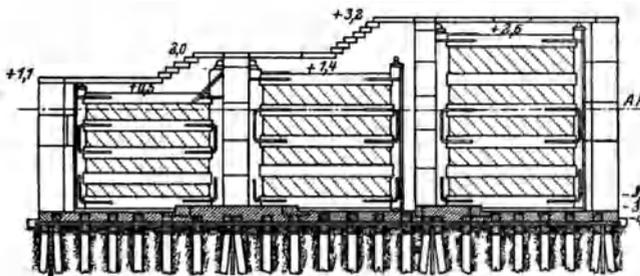


Abb. 101. Offenes Siel. (Längenschnitt.)

¹⁾ Die Abb. 98–101 sind dem Handb. d. Ing.-Wiss. entnommen.

der andere ist ein Notverschluß, der nur im Bedarfsfalle von Hand bewegt wird. Als Außenverschluß dienen bei größeren Sielen meistens Stemmtore derselben Bauart wie bei Schiffahrtsschleusen. Mit Vorteil wendet man bei nicht zu großer Sielweite im Vergleich zur Höhe auch einflügelige Drehtore mit senkrechter Achse an; diese haben den Vorzug einfacherer Lagerung und größerer Dichtigkeit. Durch Abhalteisen werden die Tore bei ausgehender Strömung etwas schräg zu dieser gehalten, damit sie beim Umkehren (Kentern) der Strömung von dieser noch gefaßt und geschlossen werden (Abb. 102). Bei offenen Sielen werden die hohen Außentore sehr schwer und schließen sich erst, wenn der eingehende Strom eine größere Geschwindigkeit erreicht hat. Dadurch dringt eine Menge Seewasser in das Binnentief ein, und die Zeit des Sielzuges wird unnötig verkürzt. Man wendet deshalb bisweilen niedrigere Außentore zum Abschluß bei gewöhnlichen Fluten an und außerdem noch hohe Sturmfluttore, die im Bedarfsfalle von Hand geschlossen werden.

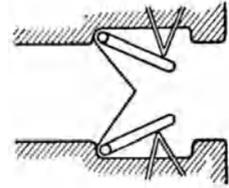


Abb. 102. Begrenzung der Torstellung.

Außer dem Außen- und dem Notverschluß haben die meisten Siele noch einen Binnenverschluß, um in trockenen Zeiten das Binnenwasser anstauen zu können. Hierzu verwendet man meistens Zugschützen, bisweilen aber auch Stemmtore mit Schützöffnung. Die Bewegung der Binnenverschlüsse erfolgt von Hand. In Abb. 101 ist links das Binnentor, in der Mitte das selbsttätige niedrige Außentor und rechts das Sturmfluttore zu erkennen.

Um kräftige Spülungen zur Säuberung des Außentiefes und der Torkammer von Schlickablagerungen vornehmen zu können, läßt man bei tiefem Niedrigwasserstande durch Öffnen des Binnenverschlusses plötzlich eine große Wassermenge aus dem Polder ausströmen. Wenn das Binnenwasser dazu nicht ausreicht, leitet man bei Flut absichtlich eine Menge Seewasser in den Mahlbusen ein; letzterer wird zu diesem Zwecke bisweilen verwallt. Da das Seewasser den Kulturen schädlich ist, muß es von dem Binnenfleet ferngehalten werden; dies geschieht durch einen besonderen oberhalb des Mahlbusens eingebauten Abschluß, das sogenannte Verlaaat. (Vgl. Abb. 94, S. 68.)

Die Sielfleete werden häufig von kleineren Schiffen befahren, die namentlich landwirtschaftliche Produkte und Torf befördern. Besonders in den holländischen Poldern ist die Schiffahrt sehr entwickelt. Die Mahlbusen werden bisweilen als Hafenbecken mit Anlegekais und Umschlagvorrichtungen ausgestattet.

Die Durchfahrt durch ein gewöhnliches Siel kann aber nur zur Zeit des Sielzuges, also bei Niedrigwasser, erfolgen, während die Schiffe in der Regel nur bei Hochwasser zum Außentief gelangen können. Um die Durchfahrt jederzeit zu ermöglichen, erhält das Siel nötigenfalls eine größere Länge und auch am Oberhaupt nach außen kehrende Tore; es ist damit zur Kammerschleuse geworden. Da bei regem Verkehr die Durchschleusungen den eigentlichen Zweck des Sieles zu sehr beeinträchtigen, trennt man bisweilen die Entwässerungs- und die Schiffahrtseinrichtungen voneinander; Abb. 103 zeigt eine Anlage an der Hamme mit 3 Sielöffnungen und einer Schiffahrtsschleuse.

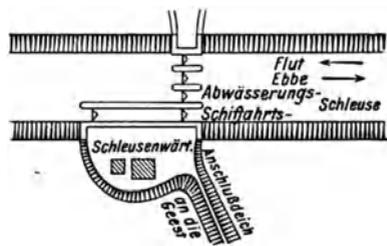


Abb. 103. Siele und Kammerschleuse an der Hamme.

2. Berechnung der Sielweite. Zunächst ist die abzuführende Wassermenge zu bestimmen. Diese setzt sich zusammen aus dem auf die Polderfläche fallenden Niederschlagswasser, dem aus anderen Poldern oder Geestflächen etwa zu-

fließenden fremden Wasser und dem Kuwerwasser (vgl. S. 67). Bei Bestimmung des Niederschlagswassers braucht man nicht die größte tägliche oder gar stündliche Regenhöhe zu berücksichtigen, weil eine Abflußverzögerung eintritt und weil vorübergehende Erhöhungen der Wasserstände in den Gräben zugelassen werden können. Diese Erhöhungen dürfen bei tiefliegenden Poldern nicht so groß werden wie bei höher liegenden. Erfahrungsgemäß genügt es, nach Abzug der Verdunstung (Versickerung kommt wegen des hohen Grundwasserstandes nicht in Betracht) bei höheren Polderflächen eine Tagesregenhöhe von 2 bis 4 mm (0,023 bis 0,046 cbm/sek für 100 ha) und bei niedrigen Polderflächen eine solche von 4 bis 8 mm (0,046 bis 0,092 cbm/sek für 100 ha) anzunehmen. Das fremde Wasser wird am besten durch Messung des gefüllten Querschnittes der Zuflußgräben und der Strömungsgeschwindigkeit bestimmt. Das Kuwerwasser hängt von der Durchlässigkeit des Bodens ab; es kann nach in Holland gemachten Erfahrungen 0 bis 0,115 cbm/sek für 100 ha Polderfläche betragen.

Nachdem die dem Siel sekundlich zufließende Wassermenge bestimmt ist, hat man die Flutkurve des Außentiefes nach Beobachtung aufzutragen. Man nimmt dazu eine Durchschnittskurve, wie sie in den für die Entwässerung besonders wichtigen Frühjahrsmonaten häufig auftritt. Dann trägt man nach

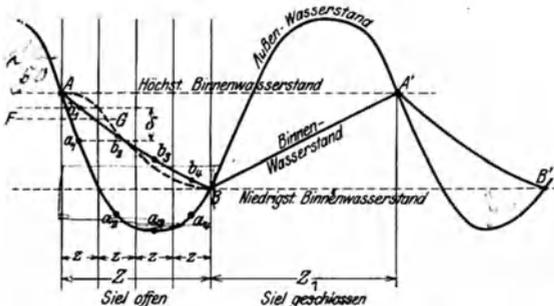


Abb. 104. Ermittlung der Abführungsfähigkeit eines Sieles.

Abb. 104 den höchsten zulässigen Binnenstau ein, der nach den Angaben auf S. 69 anzunehmen ist. Der tiefste erreichbare Binnenwasserstand hängt von der Sielweite b ab; man nimmt ihn 0,2 bis 0,4 m über Niedrigwasser der Flutkurve an, da die Sieltore erfahrungsgemäß erst zugehen, wenn der äußere Überdruck bis zu dieser Höhe angewachsen ist. Die beiden den oben benannten Wasserständen entsprechenden Linien schneiden

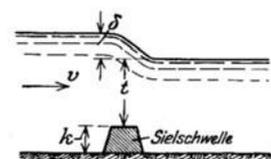


Abb. 105. Wasserabfluß im Siele.

die Flutkurve in den Punkten A und B. Man erkennt jetzt, daß das Siel in der Zeit Z geöffnet, in der Zeit Z_1 geschlossen ist. Der Binnenwasserstand soll während der Zeit Z von A bis B fallen und in der Zeit Z_1 wieder von B bis A ansteigen, während der Außenwasserstand der Flutkurve entspricht. Ist q die sekundlich zufließende Binnenwassermenge, so muß in der Zeit Z die Wassermenge $(Z + Z_1) \cdot q$ abgeführt werden. Man nehme nun zunächst für die zu ermittelnde Sielweite schätzungsweise das Maß b an, teile die Zeit Z in eine Anzahl gleicher Teile von der Zeitdauer z und nehme in jedem dieser Zeitabschnitte die aus der Flutkurve ersichtlichen mittleren Außenwasserstände a_1, a_2, a_3, a_4 an. Den Abfall des Binnenwassers während des ersten Zeitabschnittes schätzt man zunächst; er sei in Abb. 104 durch die punktierte Linie FG dargestellt, der mittlere Binnenwasserstand sei b_1 . Es ist also der Höhenunterschied δ zwischen Binnen- und Außenwasser wirksam. Ist nun während des ersten Zeitabschnittes t die Wassertiefe des Außentiefes über der Sielschwelle (vgl. Abb. 105), k die Höhe der letzteren (Anschlagleiste gewöhnlich 30 cm), v die Zuflußgeschwindigkeit des Wassers vor dem Siele, μ der Ausflußkoeffizient (bei Sielen 0,8 bis 0,9, je nach der Glätte der Wände), so berechnet sich die in einer Sekunde ausfließende Wassermenge nach der aus den Gesetzen des unvollkommenen Überfalles abgeleiteten Formel

$$I) \quad Q = \mu b \left(\frac{2}{3} \delta + t \right) \sqrt{2 g (\delta + h)};$$

h ist die Geschwindigkeitshöhe des zufließenden Wassers, also

$$II) \quad h = \frac{v^2}{2 g} = \frac{Q^2}{2 g B^2 (t + k + \delta)^2},$$

worin B die mittlere Breite des Binnentiefes bedeutet. Liegt der Mahlbusen dicht vor dem Siel, so kann man h vernachlässigen. Die Formel I) erhält dann die einfachere Form:

$$III) \quad Q = \mu b \left(\frac{2}{3} \delta + t \right) \sqrt{2 g \delta}.$$

Da in 1 Sekunde Q cbm durch das Siel abfließen, q cbm dem Binnentief zufließen, so beträgt im ersten Zeitabschnitt z die Menge des ausfließenden Binnenwassers

$$z (Q - q).$$

Hieraus und aus der Oberfläche und den Querschnitten der Binnenwasserzüge läßt sich die wirkliche Senkung des Binnenwasserstandes in dem ersten Zeitabschnitt z berechnen; stimmt sie nicht mit der ursprünglichen Annahme der Linie F G überein, so ist die Rechnung zu wiederholen. Auf dieselbe Weise sind für alle Zeitabschnitte (z) die Wasserstandssenkungen zu ermitteln. Wenn die Sielweite b richtig gewählt ist, muß am Schlusse des letzten Zeitabschnittes der Binnenwasserspiegel durch den Punkt B gehen.

Man kann sich, ohne erhebliche Ungenauigkeiten zu begehen, die Mühe des Ausprobierens der Binnenwassersenkungen ersparen, wenn man den mutmaßlichen Verlauf des Binnenwasserstandes in die Flutkurve einzeichnet. Sicher ist, daß jener zu Anfang des Sielzuges langsam fällt, dann mit zunehmendem Gefälle schneller, zuletzt beim Eintritt der Flut wieder langsamer; kurz vor der Torschließung kann er sogar wieder ansteigen, da nur die umgekehrte Strömung die Tore zu schließen vermag. Der Verlauf der Senkung entspricht also der in Abb. 104 punktiert eingetragenen Kurve A B. Man kann ohne erhebliche Fehler an deren Stelle entweder eine gerade Linie oder eine flach durchhängende, in Abb. 104 ausgezogene Kurve A B annehmen. Dann kann man die zu den einzelnen Zeitabschnitten z gehörigen mittleren Binnenwasserstände b_1, b_2, b_3, b_4 und die mittleren Wasserstandsunterschiede δ aus der Zeichnung entnehmen und die Teilwassermengen Q berechnen. Die Probe, ob die Sielweite b richtig gewählt ist, ergibt die Gleichung

$$IV) \quad \Sigma z Q = (Z + Z_1) q.$$

Ist der Ausdruck $\Sigma z Q$ kleiner als $(Z + Z_1) q$, so hat man die Sielweite b zu gering geschätzt und umgekehrt. Nachdem b gefunden ist, untersuche man noch, ob die zu dem größten Wert δ gehörige Durchflußgeschwindigkeit $v = \mu \sqrt{2 g (\delta + h)}$ nicht eine für den Bestand des Sielfundamentes gefährliche Größe erreicht.

Für überschlägliche Rechnungen eignet sich das von Lohmeyer vorgeschlagene sehr einfache Näherungsverfahren. Man stelle den mittleren Außenwasserstand während der ganzen Zeit des Sielzuges fest, indem man das arithmetische Mittel der beobachteten Teilwasserstände bildet, und setze eine gleichmäßige mittlere Durchflußgeschwindigkeit voraus. Dann fließen während des Sielzuges durchschnittlich $Q = \frac{q (Z + Z_1)}{Z}$ cbm in 1 Sekunde ab. Aus Formel I)

ergibt sich

$$V) \quad b = \frac{Q}{\mu \left(\frac{2}{3} \delta + t \right) \sqrt{2g(\delta + h)}}$$

t ist durch den mittleren Außenwasserstand bestimmt, δ nehme man so an, daß die mittlere Durchflußgeschwindigkeit nach der Formel $v = \mu \sqrt{2g(\delta + h)}$ nicht größer als etwa 1,5 m wird, also $\delta = \frac{v^2}{2g\mu^2} - h = \frac{0,115}{\mu^2} - h$. Die Höchstgeschwindigkeit erreicht etwa den doppelten Wert.

Man wird gut tun, den errechneten Wert von b bei der Ausführung noch etwas zu vergrößern; jedoch ist zu beachten, daß übermäßig große Sielweiten zu geringe Strömungsgeschwindigkeiten, also starke Schlickablagerungen, im Außentief und in den Vorkammern zur Folge haben.

Drittes Kapitel.

Strommündungen.

11. Abschnitt. Natürliche Ausbildung der Strommündungen.

A. Abflußverhältnisse.

Während im oberen Stromgebiete der Abfluß im allgemeinen nach den Gesetzen von der gleichförmigen Wasserbewegung im offenen Gerinne erfolgt, bedingt im Mündungsgebiete der Einfluß des wechselnden Meeresspiegels wesentlich andere Verhältnisse. Wenn die Höhe des letzteren, die Wasserführung des Flusses und die Breite des Strombettes unveränderlich wären und der Übergang vom Flußquerschnitt in das unbegrenzte Meerbecken unvermittelt erfolgte, würde die Sohle der Mündungsstrecke sich so ausbilden, daß der Flußspiegel nach der Linie $b d e$ fast geradlinig bis zum Mündungsquerschnitt

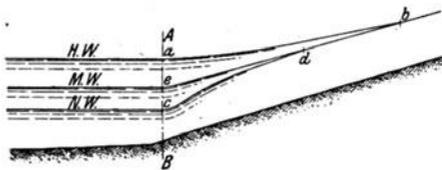


Abb. 106. Ausspiegelung zwischen Fluß und Meer.

A—B verliefte (Abb. 106). Nach Eintritt in das Meer breitet sich das Flußwasser aus und verliert seine Geschwindigkeit. Wenn aber der Meeresspiegel ansteigt, so bildet sich im Flusse ein Stau, dessen Spiegel nach der Linie $a—b$ verläuft; fällt dagegen das Meer, so wird der Flußspiegel in der Linie $d—c$ abgesenkt. Sowohl die

Staukurve als auch die Senkungskurve können entweder im ganzen nach dem von Tolkmitt angegebenen Verfahren¹⁾ oder besser abschnittsweise nach den Formeln von Weißbach-Engels²⁾ berechnet werden. Da indessen die Annahmen, auf Grund deren die verschiedenen Theorien aufgestellt sind, nur selten mit der Wirklichkeit übereinstimmen, so darf den Rechnungsergebnissen nur ein bedingter Wert beigemessen werden.

¹⁾ Vgl. Tolkmitt, Wasserbaukunst.

²⁾ Vgl. Förster, Taschenbuch für Bauingenieure, 1. Aufl., S. 856.

Im Falle des Staus nimmt die Geschwindigkeit in der Mündungsstrecke ab, im Falle der Absenkung nimmt sie zu. Ganz entsprechend sind die Erscheinungen, wenn bei gleichbleibendem Meeresspiegel die Wasserführung des Flusses sich ändert.

Abb. 107 zeigt die in der neuen Weichselmündung beobachteten Spiegelkurven. Man erkennt deutlich den starken Abfall des Wasserspiegels bei Hochwasser, der eine bedeutende Geschwindigkeitsvermehrung bedingt, und den Stau bei Niedrigwasser des Stromes.

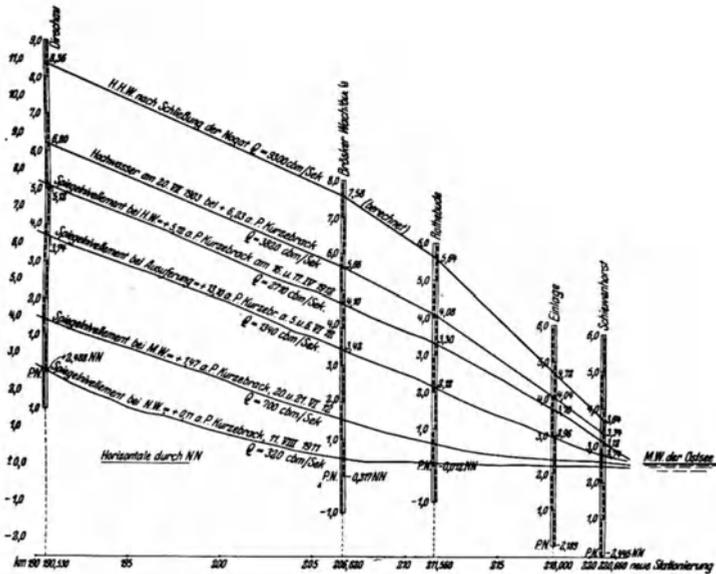


Abb. 107. Spiegelkurven der Weichselmündung.

Von besonderem Einflusse auf die Ausgestaltung der Strommündungen sind die Flutwellen an Küsten mit starkem Tidehub. Außer den vorstehend beschriebenen Stau- und Senkungerscheinungen tritt dabei noch die lebendige Kraft der nach den Gesetzen der Wellenbewegung in die Mündungen einlaufenden Wasserberge und der dadurch entstehenden Tidedrömungen auf. Die nach Eintritt der Flut aus dem Meere sich nach dem Ufer bewegenden Wassermassen treffen auf das nach dem Meere strömende Flußwasser und stauen es auf. Zu Beginn der Flut ist noch die Flußströmung größer als die Flutströmung, dabei wird erstere immer mehr zu und kehrt die Stromrichtung im Flusse um.

Bei Eintritt des Hochwassers an der Küste befindet sich der Scheitel des Flutberges in der Mündung; nach Beginn der Ebbe fällt der Meeresspiegel wieder ab, der Flutberg läuft aber infolge seiner lebendigen Kraft weiter in den Stromschlauch hinein. Dabei strömt an der der See zugekehrten Böschung Wasser nach dem Meere zurück, während an der Landseite das Wasser noch landeinwärts fließt (Abb. 108). Der dadurch verursachte Aufstau des Flußwassers vereinigt sich mit dem Flutberge und ersetzt einen Teil des an der andern Seite abfließenden Wassers. Allmählich wird der Berg kleiner, seine lebendige Kraft wird teils durch das Auflaufen auf die geneigte Bahn des Flußbettes, teils durch die Reibung, hauptsächlich aber durch den Gegenstoß des von oben zufließenden Flußwassers immer mehr aufgezehrt.

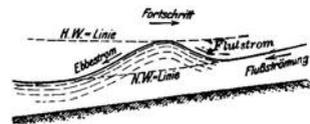


Abb. 108. Flutberg im Strome.

Die Stelle, an der er ganz verschwindet, nennt man die Flutgrenze im Fluß. Die noch oberhalb der letzteren liegende Stelle, bis zu der die Flußströmung noch merklich beeinflußt wird, nennt man die Grenze der Flutströmung oder Flutstromgrenze. Den landeinwärts gerichteten Strom nennt man den Flutstrom, den umgekehrten den Ebbestrom; letzterer ist stärker, denn er muß außer dem mit dem Flutberge in das Flußbett gedrungenen Meerwasser auch das während der Flut aufgestaute Flußwasser abführen. Die Richtungsänderung nennt man das Kentern des Stromes. Das Trägheitsvermögen des bewegten Wassers bewirkt, daß das Kentern des Stromes erst einige Zeit nach Vorübergang des Hochwassers und des Niedrigwassers eintritt; also ändert sich das Spiegelgefälle früher als die Stromrichtung, d. h. das Wasser fließt infolge seiner lebendigen Kraft noch eine Zeit lang bergan. Diese Erscheinung ist an allen Tideflüssen zu beobachten.

Die Fortschrittsgeschwindigkeit des Flutberges entspricht der Fortpflanzung einer Wasserwelle, daher ist sie nicht übereinstimmend mit den vorerwähnten Strömungsgeschwindigkeiten; sie läßt sich annähernd bestimmen nach der von Scott-Russel angegebenen Formel

$$v = \mu \sqrt{2 g h},$$

worin $g = 9,81 \text{ m/sek}^2$ die Beschleunigung durch die Erdschwere, h den Abstand des Schwerpunktes des Flußprofils vom Wasserspiegel und $\mu = 0,9$ bis $0,7$ einen von der Beschaffenheit des Flußbettes abhängenden Beiwert bedeutet. Wenn der Querschnitt als ein Rechteck angesehen werden kann, so ist $h =$ der halben Tiefe $= t/2$, also wird die Formel $v = \mu \sqrt{g t}$. Die Fortschrittsgeschwindigkeit läßt also mit abnehmender Höhe des Flutberges nach. Die Bahn des Flutscheitels nennt man die Hochwasserlinie, diejenige des Fußes die Niedrigwasserlinie (Abb. 108, S. 75).

Die Form des Flutberges wird durch die Gestalt des Flußbettes stark beeinflußt; wie bei allen auf allmählich ansteigende Flächen auflaufenden Wellen ist der Fortschritt des Fußes geringer als derjenige des Scheitels, was auch der Scott-Russelschen Formel entspricht. Dadurch wird der Flutberg aufgestaucht, d. h. die Vorderfläche wird steiler als die seeseitige Fläche; die Dauer der Flut ist also kürzer als diejenige der Ebbe. Ist der Tidehub bedeutend, die Flußmündung sehr seicht oder das Flußgefälle erheblich, so können sogar Brandungserscheinungen (Mascaret oder Bore genannt, vgl. S. 37) auftreten.

Bei zunehmender Wasserführung des Flusses wird die Bewegung der Flutwelle stärker gehemmt, Flutgrenze und Flutstromgrenze rücken daher weiter stromab als bei geringem Wasserzufluß von oben (vgl. Abb. 117, S. 86).

Der Einfluß des Flußwassers ist jedoch nur in der Nähe der Flutgrenze erheblich, während er in der Mündung, wo die eindringende Meerwassermenge das Flußwasser weit überwiegt, gering ist, namentlich wenn die Mündung trompetenartig erweitert ist. Wird der Tidehub größer, so rückt die Flutgrenze nach oberhalb und umgekehrt. Sturmfluten laufen sehr weit stromauf; an der Elbe sind sie bis Boizenburg, 166 km oberhalb Cuxhaven, noch merkbar. Bei Springflut wird im Vergleich zur Nippflut nicht nur die Hochwasserlinie gehoben, sondern auch die Niedrigwasserlinie gesenkt.

B. Abführung der Sinkstoffe; Barren- und Inselbildung.

Die Änderung der Abflußgeschwindigkeit gegenüber den Verhältnissen im oberen Stromlauf ist von größtem Einfluß auf die Ausbildung des Bettes der Mündungsstrecke. Wird die Geschwindigkeit vermindert, so läßt die Schleppkraft des Wassers nach, daher muß der Fluß einen Teil der aus dem Ober-

laufe mitgebrachten Sinkstoffe fallen lassen, das Bett versandet; wird sie vermehrt, so nimmt die Schleppkraft zu, und das Bett wird vertieft.

Der Zustand des Abflusses in der Mündungsstrecke ändert sich infolge der Schwankungen des Seespiegels und der wechselnden Wasserführung des Flusses bereits wieder, bevor die Umgestaltung des Flußbettes sich ihm angepaßt hat. Daher kommt letzteres nie zur Ruhe. In allen Fällen müssen aber die sich in das weite Meerbecken ergießenden Flußwassermengen, falls sie nicht von starken Küstenströmungen aufgenommen werden, schließlich ihre Geschwindigkeit verlieren und daher ihre Sinkstoffe fallen lassen. Begünstigt wird dies durch die Eigenschaft der Salzlösungen, schwebende Stoffe rascher niederzuschlagen, als das Süßwasser dies vermag.

Man findet daher an den meisten Strommündungen Ablagerungen von Flußsand, *Barren* genannt, die die Mündung halbkreisförmig umgeben und die Einfahrtstiefe ganz erheblich vermindern. Die Barrenbildung ist um so stärker, je erheblichere Geschiebemengen der Fluß führt, je flacher der Seegrund abfällt und je schwächer die Küstenströmung ist. Von wesentlichem Einfluß sind außerdem die Wasserstandsänderungen des Meeres, insbesondere die Tidebewegungen, weil sie die oben beschriebenen Strömungen verursachen, deren Spülkraft die Mündung zu räumen bestrebt ist. Der Charakter einer Mündung hängt daher wesentlich davon ab, ob sie an einem tidelosen Meere oder an einem Tidemeere liegt.

An Küsten mit schwachem Flutwechsel sind die Sinkstoffablagerungen fast immer erheblich. Die Barre erhöht sich schließlich bis über Mittelwasser, sie bildet dann eine Insel, die den Strom in zwei Arme spaltet. Jeder Arm bildet wieder Ablagerungen, und diese veranlassen weitere Barren und Inselbildungen. Dabei schiebt das Neuland sich immer weiter in die See oder Bucht vor, es entsteht ein Delta. Man findet daher den Fluß in zahlreiche seichte Arme gespalten, einige versanden mit der Zeit völlig, andere werden durch Hochwasser zu größeren Stromrinnen ausgerissen.

Die Barren vor den Mündungen verhindern die Schifffahrt fast gänzlich, und die Verästelung des Strombettes wirkt ungünstig auf die Abführung des Hochwassers und namentlich des Eises, denn die einzelnen Arme versetzen sich nacheinander sehr rasch, so daß schließlich die ganze Mündung durch Eis verstopft ist; dadurch kann der Fluß oberhalb so erheblich angestaut werden, daß er die Deiche gefährdet.

Die Deltabildung schreitet ziemlich rasch vorwärts. Der jährliche Zuwachs beträgt an der Nogatmündung 30 bis 40 m, an der Rhone 43 m, an der Donau (Kilia-Arm) 60 bis 90 m, am Mississippi (Südwestpaß) 91 m. Als Beispiel einer Deltabildung möge das aus Abb. 118, S. 87, erkennbare Delta der Nogat nach seinem Zustande kurz vor dem auf S. 89 erwähnten Abschluß des Stromes dienen.

Einseitiger Küstenstrom verschiebt die Barre und vermag, wenn viel Seesand zutreibt, die Mündung in Richtung des Küstenstromes zu verlegen, weil die Barre wie eine Buhne auch den Seesand zur Ablagerung zwingt. So wurde die Lebamündung immer weiter nach Osten geschoben und bedrohte die Stadt Leba, bis die ursprünglichen Verhältnisse durch einen Durchstich wiederhergestellt wurden.

Wenn der Fluß in ein Haff mündet, so tritt die Deltabildung an der Haffküste ein, während das die Verbindung des Haffs mit dem Meere herstellende Seetief von Flußsandablagerungen verschont bleibt. Letzteres ist meist wesentlich breiter und tiefer, als zur Abführung des Flußwassers erforderlich wäre, weil das Steigen und Fallen des Meeres das Ein- und Ausströmen größerer Wassermengen bedingt. An tidelosen Meeren vermag bereits der Wasserstandswechsel infolge des Windstauens solche Erscheinungen hervorzurufen, denn der

Fluß kann das Haff nicht so schnell füllen, wie das Meer ansteigt. Beispielsweise ist das Pillauer Tief etwa 400 m breit und kann durch mäßige Baggerungen 6,5 m tief erhalten werden, während der Nogatstrom, der vor seiner Abschließung 72 % aller in das Frische Haff fließenden Süßwassermengen führte, bei Mittelwasser nur 125 m breit und im Stromstrich nur etwa 1,3 m tief war. Ähnlich verhält es sich mit den Mündungsarmen der Oder, von denen jeder erheblich größer ist als der Strom bei Mittelwasser. Dagegen bilden sich bei Seetiefen sowohl an der Haffseite als namentlich an der Seeseite kleinere Barren durch Seesand, der mit dem Küstenstrom herantreibt und von der Tiefströmung mitgerissen wird.

An Küsten mit starkem Flutwechsel ist die Deltabildung erschwert, weil das auf S. 75 beschriebene Ein- und Auslaufen bedeutender Meerwassermengen eine kräftige Spülung der Mündungsstrecke bewirkt. Die Sinkstoffe werden weiter in die See hinausgeführt; sofern sie nicht im tiefen Wasser verschwinden, bilden sie in einiger Entfernung von der Mündung niedrige Barren, oder sie werden von den meist heftigen Küstenströmungen in entfernte Buchten getragen. Man findet daher häufig die Strommündung im Tidegebiet trichterförmig erweitert und vertieft (Fluttrichter der Elbe, Weser, Schelde, Garonne usw.). Indessen hängt die Deltabildung wesentlich von der Menge der Sinkstoffe und dem Gefälle des Stromes ab. Bei kleinen Flüssen mit schwachem Gefälle können schon geringe Tideerscheinungen die Deltabildung verhindern, während Riesenströme mit starkem Gefälle und zahlreichen Sinkstoffen auch bei großem Flutwechsel ihr Delta vorschieben, z. B. der Ganges, der Orinoko, der Amazonenstrom usw. Die Barren sind im Tidegebiet aber meistens weiter von der Mündung entfernt und niedrig, die einzelnen Mündungsarme sind bisweilen zu tiefen Fluttrichtern ausgebildet (Rheinmündung).

Auch in der Nähe der Flutgrenze, wo nach dem auf S. 76 Gesagten die in den Fluß eindringenden Flutberge verschwinden, und der von ihnen erzeugte Flutstrom nur noch die Flußströmung zu hemmen vermag, findet man häufig Sandablagerungen, die zu Stromspaltungen und Inselbildungen Veranlassung geben können.

12. Abschnitt. Verbesserung der Mündungen bei schwachem Flutwechsel.

A. Maßnahmen zur Verbesserung der Vorflut und des Eisabganges.

Bei fehlendem Flutwechsel ist für den Zustand der Mündung vornehmlich die Wasserführung des Flusses maßgebend.

Wenn die Mündung nur zum Zwecke der Verbesserung der Hochwasser- und Eisabführung ausgebaut werden soll, so ist ein einheitliches Flußbett anzustreben. Die Nebenarme sind zu durchbauen, ein möglichst schlank verlaufender Hauptarm ist dagegen so zu erweitern, daß seine Abführungsfähigkeit für den ganzen Fluß genügt. Man verwendet am unteren Flußlauf zunächst ebenso wie am oberen ein stufenförmig sich erweiterndes Bett nach Abb. 109. Bei niedrigen und mittleren Wasserständen wird nur das untere Trapezstück benutzt, erst bei



Abb. 109. Flußquerschnitt.

Hochwasser wird auch das obere Stück gefüllt. Je näher man aber der Mündung kommt, desto mehr verschwinden die Unterschiede zwischen den Flußwasserständen, weil, wie auf S. 74 dargelegt wurde, der Flußwasserspiegel sich immer allmählich dem Seewasserspiegel nähert. Man erkennt dies deutlich aus Abb. 107,

S. 75, die die an der neuen Weichselmündung aufgenommenen Spiegellinien bei verschiedenen Wasserständen darstellt. Für die unterste Flußstrecke sind also nur noch die Seewasserstände maßgebend. Daher kann die obere Trapezfläche des in Abb. 109 dargestellten Querschnittes dort nicht mehr ausgefüllt werden; die Deiche können nahe an den Fluß herangezogen werden. Damit das Gefälle bei Hochwasser in der Schlußstrecke nicht zu steil abfällt und nicht zu große Stromgeschwindigkeiten entstehen, die ufergefährdende Kolke hervorrufen würden, hat man das Mittelwasserbett so zu erweitern, daß es auch das Hochwasser mit angemessener Geschwindigkeit abführen kann. Es entsteht also das in Abb. 110 im Grundriß dargestellte der neuen Weichselmündung nachgebildete Strombett.

Die Abmessungen des Mittelwasserbettes müssen sorgfältig erwogen werden; ein zu enges Bett ergibt bei Hochwasser zu großes Schlußgefälle und zu reißende Strömung; ein zu weites Bett aber wird bei mittleren und niedrigen Flußwasserständen stark versandet.

Die bisweilen befolgte Regel, daß das Mittelwasserbett um ebensoviel an Durchflußfläche zu erweitern sei, wie das Hochwasserbett durch die Gefälleabsenkung verliert, ergibt zu große Weiten des Mittelwasserbettes. Es ist ratsam, die durch den Ausbau veränderte Wasserbewegung nach der Theorie der ungleichförmigen Bewegung vorher zu berechnen. Man wählt zuerst nach Gutdünken eine bestimmte, nach der See zu erweiterte Bettgestaltung, teilt die Mündungsstrecke in mehrere Abschnitte und nimmt für jeden ein gleichförmiges Strombett an, dann berechnet man nach einem der auf S. 74 erwähnten Verfahren die Senkungskurve für das höchste Hochwasser, dessen Menge Q durch Messungen im oberen Flußgebiet bekannt ist. Dadurch sind die Größen der gefüllten Stromquerschnitte F bestimmt. Aus ihnen und aus der Hochwassermenge Q lassen sich dann die mittleren Geschwindigkeiten v berechnen nach der Formel $v = \frac{Q}{F}$. Ergibt sich v als zu

groß, so hat man unter Annahme eines weiteren Stromschlauches die Rechnung zu wiederholen. Das größte zulässige v muß sich nach den Bestandteilen richten, aus denen das Flußbett zusammengesetzt ist. Da die höchsten Flußhochwasser nur selten eintreten, schaden vorübergehende Auskolkungen nichts; man kann daher, falls die Ufer gesichert sind, unbedenklich höhere Geschwindigkeiten zulassen, als der Beständigkeit des Bettes entsprechen, denn nach Ablauf des Hochwassers versanden die Kolke wieder. Zu beachten ist auch, daß die maßgebende Sohlengeschwindigkeit erheblich geringer ist als die mittlere Profilgeschwindigkeit.

Ferner hat man zu prüfen, wie die Verhältnisse sich bei mittlerer Wasserführung gestalten; wird dann v allzu klein, so sind bei länger ausbleibendem Hochwasser Versandungen zu befürchten. Ein allen Wassermengen entsprechendes Strombett läßt sich nicht schaffen, man muß sich daher mit einer Durchschnittsform begnügen. Wenn nur selten auf große Hochwasser zu rechnen ist, hüte man sich, das Mittelwasserbett zu weit zu machen.

Durch den vorbenannten Ausbau kann nur die Stromstrecke selbst tief erhalten werden, dagegen läßt sich die Barrenbildung vor der Mündung nicht vermeiden, sofern nicht etwa ein starker Küstenstrom die Ablagerungen fort-

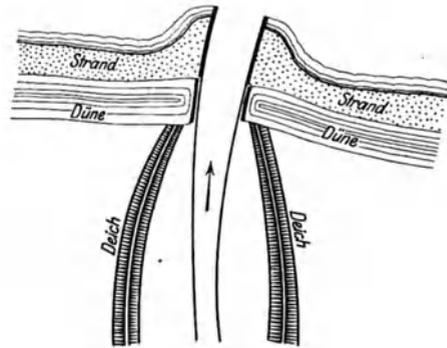


Abb. 110.

Strommündung an tidelosem Meere.

trägt. Wenn der Fluß sich selbst überlassen bleibt, so bilden sich also mit der Zeit wieder neue Stromspaltungen. Dies verhindert man eine Zeit lang, indem man die Strömung nach der Einmündung in die See noch durch Leitdämme zusammenfaßt und sie bis in tieferes Wasser hineinführt. Wenn auf die Schifffahrt keine Rücksicht genommen zu werden braucht, so braucht man die Leit-



Abb. 111. Leitdamm der Weichsel.

dämme nur bis Mittelwasser reichen zu lassen. Sie werden dann am einfachsten aus Sinkstücken mit belastenden Steinen hergestellt (Abb. 111). Sollen sie dagegen ein Fahrwasser begrenzen und ist starker Seegang zu erwarten, so hat man eine der in Abschnitt 19 beschriebenen Bauarten anzuwenden.

Die Leitdämme schieben die Barre freilich nur hinaus, sie müssen verlängert werden, sobald letztere sich so weit erhöht hat, daß das Eis nicht mehr darüber hinwegschwimmen kann. Zu schnelles Verlängern der Dämme hat zur Folge, daß Seeflächen, die für die Ablagerung der Sinkstoffe brauchbar wären, ungenutzt liegen bleiben. Man versucht daher, so lange wie möglich durch Baggerung eine Rinne durch die Barre offen zu halten. Den gewonnenen Sand spült man, wenn möglich, hinter die Leitdämme. (Vgl. das Beispiel der Weichsel, S. 87.)

B. Maßnahmen zur Verbesserung der Fahrtiefen.

Wenn der Ausbau der Mündung nicht nur die Vorflut verbessern soll, sondern auch die Herstellung ausreichender Fahrtiefen für die Schifffahrt bezweckt, so gelingt es wegen der unvermeidbaren Barrenbildung nur selten, beide Ziele miteinander zu vereinigen. Man richtet daher den Hauptstromarm nur für die Hochwasserabführung ein und baut für die Schifffahrt außerdem einen Nebenarm aus. Je weniger Sinkstoffe dieser führt, je steiler der Seegrund an seiner Mündungsstelle abfällt und je stärker die Küstenströmung ist, um so leichter wird bei ihm die Barre zu vermeiden sein (vgl. das Beispiel der Donau, S. 89). Durch geeigneten Ausbau der Abzweigung des Nebenarmes vom Hauptstrom kann man die Sinkstoffe tunlichst von ersterem fernhalten; die Fahrtiefen müssen nötigenfalls durch Baggerung erstmalig hergestellt und dauernd erhalten werden. Die Leitdämme an der Mündung stellt man bis über das Hochwasser der See her, damit sie einerseits als Wellenbrecher dienen und damit andererseits nicht Seesand durch Küstenströmung und Wellenschlag in die Fahrinne hineingeschlagen wird.

Es gibt Fälle, in denen es nicht gelingt, auf vorherbeschriebene Weise hinreichende Fahrtiefen offen zu halten. Beispielsweise hat man sich an der Rhone vergeblich bemüht, durch Zusammenfassung der Strömung mittels Leitdämme die Barre zu durchbrechen. Die Folge war nur, daß der außerordentlich sinkstoffreiche Fluß die Barre um dasselbe Maß hinausshob, um das man die Leitdämme verlängert hatte. Man half sich schließlich dadurch, daß man von der Stadt Arles aus, die noch zu Römerzeiten am Meere gelegen war, den Kanal von St. Louis nach dem Golfe de Foz grub und gegen die Rhone abschleuste. Dieses Mittel ist zwar kostspielig, aber es führt stets zum Ziele.

Anstatt einen besonderen Kanal herzustellen, kann man in geeigneten Fällen einen oder mehrere Nebenarme vom Flusse abschneiden und dadurch strom- und geschiellos machen; die gewünschte Fahrtiefe läßt sich dann leicht durch Baggerung herstellen. Die Verbindung mit dem Flusse erfolgt durch Schifffahrtsschleusen. Auf diese Weise hat man die Weichselmündung schiffbar gemacht.

13. Abschnitt. Verbesserung der Mündungen bei starkem Flutwechsel.

A. Die Grundsätze des Ausbaues im Tidegebiet.

Der in Abschnitt 11 beschriebene Vorgang des Einlaufens von Flutwellen in die Mündung gibt ein Mittel, die Flüsse im Tidegebiet in sehr vollkommener Weise sowohl für Vorflutzwecke als auch für die Schifffahrt auszubauen. Städte, die weit von der See entfernt liegen, konnten zu Zeiten der Hansa mächtige Seehandelsplätze sein, weil ihr natürliches Fahrwasser für die damaligen Schiffsgößen ausreichte; sie mußten aber mit der Fortentwicklung des Schiffbaues gegenüber solchen Häfen zurücktreten, die sich von Natur eines tiefen Fahrwassers erfreuen. Durch passende Ausnutzung der Spülkraft der Flutwelle ist es nun neuerdings gelungen, zahlreiche an Tideflüssen gelegene Städte auch für moderne Seeschiffe zugänglich zu machen und ihnen dadurch zu neuer Blüte zu verhelfen.

Die Verbesserung eines Tideflusses geht darauf hinaus, Verhältnisse zu schaffen, die ein möglichst ungehindertes Eindringen der Flutwelle in den Stromschlauch begünstigen; der kräftige Rückstrom bei Ebbe vermag alsdann das Strombett gründlich zu räumen. Alle Hindernisse, welche die lebendige Kraft der Welle vorzeitig schwächen könnten, müssen beseitigt, die Weite des Flußquerschnittes muß an jedem Punkte der hindurchströmenden Wassermenge angepaßt werden. Um diese Ziele zu erreichen, ist ein möglichst glatter gerader einheitlicher Stromschlauch, der sich nach dem Meere zu trompetenartig erweitert, zu erstreben. Der Querschnitt des Strombettes wird, wie im Oberlauf der Flüsse, aus zwei trapezförmigen Teilen zusammengesetzt, die so zu bemessen sind, daß der enge untere Teil bei Niedrigwasser bordvoll ist, der obere bei jedem Tidehochwasser gefüllt wird. Die Einfassungen der Strombettränder dürfen nicht rauh sein, damit die Reibung möglichst eingeschränkt wird; Buhnen sind daher für diesen Zweck nicht geeignet, dafür sind Parallelwerke (Leitdämme) anzuwenden.

Die Leitdämme des Niedrigwasserbettes dürfen die Sohle des Hochwasserbettes nicht überragen, da das Wasser ja nach Eintritt der Ebbe zum Teil aus dem Hochwasserbett in das Niedrigwasserbett eintreten soll. Ersteres braucht nicht überall durch Deiche abgeschlossen zu sein; die Abscheidung von übermäßigen Weiten kann auch durch Leitdämme erfolgen, die unten offen sind, aber bis über das mittlere Hochwasser reichen.

Die Ausführung der Leitdämme ist ähnlich wie diejenige der in Abschnitt 9 beschriebenen Deckwerke und Verbindungsdämme. Wo jedoch kein starker Wellenschlag vorhanden ist, genügen ganz leichte Werke. Abb. 112 zeigt einen Niedrigwasserleitdamm der Unterweser, Abb. 113 einen Hochwasserleitdamm der Untereibe.

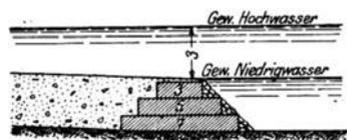


Abb. 112. Niedrigwasserleitdamm der Unterweser.

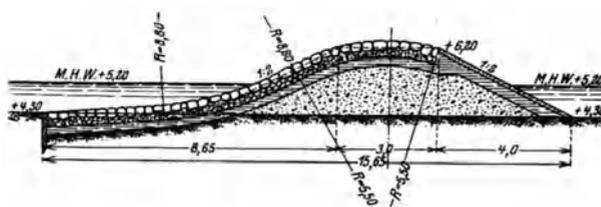


Abb. 113. Hochwasserleitdamm der Untereibe.

hüllt ist; die Stromseite ist gepflastert und durch eine Spundwand gesichert, die nach dem Watt gelegene Böschung hat Rasenbelag erhalten.

Abgeschnittene Stromarme werden nur am oberen Ende geschlossen, damit sie sich bei Hochwasser füllen können; bei Ebbe strömt dann das Wasser wieder aus und hilft das Niedrigwasserbett spülen. Krümmungen verursachen Richtungsänderungen der Strömung und schaffen Umwege für die Flutwelle; sie sind daher tunlichst durch Durchstiche zu begradigen oder doch abzufachen. Hervorgehoben sei, daß sie nicht in der Weise wie im oberen Flußgebiet zur Erhaltung einer gleichmäßigen Fahrrinne notwendig sind. Die Erfahrungen zeigen, daß die früher von der Linienführung in Form einer Sinuslinie, der sogenannten Sinoidenform, erwarteten Vorteile im Flutgebiet nicht eintreten¹⁾. Die ungleiche Wasserbewegung an der konkaven und an der konvexen Seite erzeugt kraftverzehrende Wirbel. Daher können völlig gerade Flußstrecken ohne Nachteil angestrebt werden.

Stromspaltungen sind ebenfalls schädlich, besonders wenn die Arme ungleich lang sind, so daß die beiden Teilflutwellen an der oberen Vereinigungsstelle zu verschiedenen Zeiten ankommen.

Verengungen des Flußbettes bewirken ein Aufstauchen der Hochwasserlinien, darauf folgende Erweiterungen eine Absenkung. Beides ist schädlich, daher ist ein tunlichst regelmäßiger landeinwärts allmählich enger werdender Stromschlauch anzustreben. Die beabsichtigte Vertiefung ist erstmalig durch Baggerung zu unterstützen, weil die volle Spülkraft erst nach Herstellung des geräumigen Flußbettes eintritt.

Die richtige Bemessung der Flußquerschnitte ist von größter Bedeutung. Ist die Mündungstrecke nicht nach unterhalb erweitert, so tritt zu wenig Wasser in den Fluß hinein. Die Flutwelle läuft dann wie in einem engen Kanal entlang, sie spült anfangs kräftig, läuft sich aber frühzeitig tot und wirkt vor allem beim Zurückfluten nicht genügend auf die Verhinderung der Barre vor der Mündung. Im Tidegebiet verursacht eine zu weite Mündung an sich keine Sandablagerungen, im Gegenteil tritt um so mehr Spülwasser in den Fluß, je weiter die Mündung ist. Bedingung ist jedoch, daß die oberhalb des Mündungsquerschnittes gelegenen Flußbettquerschnitte der Mündungsweite genau entsprechen; sie müssen sich in demselben Maße verringern, wie die Größe des Flutberges, also auch die einströmende Wassermenge, infolge der Widerstände abnimmt. Werden die Flußquerschnitte zu rasch verengt, so tritt das vorbeschriebene Aufstauchen und die Verminderung der Flutwelle ein; bleiben sie dagegen gleichmäßig weit, so entwickeln sich keine scharfen Strömungen, und es treten Sandablagerungen ein.

Man kann also um so größere Wirkungen erzielen, in je größerem Maßstabe der Stromschlauch im richtigen, dem allmählichen Nachlassen der Schwingenergie der Flutwelle angepaßten Verhältnis ausgebaut wird. In Wirklichkeit findet aber dieser Maßstab bald eine Grenze, nicht nur wegen der Kosten, sondern auch wegen des Widerstreites mit anderen Interessen.

B. Ermittlung der Abflußverhältnisse.

Um die günstigsten Stromquerschnitte bestimmen zu können, hat man zunächst den Verlauf der Hochwasser- und Niedrigwasserlinie, der Wassermengen und Strömungsgeschwindigkeiten vor dem Ausbau der Mündung für verschiedene Stationen des Stromschlauches festzustellen.

¹⁾ Vgl. die Beratungen der internationalen Kommission für den Ausbau der Scheldemündung. Kurze Mitteilungen darüber von O. Franzius enthält die „Deutsche Bauzeitung“, Jahrg. 1912.

Zur Ermittlung der Vorgänge im Mündungsgebiet eines Tideflusses sind an möglichst zahlreichen Stellen selbstzeichnende Pegel aufzustellen; für jede Station ist eine große Anzahl von Flutkurven zu sammeln. Man erkennt aus ihnen den Einfluß der Gestirnstellungen, der Sturmfluten, der Senkungen durch ablandige Winde, der wechselnden Menge des aus dem oberen Flußlaufe zuströmenden Wassers und aller sonstigen Vorgänge. Will man den Einfluß einer bestimmten Erscheinung, z. B. des zuströmenden Flußwassers, genau bestimmen, so verfähre man nach Art der harmonischen Analyse von Thomson (vgl. S. 36). Man sondert die Flutkurven nach denjenigen Zeiten, in denen an der Flutgrenze gleiche Flußwassermengen zufließen, und bildet für jede einer bestimmten Zuflußmenge entsprechende Gruppe das arithmetische Mittel. Alle Einflüsse außer den Flußwassermengen sind dann zufällig und heben sich bei einer großen Zahl von Fällen auf¹⁾.

Da die am häufigsten vorkommenden Flutverhältnisse für den Bestand des Flußbettes maßgebend sind, sondere man alle nur selten auftretenden Fälle aus und bilde aus den gewöhnlichen Flutkurven Mittelwerte für jede Station. Diese Flutkurven trage man untereinander auf, wie es in Abb. 114 (Beispiel der Elbe) dargestellt ist. Die Abbildung zeigt deutlich den zeitlichen Verlauf der Flutwelle im Stromschlauch, ihre allmähliche Verkleinerung und das Aufstauchen der Vorderfläche, wie dies auf S. 75 u. 76 beschrieben wurde. Aus dieser Darstellung kann man für jede Zeit und durch Interpolation auch für jeden Ort der Mündungsstrecke den Wasserstand entnehmen. Die Zeiten rechnet man nach dem Eintritt des Hochwassers in der Mündung. Daraus ergeben sich nicht nur die Hochwasserlinien und die Niedrigwasserlinien, sondern auch zu jeder Zeit die wirkliche Form des Wasserspiegels. Aus letzterer kann man

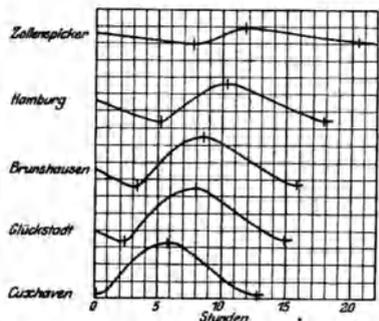


Abb. 114. Flutkurven der Untereibe.

in der nachstehend beschriebenen Weise die Wassermengen bestimmen, die an jedem Orte bei Flut ein- und bei Ebbe ausströmen. Diese sind nicht etwa, wie im oberen Flußgebiete, vom Wasserstande abhängig, da die Geschwindigkeit bei Hochwasser zu Null wird und später ihre Richtung wechselt. Man kann also keine Kurve der Wassermengen als Funktion der Pegelstände auftragen.

Zu ermitteln sei die Wassermenge Q , die in dem Zeitabschnitt von t_1 bis t_2 durch den Querschnitt A—B geflossen ist (Abb. 115). Für den Zeitpunkt t_1 ergebe sich aus den vorerwähnten mittleren Flutkurven die Wasserspiegellinie $L_1 M_1 N_1 O_1 P$ (vom Querschnitt A—B bis zur Flutgrenze P), für den Zeitpunkt t_2 die Spiegelkurve $L_2 M_2 N_2 O_2 P$. Im Längenschnitt der Wassermasse ist also hinzugekommen die Fläche F_2 , dagegen sind fortgefallen die Flächen F_1 und F_3 . Bezeichnet man die Unterschiede der Ordinaten der Spiegellinie innerhalb der Fläche F_1 mit c_1 , innerhalb der Fläche F_2 mit c_2 und innerhalb der Fläche F_3 mit c_3 , ferner die zugehörigen Profilbreiten mit $b_1 b_2 b_3$, und beachtet man ferner, daß in dem betrachteten Zeitintervall die Flußwassermenge $(t_2 - t_1) q$ zugeflossen ist, so

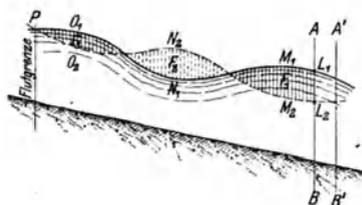


Abb. 115.

Bestimmung der Wassermengen.

¹⁾ Vgl. Bubendey und Buchheister, Charakteristische Kennzeichen eines Tideflusses. Bericht zum VII. internationalen Schiffahrtskongreß in Brüssel.

muß im ganzen durch den Querschnitt A—B abgeflossen sein die Wassermenge

$$Q = \Sigma c_1 b_1 + \Sigma c_3 b_3 - \Sigma c_2 b_2 + (t_2 - t_1) q.$$

Die drei Summen sind die Inhalte der oben und unten von den beiden Spiegelflächen und seitlich von den Ufern begrenzten Wasserkörper.

Wenn sich in dem betrachteten Zeitabschnitt der Wasserspiegel von $L_2 M_2 N_2 O_2 P$ bis $L_1 M_1 N_1 O_1 P$ geändert hätte, so wären die Vorzeichen der Summenausdrücke umzukehren, d. h. das Wasser wäre stromauf geflossen. Bezeichnet t die Zeit von Hochwasser bis Niedrigwasser und t' die Zeit von Niedrigwasser bis Hochwasser, so ist in der vollen Tide ($t + t'$) durch den Querschnitt A—B stromab geflossen die Menge

$$Q = \Sigma c_1 b_1 + \Sigma c_3 b_3 - \Sigma c_2 b_2 + t q,$$

und stromauf geflossen ist die Menge

$$Q' = \Sigma c_1 b_1 + \Sigma c_3 b_3 - \Sigma c_2 b_2 - t' q,$$

also ist im ganzen dem Meere zugeführt worden die Menge $Q - Q' = (t + t') q$, nämlich die von oben zugeflossene Flußwassermenge.

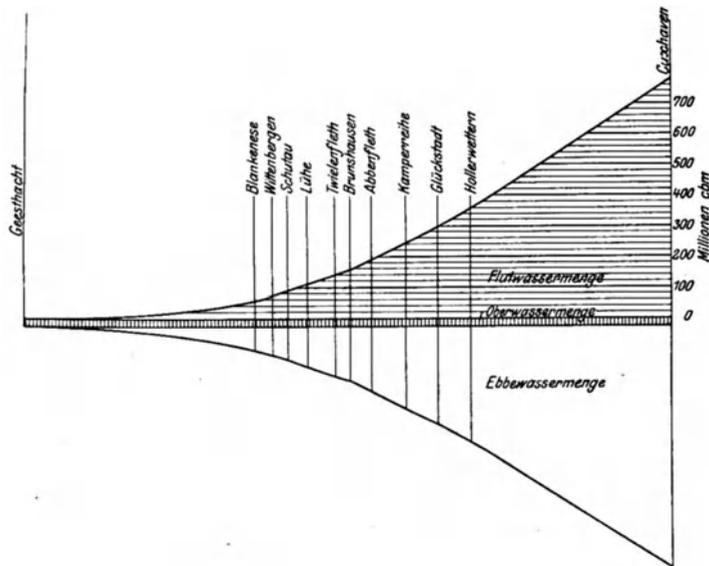


Abb. 116. Wasserbewegung in der Unterelbe während einer Tide.

Zur Berechnung der in einem Zeitabschnitt durch einen Querschnitt fließenden Wassermenge muß man also nicht nur alle Wasserstände oberhalb des Querschnittes bis zur Flutgrenze am Anfang und am Ende des Zeitabschnittes, sondern auch die Gestaltung des Stromschlauches kennen. Man führt die Berechnung für zahlreiche Querschnitte und für verschiedene Zeiten nach Eintritt des Hochwassers an der Mündung aus. Dabei geht man von der Flutgrenze abwärts. Wenn nämlich die Wassermenge für den Querschnitt A—B bestimmt ist, so findet man diejenige für den Querschnitt A'—B' (Abb. 115), indem man zu der vorigen den zu dem Stromabschnitt zwischen A—B und A'—B' gehörigen Teilbetrag $\Sigma c_1' b_1'$ addiert, und zwar mit positivem oder negativem Vorzeichen, je nachdem der Wasserspiegel sich zwischen den Querschnitten gesenkt oder gehoben hat.

Die Ergebnisse werden graphisch aufgetragen gemäß Abb. 116¹⁾, die die an den einzelnen Stationen der Unterelbe während der ganzen Dauer einer Tide abgeflossenen Wassermengen darstellt.

C. Bestimmung der neuen Stromquerschnitte.

Aus dem Verlauf der ursprünglichen Hoch- und Niedrigwasserlinie und der Änderung der Wassermengen an verschiedenen Punkten des Stromes erkennt man den Einfluß etwaiger Hindernisse; man kann dann beurteilen, wie die Flutwelle nach Beseitigung jener verlaufen wird. Dabei hüte man sich, die erreichbare Änderung zu überschätzen, insbesondere den späteren Unterschied zwischen Hochwasser und Niedrigwasser zu groß anzunehmen.

Wenn die neue Hochwasser- und Niedrigwasserlinie bestimmt sind, teilt man die in der Mündung auftretende Flutkurve durch wagerechte Linien in verschiedene Höhenabschnitte, dann berechnet man die neue Fortschrittsgeschwindigkeit verschiedener Oberflächenpunkte der Flutwelle nach der auf S. 76 erwähnten Scott-Russelschen Formel $v = \mu \sqrt{g t}$, daraus kann man die neuen Eintrittszeiten der den vorerwähnten Höhenabschnitten entsprechenden Wasserstände, also auch die Form der geänderten Flutkurven, für verschiedene Orte ermitteln. Ludwig Franzius empfiehlt, nur die Fluthälften der Flutkurven auf diese Weise zu bestimmen, die Ebbehälften aber nach den Hoch- und Niedrigwasserlinien und „nach Analogie der ursprünglichen Kurven“ zu schätzen.

Hat man die zu erwartenden Flutkurven gefunden, so läßt sich, wie vorstehend beschrieben, auch die Gestalt der künftigen Flutwelle in jedem Zeitpunkt bestimmen. Dann berechnet man nach dem gleichfalls beschriebenen Verfahren die Wassermengen, die durch die neuen, vorläufig nach Schätzung anzunehmenden Profile strömen werden. Zuletzt ermittelt man die für die Erhaltung der erstrebten Tiefe maßgebenden Strömungsgeschwindigkeiten aus der Beziehung $v = \frac{Q}{F}$. Diese ändern sich natürlich je nach den Phasen der Tide; bei oder kurz nach Beginn der Ebbe werden sie 0, wachsen dann zu einem etwa bei halber Ebbe eintretenden Größtwert, werden bei oder kurz nach Eintritt des Niedrigwassers wieder zu 0 und verlaufen bei Flut in umgekehrter Weise. Zur Beurteilung der Strömungskraft bestimmt man mittlere Ebbe- und mittlere Flutstromgeschwindigkeiten. Ergeben sich diese als zu gering, so reicht die Spülkraft nicht aus, um das Bett dauernd zu räumen; sind die Geschwindigkeiten dagegen zu groß, so wird die für die obere Mündungsstrecke benötigte Stromkraft nutzlos vergeudet. Ludwig Franzius fand durch Versuche, daß für die Weser eine mittlere Profilgeschwindigkeit von 0,5 m/sek für die Räumung des Flußbettes genügte. Richtiger wird man die Sohtengeschwindigkeit aus der mittleren Profilgeschwindigkeit ermitteln, da jene für die Ausbildung der Schleppkraft maßgebend ist. Da sich bei Änderung des Stromschlauches auch die Wassermengen und unter Umständen auch die Hoch- und die Niedrigwasserlinie ändern, so ist die ganze Rechnung unter Annahme verschiedener Stromschlauchgestaltung so oft zu wiederholen, bis die Größen Querschnitt, Wassermenge und Stromgeschwindigkeit in richtiger Beziehung zu einander stehen.

Die Änderung der Menge des zuströmenden Oberwassers ist, wie Abb. 117 zeigt, für den oberen Teil des Flutgebietes von großem Einfluß, daher ist es

¹⁾ Entnommen aus dem in der Fußnote auf S. 83 erwähnten Bericht von Bubendey und Buchheister.

notwendig, die Rechnung auch für den Fall höherer Oberwasserstände noch besonders durchzuführen.

Man sieht, daß die Rechnung zahlreiche Schätzungen erfordert; man tut daher gut, nicht nur die vor dem Ausbau vorhandenen tatsächlichen Vorgänge an regelmäßigen Strecken des Stromes sorgfältig zu berücksichtigen, sondern auch die bei Regulierungen anderer Flüsse gemachten Erfahrungen sinngemäß zu verwerten.

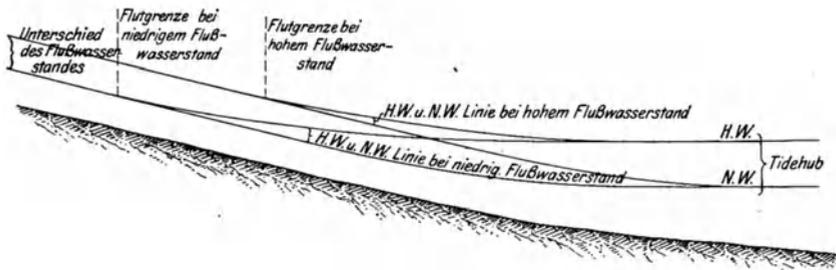


Abb. 117. Einfluß der Flußwasserstände auf den Verlauf der Flutwellen.

Eine allen Verhältnissen völlig entsprechende Ausgestaltung der Mündungsstrecke läßt sich deswegen nicht erzielen, weil nicht nur die von oberhalb kommenden Flußwassermengen, sondern auch der Tidehub sich ständig ändert. Daher wird auch die Stromsöhle bald vertieft, bald aufgehöhht. Namentlich bewirkt eine Reihe außergewöhnlich niedriger Tiden, wie sie bei längerem Vorherrschen ablandiger Winde einzutreten pflegen, Versandungen in der mittleren Mündungsstrecke; auch Sturmfluten können vorübergehend Barren in die Mündung werfen. Es empfiehlt sich daher, stets einen ausreichenden Park von Baggergeräten bereit zu halten. Gut durchgeführte Ausbauten der Mündungsstrecken von Tideflüssen haben indessen dauernden Erfolg gehabt.

Die Barren vor der Mündung sind meistens von Prielen durchbrochen; durch Schließen von Nebenprielen mittels unter Wasser liegender Sinkstückdämme, nötigenfalls auch durch Vorziehen von Leitdämmen, wie bei tidelosen Mündungen, sucht man ein Hauptpriel für die Schifffahrt tief zu erhalten.

Die in der Nähe der Flutgrenze auftretenden Versandungen wurden bereits erwähnt. Außerdem kann dort als Folge der Sohlenvertiefung durch den Ausbau der Flutstrecke eine erhebliche Senkung der niedrigen und mittleren Flußwasserstände eintreten. An der Weser war man genötigt, zur Wiederherstellung der gleichfalls abgesenkten Grundwasserstände die Stauanlage von Hemelingen auszuführen.

Im übrigen werden aber die Verhältnisse an der Flutstrecke auch für die Landwirtschaft durch den Ausbau im allgemeinen verbessert. Hochwasser und Eis werden in dem geräumigen glatten Bett schnell abgeführt; insbesondere wird die Vorflut der am Flusse gelegenen Polder wesentlich verbessert, weil nicht nur die Hochwasserlinie gehoben, sondern auch die Niedrigwasserlinie gesenkt wird. Ein Nachteil ist allerdings, daß die Sturmfluten unter Umständen höher auflaufen können. Die früher gehegte Befürchtung, daß das Salzwasser weiter stromauf geleitet werde, wodurch das Wachstum der Pflanzen leiden müßte, hat sich im allgemeinen nicht erfüllt. An der Weser ist beobachtet worden, daß die den Stromschlauch hinauflaufenden Flutberge im wesentlichen aus dem angestauten Süßwasser des oberen Flußlaufes bestehen.

14. Abschnitt. Beispiele ausgebauter Strommündungen.

A. An Meeren mit schwachem Flutwechsel.

1. Die Weichsel. Der Ausbau der Weichselmündung erfolgte hauptsächlich zur Verbesserung der Vorflut und des Eisabganges. Abb. 118 zeigt das Mündungsgebiet des Stromes. Dieser teilte sich ursprünglich bei Montauer Spitze in zwei Arme, die Nogat, die in das Frische Haff fließt, und die geteilte Weichsel.

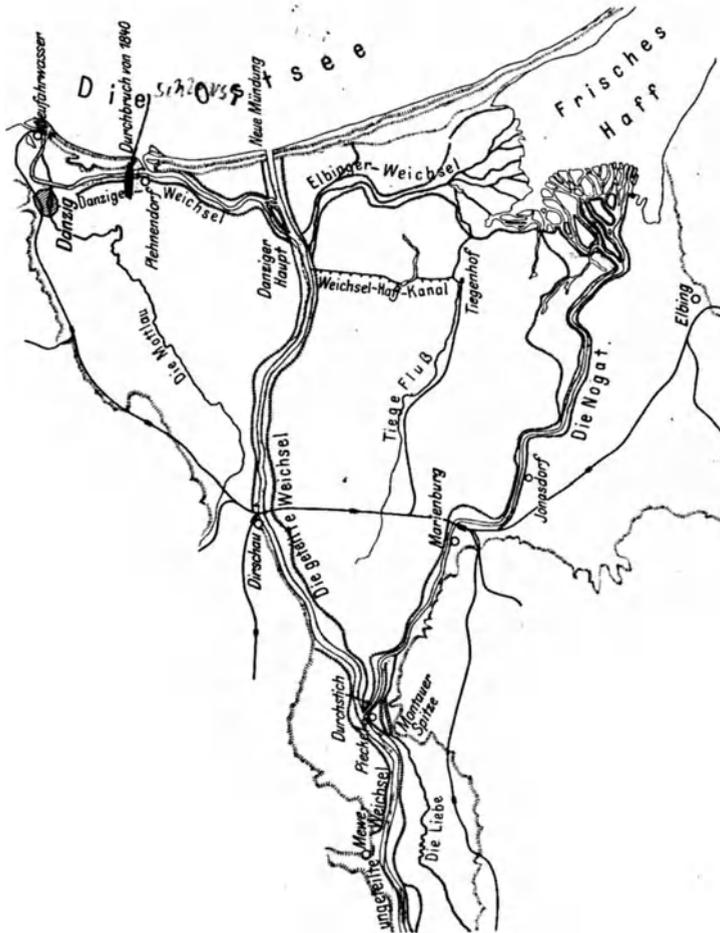


Abb. 118. Das Mündungsgebiet der Weichsel.

Letztere teilte sich wieder am Danziger Haupt; von dort ging nach Osten die Elbinger Weichsel in das Frische Haff, während nach Westen die Danziger Weichsel eine Strecke parallel zum Ostseestrande, durch Dünen von ihm getrennt, floß, um unterhalb Danzig bei Neufahrwasser in die See zu münden. Die Anteile dieser 3 Hauptmündungsarme an der Wasserabführung haben sich im Laufe der Zeit wiederholt geändert.

Die Weichsel führt zahlreiche Sinkstoffe; jeder Mündungsarm, insbesondere aber die Nogat, hat sein Teildelta vorgeschoben. Die Wasserführung des Gesamtstromes beträgt bei Niedrigwasser 400 cbm, bei Mittelwasser 1100 cbm, bei

Hochwasser 9300 cbm. Gewaltig sind die Eismassen, die nach strengen Wintern aus Polen herniederkommen. Häufig sind die Mündungen, namentlich die zum Haff führenden Arme, noch in der Winterlage, wenn in dem 4 bis 5 Breitengrade südlicher gelegenen Oberlaufe schon Tauwetter eingetreten ist. Früher wurden dann die einzelnen Mündungsarme leicht verstopft, besonders wenn Seitenwind zeitweilig alles Eis bald in einen, bald in einen andern Arm zusammentrieb. Dadurch sind oft verheerende Deichbrüche herbeigeführt worden; man zählt deren seit dem 14. Jahrhundert im Mündungsgebiete mehr als 300.

Die Versuche, die Mündung zu verbessern, reichen bis in das 17. Jahrhundert zurück, jedoch sind erst seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts namhafte Erfolge erzielt worden. Die ursprünglich bei Montauer Spitze aus einer Konvexen abzweigende Nogat bildete sich immer mehr zum Hauptstrom aus. Weil sie wegen ihres vielverzweigten Deltas und wegen des späten Auftauens des Haffs ganz besonders ungeeignet zur Eisabführung ist, hat man ihren Anteil an der Wasserführung dadurch künstlich beschränkt, daß man ihren Ausgang im Jahre 1853 um 4 km stromab verlegte. Man schloß nämlich die ursprüngliche Abzweigungsstelle und stellte dafür bei Pieckel einen unter einem Winkel von 45 Grad gegen die Stromachse geneigten Durchstich, den sogenannten Weichsel-Nogat-Kanal, her, der so bemessen wurde, daß nur $\frac{1}{3}$ der Gesamtwassermenge in die Nogat gelangen sollte. Außerdem baute man ein Eiswehr, das nur Wasser, aber kein Eis in die Nogat eintreten lassen sollte; dieses Bauwerk wurde jedoch bald vom Eise zerstört.

Im Januar 1840 bildete sich eine schwere Eisversetzung in der Danziger Weichsel bei Plehnendorf. Dabei durchbrach der Strom plötzlich bei Neufähr die schmale Dünenkette, die ihn von der See trennte, und es entstand von selbst eine neue Mündung. Dieser Vorgang war von größtem Einfluß auf die Stromverhältnisse. Den nach Danzig führenden Arm, der nun zu versanden drohte, schloß man ab und machte ihn durch eine Schleuse bei Plehnendorf von der Weichsel aus zugänglich. Dadurch wurden die Verhältnisse für die Einfahrt von See aus in den Danziger Hafen mit einem Schlage wesentlich gebessert; während früher die Barre große Schwierigkeiten machte, war es jetzt, nach Aufhören der Sinkstoffführung des Weichselarmes, leicht, die Tiefen durch Baggerung zu erhalten. Eine weitere Folge des Durchbruches bei Neufähr war eine starke Gefällevermehrung des beim Danziger Haupt abzweigenden, nun gekürzten Westarmes. Daher wurde dieser zum Hauptarm, während die Elbinger Weichsel sehr an Wasserführung verlor; letztere versandete bald dermaßen, daß man sich entschließen mußte, zur Aufrechterhaltung der Schifffahrt nach dem Haff einen besonderen Kanal, den bei Rothebude abzweigenden Weichselhaffkanal, zu bauen.

Der Durchstich zur Nogat hatte die erhoffte Sicherheit gegen die Eisgefahren nicht gebracht, weil westliche Winde noch immer sehr viel Eis in die Nogat trieben. Bevor man aber an den gänzlichen Abschluß dieses Mündungsarmes denken konnte, mußte zunächst die geteilte Weichsel so ausgebaut werden, daß sie allein das ganze Hochwasser und Eis abführen kann. Dafür war die noch bestehende Teilung am Danziger Haupt nachteilig. Während man bereits eine gründliche Umgestaltung der Mündung vorbereitete, brachte das Jahr 1888 wieder eine schwere Katastrophe. Dicht unterhalb der neuen Nogatabzweigung, bei Klossowo, bildete sich gleichzeitig mit einem außergewöhnlichen Hochwasser eine feste Eisversetzung, in der geteilten Weichsel, die weder durch die Tätigkeit der Eisbrechdampfer, noch durch Sprengung gelöst werden konnte. Alles Eis und Hochwasser wurde in die Nogat gedrängt, aber deren zahlreiche seichte Mündungsarme waren ebenfalls verstopft. Das Wasser staute sich daher so stark, daß die Deiche überströmten und daß schließlich der rechtsseitige Deich bei Jonasdorf brach. Die ganze Elbinger Niederung, einschließlich des Gebietes um den Drausensee, wurde nun unter Wasser gesetzt. Dieser Bruch war der verheerendste in den

letzten Jahrzehnten; der angerichtete Schaden wurde auf 30 Millionen Mark geschätzt. Da ein Teil der Haffniederungen auf künstliche Entwässerung angewiesen ist, mußte fast ein Jahr lang mit Dampfpumpen gearbeitet werden, um die Ländereien wieder trocken zu legen.

Seitdem ist der Ausbau der Weichselmündung eifrig gefördert worden. Im Jahre 1895 wurde ein neuer Durchstich vom Danziger Haupt direkt nach der Ostsee bei Schiewenhorst hergestellt, dessen Mittelwasserbett nach den auf S. 79 angegebenen Regeln trompetenartig erweitert ist, während die Breite des Hochwasserbettes allmählich abnimmt. Die Danziger Weichsel und die Elbinger Weichsel wurden dann abgeschlossen, durch Baggerung vertieft und

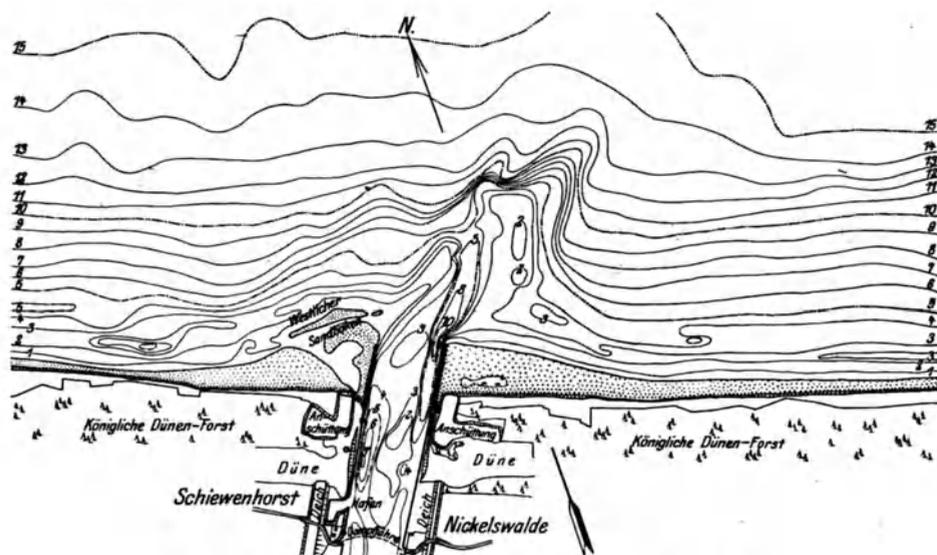


Abb. 119. Barrenbildung an der neuen Weichselmündung.

durch Schleusen der Schifffahrt zugänglich gemacht. Die Abb. 119 zeigt, wie die Verlandung an der neuen Mündung bereits begonnen hat. Es wurden bald Leitdämme erforderlich, die immer mehr verlängert werden müssen; jetzt ist die Strandlinie bei M. W. bereits über 600 m vorgerückt. Durch die Barre wird zur besseren Eisabführung jährlich eine 150 m breite und 4 bis 5 m tiefe Rinne gebaggert.

In den Jahren 1900 bis 1904 ist das Hochwasserbett der geteilten Weichsel von Pieckel abwärts reguliert und auf 1000 m Breite gebracht worden. Als dann begann man, auch die Nogat abzuschließen und sie durch Einbau von 3 Staustufen nebst Schifffahrtsschleusen zu kanalisieren. Dieses großes Werk ist während des Weltkrieges fertiggestellt worden. Etwaige Nachteile für das Pillauer Tief, das fortan die Spülung durch das Nogatwasser entbehren muß, gedenkt man durch vermehrte Baggerungen abzuwenden.¹⁾

2. Die Donau. Die Donau hat in ihrem Unterlaufe eine Breite von 500 m bei Mittelwasser und etwa 15 m Wassertiefe. Sie führt bei Hochwasser bis zu 27000 cbm/sek, bei Niedrigwasser 1700 cbm/sec. Die Mündung ist in Abb. 120 dargestellt. In der Nähe des Ortes Tultscha teilt sich der Strom in 3 Hauptarme, den Kilia-, Sulina- und St. Georgsarm. Alle 3 waren früher durch hohe Barren versperrt, auf denen nur eine Wassertiefe von 1,0 bis höchstens 2,0 m vorhanden

¹⁾ Der Erfolg der von Deutschland im Mündungsgebiet der Weichsel geleisteten großartigen Kulturarbeit ist jetzt durch die unsinnige politische Zerstückelung des Weichsellandes infolge des Versailler Vertrages leider aufs höchste gefährdet.

war. Der Kiliaarm führt 66 %, der Sulinaarm nur 6 %, der St. Georgsarm 28 % der Gesamtwassermenge ab.

Der Ausbau der Mündung erfolgte hauptsächlich im Schiffsverkehrsinteresse, und zwar nach den Vorschlägen einer 1856 einberufenen internationalen Kommission. Der große Kiliaarm war dazu ungeeignet, weil er sich in 12 ganz seichte Arme teilt und an flach abfallender Küste mündet. Er schiebt sein Delta jährlich um Strecken bis zu 90 m vor. Der südliche St. Georgsarm führt ebenfalls viele Sinkstoffe und hat eine sehr breite, 2,6 km weit vorgelagerte Barre gebildet. Seine Verbesserung wurde von der Kommission für möglich und wegen der günstigen Lage in bezug auf Konstantinopel auch für wünschenswert erklärt. Noch leichter durchführbar erschien jedoch der Ausbau des kleinen und sinkstoffärmsten Sulinaarmes. Dieser führt bei Niedrigwasser nur etwa 210 cbm/sek und ergießt sich in einen tieferen Meeresteil. Man entschloß sich daher, zunächst diesen Arm schiffbar zu machen. Die Strömung wurde durch Leitdämme, die beim ersten Ausbau aus



Abb. 120. Donaumündung.

einer mit Steinen umschütteten Spundwand bestanden, zusammengefaßt und über die Barre hinweg bis in 5,5 m tiefes Wasser geführt. Die im Jahre 1861 beendeten Anlagen hatten vollen Erfolg, denn die Barre wurde durchbrochen, und es haben sich nach und nach Tiefen bis zu 6,25 m gebildet. Die Sinkstoffe werden anscheinend durch die Küstenströmung nach Süden abgeführt. Die Leitdämme brauchten in letzter Zeit nur wenig verlängert zu werden. Sie sind jetzt als Molen aus Steinschüttung unter Wasser und aufgesetzten Blöcken über Wasser ausgebaut worden.

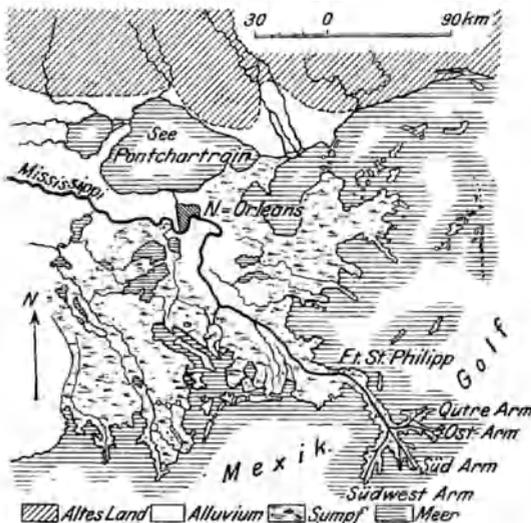


Abb. 121. Mississippimündung.

Die Verbesserung der Donaumündung ist ein Beispiel dafür, daß es sich empfiehlt, im Schiffsverkehrsinteresse nicht den Hauptarm, sondern einen Nebenarm, und zwar den sinkstoffärmsten und den in das tiefste Meer führenden, auszubauen.

3. Der Mississippi. Das in Abb. 121 dargestellte Delta des Mississippi¹⁾ beginnt unterhalb der Einmündung des Redriver und ist mehr als 350 km lang. Während zahlreiche seichte Nebenarme in südlicher Richtung abzweigen, fließt der Hauptstrom auf einer schmalen Landzunge, die er selbst weit in den mexikanischen Meerbusen hinein geschüttet hat, weiter und teilt sich zuletzt in 4 Hauptarme, den Südwestpaß, den Südpaß, den Ostpaß und den Outrepaß.

Die Wasserführung des Stromes beträgt bei Hochwasser 35 000 cbm/sek, bei Niedrigwasser noch 7000 cbm/sek. Der nur etwa 35 cm betragende Flutwechsel des mexikanischen Meerbusens ist

¹⁾ Nach dem Handbuch d. Ing.-Wissenschaften.

nicht imstande, die Deltabildung zu verhindern. Am Beginn des Deltas hat der Strom bei Mittelwasser eine normale Breite von 800 m bei 36 m Tiefe; letztere steigert sich stromaufwärts bis zur Ohiomündung auf 50 m. An der Teilung beträgt die Strombreite 2800 m, während die Tiefe auf 10 m sinkt.

Der kleinste Arm ist der Südpaß; er führt bei 213 m Breite und etwa 10 m Wassertiefe nur 8 % der Gesamtwassermenge des Stromes ab. Die übrigen Arme sind 400 bis 700 m breit und 11 bis 17 m tief. Alle Arme waren früher aber durch Barren versperrt, auf denen die Wassertiefe nur etwa 2,4 m betrug. Das jährliche Vorrücken der Barren beträgt am Südwestpaß 91 m, am Südpaß 30 m. an den beiden anderen Armen 70 bis 80 m. Der Strom selbst ist also für größte Seeschiffe befahrbar, dagegen verhinderten früher die Barren die Einfahrt.

Seit 1852 wurde an verschiedenen Armen der Versuch unternommen, durch Herstellung von Leitdämmen die Barren zu durchbrechen. Der Erfolg war nicht dauernd. Erst im Jahre 1879 ist das Werk gelungen. Der Mississippi hat die Eigenschaft, daß er nur bei Hochwasser zahlreiche Sinkstoffe führt, bei geringer und mittlerer Wassermenge dagegen nur wenige. Man wählte, wie bei der Donau, den kleinsten und sinkstoffärmsten Südpaß für den Ausbau aus und leitete seine Wassermenge zwischen zwei 4,5 km langen Paralleldämmen mit 305 m Abstand bis über die Barre hinweg; außerdem baute man aber noch niedrige Grundswellen quer durch die Mündungen der übrigen Arme. Hierdurch wird bei niedrigen und mittleren Wasserständen das Wasser in diesen Armen angestaut, also muß mehr Spülwasser durch den Südpaß fließen. Bei Hochwasser sind die Grundswellen dagegen fast wirkungslos, sodaß die sinkstoffreichen Wassermengen nach wie vor hauptsächlich durch die Hauptarme gehen.

Der Erfolg der Maßnahmen ist bisher gut gewesen; die Barre vor dem Südpaß wurde schon 1879 durchbrochen, und es haben sich Tiefen von 9 m gehalten. Begünstigt wird dieser Erfolg durch die ziemlich steile Neigung des Seegrundes vor der Mündung. Neuerdings wird auch der Südwestpaß für die Schifffahrt ausgebaut.

B. An Meeren mit starkem Flutwechsel.

1. Der Clyde. Während in Strommündungen an tidelosen Meeren nur unter besonders günstigen Umständen größere Tiefen geschaffen werden können, ermöglicht im Flutgebiet die richtige Ausnutzung der Spülkraft der Flutwelle viel bessere Erfolge. Selbst winzige Flüßchen konnten hier für Seeschiffe fahrbar gemacht werden.

Ein gutes Beispiel bildet hierfür der Clydefuß. Sein Lauf ist nur 158 km lang, sein Zuflußgebiet beträgt etwa 2400 qkm. Der Flutwechsel beträgt an

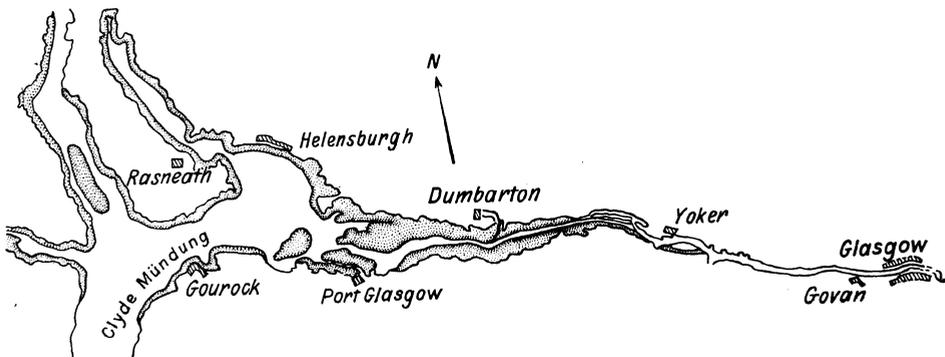


Abb. 122. Clydemündung.

der Mündung 3 m. Der Zweck des Ausbaues war die Herstellung einer Seeschiffahrtsstraße nach der Stadt Glasgow, die 30 km vom Frith of Clyde, in den sich der Fluß ergießt, entfernt liegt (Abb. 122). Ursprünglich betrug die Wassertiefe unterhalb Glasgow bei Niedrigwasser wenig mehr als 1 m, der Flutwechsel erreichte in der Stadt selbst nur 40 cm. Zunächst versuchte man im Jahre 1773 auf der Strecke bis Dumbarton durch Einbau von Buhnen den Stromschlauch zu regulieren; die Breite des Niedrigwasserbettes ließ man dabei von 55 m bei Glasgow auf 212 m an der Mündung anwachsen. Durch diese nach heutiger Erkenntnis ungenügenden Maßnahmen wurde bereits ein Erfolg erzielt; die Tiefen steigerten sich bei Hochwasser bis 4,3 m, der Flutwechsel bei Glasgow stieg auf 2 m.

Im Jahre 1836 wurde ein einheitlicher Entwurf für das ganze Flutgebiet vom Ingenieur Logan aufgestellt und ausgeführt. Die Buhnen wurden beseitigt und durch Leitdämme ersetzt, die Breite des Stromschlauches wurde so vergrößert, daß sie jetzt 113 m bei Glasgow, 305 m bei Dumbarton, 800 m an der Mündung beträgt. Dadurch ist der Flutwechsel in Glasgow infolge der Senkung des Niedrigwassers auf 3,4 m bei Springflut erhöht worden; er ist größer als an der Mündung, weil die Flutwelle durch die Verengung des kurzen Stromschlauches aufgestaucht wird. (Wie beim Bristolkanal, vgl. S. 36.) Die Tiefen sind nach und nach auf 7,5 m bei Hochwasser gebracht worden. Allerdings übersteigt dieses Maß die natürlichen Verhältnisse; es ist nur durch kräftige Baggerungen zu halten. Angeblich müssen jetzt jährlich 535 000 cbm Boden entfernt werden. Der Clyde ist dadurch zu einem Sackkanal umgestaltet worden. Immerhin dürfte noch der weitaus größte Teil der Sinkstoffe durch die Spülkraft der Flutwelle beseitigt werden. Für die Herstellung der jetzigen Tiefen waren umfangreiche Sprengungen des felsigen Bodens erforderlich.

Die Stadt Glasgow hatte vor dem Ausbau des Clyde nur 35 000 Einwohner; durch den Seeverkehr hat sie sich zu einer mächtigen Handelsstadt von bereits 750 000 Einwohnern entwickelt. Die Ufer des Clyde sind jetzt von Glasgow bis zur Mündung mit industriellen Anlagen dicht besetzt, insbesondere haben sich dort die hauptsächlichsten Werke des englischen Schiffbaues angesiedelt.

2. Die Weser. Eine der am besten gelungenen Mündungsverbesserungen ist der von Ludwig Franzius durchgeführte Ausbau der Unterweser.

Der Fluß ist 520 km lang, davon entfallen etwa 70 km auf das Flutgebiet (Abb. 123)¹⁾. Die größte Hochwassermenge beträgt 4600 cbm, während bei Mittelwasser 286 cbm, bei Niedrigwasser 98 cbm abfließen²⁾. Die mittlere Flutgröße

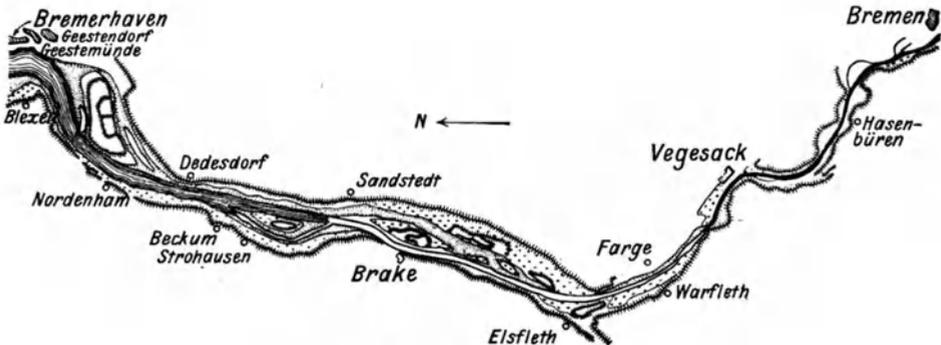


Abb. 123. Wesermündung.

¹⁾ Abb. 123–125 sind entnommen aus Esselborn, Lehrbuch des Tiefbaues, Bd. Seebau.

²⁾ Durch die großen Talsperren im Quellgebiet wird in Zukunft das Hochwasser ermäßigt, das Niedrigwasser vermehrt.

beträgt an der Mündung 3,3 m. Die Unterschiede zwischen Springtiden und Nipptiden sind höchstens 0,75 m. Vor dem Ausbau war besonders die Strecke von Bremerhaven bis Vegesack sehr unregelmäßig und reich an Inseln und Sandbänken. Die geringste Fahrtiefe betrug bei Niedrigwasser nur etwa 2 m. Zwischen Elsfleth und Vegesack hatte man früher die Stromrinne durch Buhnen übermäßig eingengt, unterhalb Elsfleth waren zu große Stromweiten vorhanden.

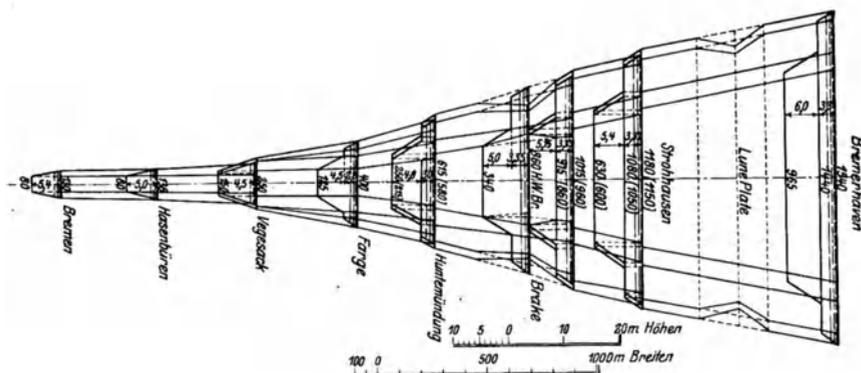


Abb. 124. Verbreiterung der Unterweser.

Die Regulierung begann im Jahre 1882 und war im ersten Ausbau 1894 fertiggestellt; später wurde sie jedoch noch weiter geführt. Der Stromschlauch wurde regelmäßig ausgebildet; dabei ließ man die Breite von Bremerhaven bis Bremen in der durch Abb. 124 erläuterten Weise allmählich abnehmen. Auf der unteren Strecke bis über Farge hinaus wurde ein aus 2 Trapezen zusammengesetzter Querschnitt mit weitem Hochwasserbett und engerem Niedrigwasserbett angewendet, oberhalb Farge nur ein einfacher Querschnitt. Die abgeschnittenen Nebenarme wurden unten offen gelassen und als Spülbecken benutzt. Die niedrigen Leitdämme des Niedrigwasserbettes sind größtenteils nach Abb. 112, S. 81 ausgeführt; soweit die Wasserflächen hinter diesen Leitdämmen nicht durch Baggerboden bis zur Niedrigwasserhöhe aufgehöhrt werden

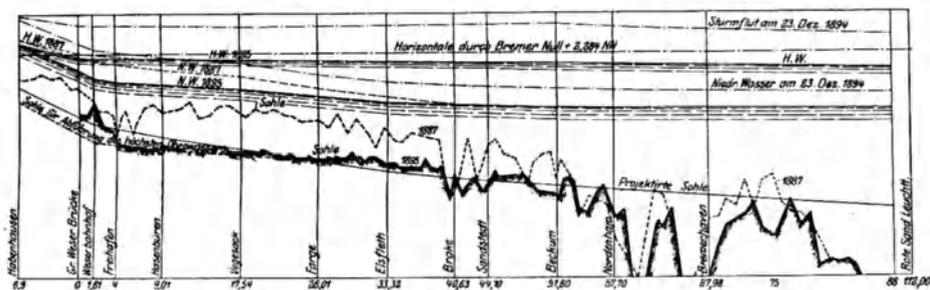


Abb. 125. Längenschnitt der Unterweser.

konnten, wurden sie durch Querdämme zur Verlandung gebracht. Über die Änderung der Tiefen und Flutverhältnisse infolge des Ausbaues gibt der in Abb. 125 dargestellte Längenschnitt Auskunft. Der Flutwechsel ist in Brake von 3,14 auf 3,35 m, in Farge von 1,95 auf 2,79 m, in Bremen von 0,10 auf 0,32 m vergrößert worden. Die Niedrigwasserlinie ist stellenweise um mehr als 1 m gesenkt, dadurch ist die Entwässerung der angrenzenden Marschen erheblich verbessert worden.

Der Erfolg des Ausbaues hat die Erwartungen noch übertroffen. Schon 1894 war die Mindesttiefe von 5 m unter gewöhnlichem Hochwasser überall erreicht, 1900 war sie auf 5,5 m gestiegen. Jetzt können Schiffe bis 6,3 m Tiefgang in einer Tide bis Bremen gelangen. Eine weitere Vertiefung bis 7,5 m bei Hochwasser ist geplant.

Der Ausführung verdankt Bremen seinen großartigen Aufschwung; ohne dieses bedeutsame Werk wäre es wahrscheinlich eine Mittelstadt von geringer Bedeutung geblieben, jetzt wird es als Seehafen in Deutschland nur noch von Hamburg übertroffen.

3. Die Seine. Besonders lehrreich sind die bei dem weniger gut gelungenen Ausbau der Seinemündung gemachten Erfahrungen. Der Fluß ist 770 km lang. Davon entfallen etwa 120 km auf das bis 19 km oberhalb Rouen reichende Flutgebiet (Abb. 126). Die Flußwassermenge schwankt zwischen 2500 cbm/sek bei Hochwasser und 200 cbm/sek bei Niedrigwasser. Der Flutwechsel ist je nach der Stellung der Gestirne sehr verschieden; er beträgt bei Le Havre 6,8 m bei Springflut und nur 3,5 m bei Nippflut. Die Sinkstoffführung des Flusses ist nicht übermäßig groß, dagegen finden an der Mündung erhebliche Wanderungen von Seesand statt, so daß der Fluttrichter südlich Le Havre voller Sand-

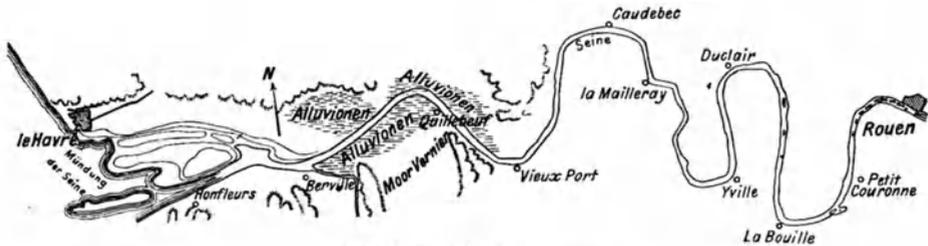


Abb. 126. Seinemündung.

bänke und Barren ist. Dieser Umstand, die wechselnden Tiden, das starke Gefälle und die scharfen Krümmungen des Flusses sind sehr ungünstig für den Verlauf der Flutwelle; es trat daher früher die Mascaret auf, die besonders oberhalb Quilleboef die Schifffahrt gefährdete.

Vor dem Ausbau war die Strecke unterhalb La Mailleray sehr unregelmäßig, in der Gegend von Quilleboef betrug die Tiefe bei Nippflut nur 1,75 m.

Die Verbesserung der Mündungsstrecke wurde von 1848 bis 1866 durchgeführt. Man beschränkte sich darauf, Leitdämme zwischen Caudebec und Berville herzustellen und die obere Strecke bis Rouen zu regulieren. Die bedeutendsten Hindernisse wurden durch Baggerung beseitigt. Der Abstand der Dämme beträgt zwischen Caudebec und Quilleboef 300 m und nimmt bis Berville auf 530 m zu. Sie reichen bis über das mittlere Hochwasser bei Springflut; eine Trennung zwischen Hochwasser- und Niedrigwasserbett ist nicht vorgenommen worden.

Die Weite zwischen den Leitdämmen ist nach jetziger Anschauung für die Verhältnisse des Fluttrichters viel zu gering bemessen. Es kann daher nicht genügend viel Flutwasser in den mittleren und oberen Teil der Mündungsstrecke eintreten; die Flutwelle läuft dort wie in einem Kanal entlang, sie bewirkt zwar in dem engen Teile genügende Spülungen, aber die Wassermenge ist nicht ausreichend, um beim Zurückfluten auch den weiten Mündungstrichter zu räumen. Das Flutintervall scheint in Rouen sogar nachgelassen zu haben; es beträgt dort jetzt nur noch 0,8 m. Die Ergebnisse des Ausbaues sind folgende: Die Untiefen im mittleren Teile der Flußstrecke und die Mascaret sind verschwunden. Anfangs war auch eine Vertiefung der ganzen Flutstrecke von Le Havre bis Rouen eingetreten, nach und nach nahmen aber infolge der fort-

schreitenden Verlandung der hinter den Leitdämmen verbliebenen Wasserflächen die für die Spülung der unteren Flutstrecke wirksamen Wassermengen ab. Daher sind die Verhältnisse in der Mündung allmählich wieder schlechter geworden¹⁾. Im mittleren und oberen Teil des Flutgebietes haben die Tiefen sich gehalten. Man hat nun die Mündungsstrecke durch die Erbauung eines Seekanals vom Innenhafen zu Le Havre nach dem an der Seine gelegenen Ort Tancarville umgangen. Dadurch ist erreicht worden, daß jetzt bei Springflut Schiffe von 7 m Tiefgang und bei Nippflut noch solche von 5,6 m Tiefgang bis Rouen gelangen können. Die Entwicklung dieses Hafens hat jedoch in neuerer Zeit die Notwendigkeit einer weiteren Vertiefung des Fahrwassers ergeben; es ist daher beschlossen worden, die untere Seine einschließlich der Mündungsstrecke so auszubauen, daß Schiffe von 8 m Tiefgang jederzeit verkehren können²⁾; die Arbeiten wurden 1913 begonnen.

Viertes Kapitel.

Seeschifffahrt.

15. Abschnitt. Schiffahrtsbetrieb.

A. Entwicklung der Seeschifffahrt.

1. Geschichtliches.³⁾ Die Anfänge der Seeschifffahrt reichen bis in die frühesten Zeiten zurück, von denen die Geschichte uns Kunde gibt. Freilich hat es viele Jahrhunderte gedauert, bis sich aus der ursprünglichen Küstenschifffahrt die eigentliche Seeschifffahrt entwickelt hat.

Als älteste seefahrende Völker gelten die Chinesen, Ägypter und Phönizier. Von letzteren steht fest, daß sie nicht nur das Mittelländische Meer befuhren, sondern auch ihre Reisen über den Meerbusen von Biscaya nach Gallien, über das Ärmelmeer nach Britannien und über die Nordsee nach Holstein und Dänemark ausdehnten. Angeblich sind sie auch bis in die Ostsee gekommen, wo sie Bernstein von der ostpreußischen Küste geholt haben sollen. Um das Jahr 600 v. Chr. sollen sie sogar vom Roten Meere aus in 3 Jahren eine Umsegelung Afrikas ausgeführt haben. Diese ohne die jetzigen nautischen Instrumente und wahrscheinlich auch ohne Kenntnis der für die Ortsbestimmung grundlegenden astronomischen Verhältnisse unternommenen Seefahrten müssen als außerordentlich kühne Taten gewürdigt werden.

Nach der Zerstörung von Tyrus durch Alexander den Großen kamen die Ergebnisse der phönizischen Forschungsreisen zum Teil wieder in Vergessenheit. Die Seeschifffahrt beschränkte sich hauptsächlich auf das Mittelländische Meer; die bedeutendsten Anteile an der Seeherrschaft hatten nacheinander die Griechen, Karthager und Römer.

Die Schiffbaukunst dieser Völker war bereits hoch entwickelt. Nach den uns überkommenen Beschreibungen muß man annehmen, daß Schiffe bis über

¹⁾ Ludwig Franzius hat diese Entwicklung richtig vorausgesehen; vgl. Handbuch d. Ingenieurwissenschaften, 2. Auflage (1884), Band 3.

²⁾ Vgl. Deutsche Bauzeitung 1913, Nr. 67.

³⁾ Vgl. Voisin-Bey, Die Seehäfen Frankreichs, deutsch von Georg Franzius.

1000 Tonnen Wasserverdrängung gebaut worden sind. Der Tiefgang scheint jedoch das Maß von 2 m nicht wesentlich überschritten zu haben. Der Gebrauch der Segel war schon den Phöniziern bekannt. Die Fortbewegung der Kriegsschiffe erfolgte jedoch hauptsächlich durch Ruderer, von denen bis zu 300 auf den großen Galeeren gleichzeitig tätig waren. Die aus den überlieferten Bezeichnungen (z. B. Trireme oder Triere) entstandene Annahme, daß die Rudersitze in mehreren Reihen übereinander angeordnet gewesen seien, dürfte kaum den Tatsachen entsprechen, weil die Riemen der obersten Reihen hätten zu lang und zu schwer sein müssen.

Als Hafенplätze dienten im Altertum vorwiegend die gegen Seegang geschützten natürlichen Buchten und Strommündungen; aber auch die Herstellung künstlicher Hafendämme unter Verwendung von Schüttsteinen unter Wasser und von behauenen Blöcken über Wasser war bereits üblich. Vitruv berichtet sogar von Betonmauern, die unter Wasser hergestellt wurden, indem man ein Gemisch von Steinbrocken, Kalk und Puzzolan zwischen Holzwände schüttete; letztere wurden nach Erhärtung der Schüttung wieder entfernt. Plinius der Jüngere beschreibt auch das Verstürzen großer Steinblöcke zum Schutze von Hafendämmen, ähnlich wie es noch heute geschieht. Die bedeutendsten Hafенplätze des Altertums waren Tyrus, Alexandria, Karthago, Athen und Ostia.

Wie die meisten Kulturerrungenschaften, so kam auch die Seeschiffahrt mit dem Ausgang des Altertums in Verfall. Die alten Handelsflotten verschwand, an ihre Stelle traten im frühen Mittelalter die für Beutefahrten bestimmten Wikingerschiffe der Goten und besonders der Normannen. Letztere fanden Island, Grönland und Nordamerika auf in den Jahren 998 und 1000. Erst im 11. und 12. Jahrhundert begann ein neuer Aufschwung, der zum Teil auf die Berührung der Völker des Westens mit denjenigen des Ostens während der Kreuzzüge zurückzuführen ist. Die italienischen Städte Venedig und Genua zogen den Seehandel im Mittelmeere an sich und erlangten dadurch Macht und Reichtum; auch in den westeuropäischen Staaten begann im 13. Jahrhundert die Seeschiffahrt aufzublühen. Im Jahre 1241 wurde der Hansabund gegründet. Bis dahin war bei den unsicheren politischen Verhältnissen der Seeraub so allgemein verbreitet gewesen, daß ein ausgedehnter Handelsverkehr nicht möglich war; unter dem Schutze des mächtigen Städtebundes gelangte der Seehandel zwischen den deutschen, skandinavischen, russischen, holländischen, englischen und französischen Hafенstädten bald zu hoher Blüte. Eine früher ungeahnte Entwicklung erhielt der Seeverkehr jedoch erst durch die großen Entdeckungen der romanischen Völker. 1492 hatte Kolumbus zum ersten Male den Atlantischen Ozean durchquert und den amerikanischen Erdteil erreicht; 1497 vollendete Vasco de Gama die angeblich schon von den Phöniziern vollbrachte, aber in Vergessenheit geratene Umsegelung Afrikas und fand einen Seeweg nach Ostindien. 1519—1521 gelangte Magelhaens um die Südspitze Amerikas herum in den Großen Ozean; er selbst fand auf den Philippinen den Tod, sein Schiff aber vollendete die erste Umsegelung der Erde. Damit waren alle wichtigen Meere dem Weltverkehr erschlossen.

Nach dem Verschwinden der Galeeren gab es bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts nur Segelschiffe; im Jahre 1807 wurde das erste praktisch brauchbare Dampfschiff, der „Clermont“, von Robert Fulton in New York erbaut und auf dem Hudson verwendet. Mehrere andere Erfinder, unter denen besonders Papin und Jouffroy zu nennen sind, hatten sich bereits vorher, jedoch ohne rechten Erfolg, um die Herstellung eines Dampfschiffes bemüht. Die erste Überfahrt über den Atlantischen Ozean machte im Jahre 1818 der Dampfer „Savannah“ von Savannah nach Liverpool in 26 Tagen. Als Fortbewegungsmittel hatten die ersten Dampfer Schaufelräder; die Einführung der Schiffschraube erfolgte 1836 durch den Engländer Smith; nachdem schon vorher

Ressel in Triest erfolgreiche Versuche damit angestellt hatte. Jetzt sind die Raddampfer auf den Meeren fast ganz von den Schraubendampfern verdrängt. Die Bemühungen, die Reaktionswirkung eines Wasserstrahles zur Schiffsbewegung zu benutzen, sind in der Seeschifffahrt erfolglos geblieben.

Der Anteil der Dampfer an der Weltflotte ist seit Mitte des 19. Jahrhunderts immer mehr gestiegen, derjenige der Segler zurückgegangen; letztere überwiegen jetzt nur noch in der Klein- und Küstenschifffahrt. Die in neuerer Zeit unternommenen Versuche, große Segelschiffe für bestimmte, weniger wertvolle überseeische Massenfrachten einzuführen, scheinen über gewisse Anfangserfolge nicht hinauszukommen.

Von den Schiffsmaschinen für Seedampfer ist bisher die Kolbendampfmaschine am weitesten verbreitet. Neuerdings wird jedoch bei Großschiffen auch die Dampfturbine mit gutem Erfolge benutzt. Die Verwendung von Explosionsmotoren für Seeschiffe ist noch in den Anfängen; von ihnen scheint der Dieselmotor am besten geeignet zu sein.

2. Steigerung der Größe und des Tiefganges von Seeschiffen in neuerer Zeit.

Die Fortschritte der Technik und das Anwachsen des Weltverkehrs haben neuerdings die Abmessungen der Seeschiffe ins Riesenhafte gesteigert. Die Kenntnis der Schiffsgrößen und des Tiefganges ist für die Ausgestaltung der Häfen von großer Wichtigkeit. Eine Übersicht über die Entwicklung der Seeschiffsabmessungen von 1848 bis 1911 geben nachstehende Tabellen¹⁾, in denen jedoch der im Jahre 1860 in Betrieb genommene Riesendampfer Great-Eastern als einzelne Ausnahme seiner Zeit unberücksichtigt geblieben ist (vgl. Abb. 127).

I. Übersicht über die Entwicklung aller Handelsseedampfer der Weltflotte mit mehr als 100 Tonnen Brutto-Raumgehalt.

Jahr	Anzahl	Gesamter Brutto-Raumgehalt in Reg.-To.	Durchschnittl. Brutto-Raumgehalt in Reg.-To.
1848	242	74 700	310
1873	5 148	4 328 193	841
1881	6 399	6 745 193	1055
1885	8 274	10 166 819	1229
1890	9 638	12 825 709	1330
1895	10 896	16 338 513	1499
1900	12 289	21 787 600	1773
1905	14 018	28 369 140	2024
1910/11	15 652	34 648 866	2214

II. Übersicht über die Entwicklung der größten Seedampfer der Weltflotte.

Jahr	Durchschnittl. Abmessungen der 20 größten Handelsdampfer				Wirkliche Abmessungen der einzeln.größt.Handelsdampf.				Wirkliche Abmessungen der einzelnen größten Kriegsschiffe			
	Brutto-Raumgehalt in Reg. To.	Länge in m	Breite in m	Tiefgang in m	Brutto-Raumgehalt in Reg. To.	Länge in m	Breite in m	Tiefgang in m	Wasser-verdrängung in t	Länge in m	Breite in m	Tiefgang in m
1848	525	70	11,0	5,8	1 133	76	9,1	6,4	—	—	—	—
1873	4 407	119	13,7	7,3	5 349	125	14,6	7,0	—	—	—	—
1880/81	4 934	140	13,7	7,3	5 490	133	15,2	7,3	—	—	—	—
1885	—	—	—	—	8 144	173	15,9	9,1	13 851	122,0	22,2	9,5
1890/91	7 977	154,5	16,5	8,2	10 499	173	19,2	9,4	14 150	125,2	23,4	8,6
1895	9 285	162,4	17,7	8,7	12 952	183	19,8	9,37	14 900	146,3	23,4	8,7
1900	12 411	171,9	19,2	9,1	14 349	209	20,7	9,9	15 200	152,4	24,3	8,7
1905	15 861	187,4	20,4	10,2	24 000	216	23,0	11,6	17 900	149,3	25,0	8,7
1910/11	28 018	221,0	24,4	10,7	50 000	270	29,3	11,8	22 000 32 000	201,0 221,0	27,0 29,9	9,0 8,7

¹⁾ Nach E. L. Corthell, Abmessungen der Seekanäle mit Rücksicht auf die mutmaßlichen Größenverhältnisse zukünftiger Seeschiffe. Bericht zum XII. internationalen Schifffahrtkongress in Philadelphia 1912.

Eine besonders klare Vorstellung von dem Anwachsen der größten Seeschiffe gibt Abb. 127; darin sind die Zeiten der Erbauung als Abszissen nach rechts, die Schiffslängen als Ordinaten nach oben, Breite und Tiefgang als Ordinaten nach unten aufgetragen. In die Längenordinaten sind die wahren Grundrißformen der jeweilig größten Schiffe eingezeichnet. Die Kurven veranschaulichen den mittleren Gang der Entwicklung¹⁾. Nach dem Gesetz des stetigen Fortschrittes kann man schließen, daß die Zunahme der Schiffsgrößen noch längst nicht abgeschlossen ist; eine Grenze wird aber schließlich doch erreicht werden, nicht nur wegen der großen Bauschwierigkeiten, sondern auch wegen der

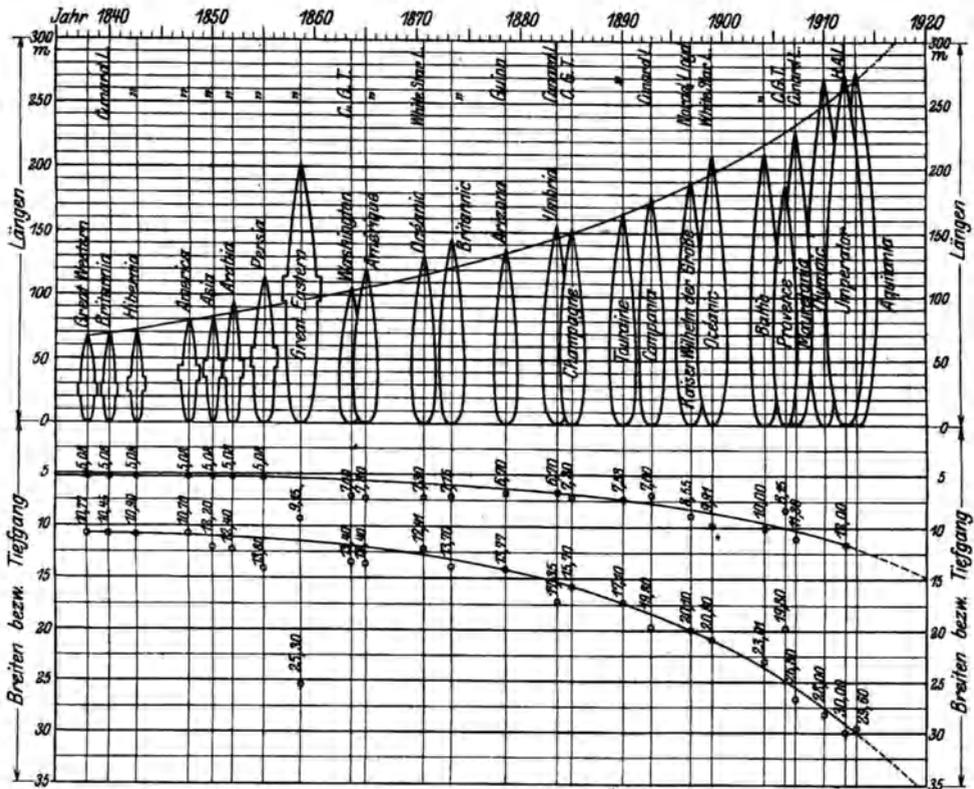


Abb. 127. Größenzunahme der größten Seeschiffe.

Schwerfälligkeit der Riesenschiffe im engen Fahrwasser, wegen der immer schwieriger werdenden Schaffung und Erhaltung genügender Tiefen in Häfen und Strommündungen und nicht zuletzt aus wirtschaftlichen Gründen.

Die in Abb. 127 angeführten Schiffe sind aber als Ausnahmen anzusehen; die überwiegende Mehrzahl ist, wie sich bereits aus den Tabellen ergibt, von weit geringeren Abmessungen. Über die Verteilung der Schiffsgrößen gibt der Verkehr im Suezkanal ein zutreffendes Bild. Von allen Schiffen, welche den Kanal durchfahren, hatten einen Tiefgang von mehr als 7,5 m im Jahre 1890: 4,3 %; 1895: 6,7 %; 1900: 11,7 %; 1905: 17,2 %.

Im Jahre 1910 hatten nur 5,7 % einen Tiefgang von mehr als 8 m; 3,9 %

¹⁾ Die Darstellung stammt von Georges Hersent, Paris. Abb. 127 ist einem Vorbilde in F. W. O. Schulze, Seehafenbau I, nachgebildet; vervollständigt vom Verfasser durch Eintragen der neuesten Riesendampfer seit 1908.

waren 130—150 m und nur 0,5 % über 150 m lang¹⁾. Aus diesen Angaben ist gleichfalls zu ersehen, daß der Anteil der großen Schiffe an der Gesamtzahl ständig zunimmt.

B. Grundzüge der Nautik.

1. Hilfsmittel zum Zurechtfinden auf See. Der Aufschwung der Seeschifffahrt am Ende des Mittelalters steht im engsten Zusammenhang mit der Vervollkommnung der Karten und nautischen Instrumente und mit dem Ausbau der astronomischen Wissenschaft.

Die Lage einzelner Punkte auf der Erdoberfläche wird bekanntlich mittels des aus den Parallelkreisen einerseits und den Meridianen andererseits gebildeten Koordinatensystemes bezeichnet. Die maßstäbliche Darstellung der Erdoberfläche ist in der Ebene eines Kartenblattes wegen der Kugelform der Erde nicht möglich, man muß sich daher mit Projektionsdarstellungen begnügen. Von den verschiedenen Arten der Kartenprojektionen ist für die Seeschifffahrt die von Mercator angegebene am besten geeignet. Sie besteht darin, daß die Erdoberfläche durch vom Erdmittelpunkte ausgehende Strahlen auf eine Zylinderfläche projiziert wird, die die Erde im Äquator berührt (Abb. 128). Die Zylinderfläche wird dann in die Kartenebene abgerollt. Die Breitenkreise und die Meridiane erscheinen dabei als sich senkrecht schneidende gerade Linien; während letztere gleichen Abstand haben, werden die Breitenkreise nach den Polen zu immer weiter. Da der Abstand zweier um 1 Grad verschiedener Längengrade in der Breite φ gleich 1 Äquatorgrad $\times \cos \varphi$ ist, so werden die Längen bei der Mercatorschen Darstellung

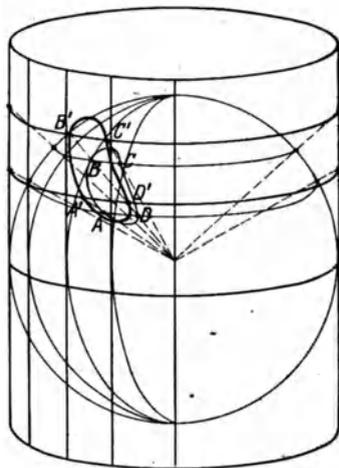


Abb. 128. Mercatorprojektion.

vergrößert im Verhältnis $\frac{1}{\cos \varphi}$; weil aber die Neigung eines Meridianelementes

gegen seine Projektion in der Zylinderfläche gleich dem Breitenwinkel φ ist, so sind die Breitendarstellungen ebenfalls im

Verhältnis $\frac{1}{\cos \varphi}$ vergrößert. Daher werden

die Elemente der Erdoberfläche ähnlich dargestellt, obwohl der Maßstab der Karte mit zunehmender Breite immer größer wird. Die Mercatorprojektion ist daher winkeltreu und hat den großen Vorzug, daß die Kurslinien (Richtungen der Windrose) auf der Karte als gerade Linien erscheinen. Die durch die Projektion vergrößerten Breiten sind als Meridionalteile in den nautischen Tafeln angegeben, und zwar nach Äquatorminuten gemessen.

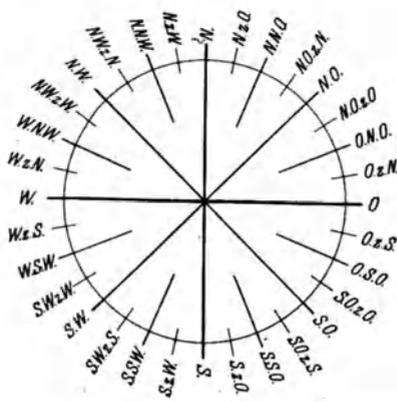


Abb. 129. Windrose.

¹⁾ Nach G. de Thierry, Abmessungen der Seekanäle usw.; Bericht zum XII. internationalen Schiffahrtskongreß in Philadelphia 1912.

Der Horizont wird auf See durch die sogenannte Windrose in 32 Himmelsrichtungen (Kompaßstriche) geteilt (vgl. Abb. 129). Die aus der Abbildung ersichtlichen Abkürzungen sind für den nordöstlichen Quadranten wie folgt zu lesen: Norden, Norden zum Osten, Nordnordost, Nordosten zum Norden, Nordosten, Nordosten zum Osten, Ostnordost, Osten zum Norden, Osten. Durch weitere Unterteilung in halbe Striche erhält man 64 Himmelsrichtungen, nämlich: N, N $\frac{1}{2}$ O, NzO, NNO $\frac{1}{2}$ N, NNO, NNO $\frac{1}{2}$ O, NOzN, NO $\frac{1}{2}$ N, NO usw. Gewöhnlich wird die Teilung bis zu Viertelstrichen fortgesetzt.

Von grundlegender Bedeutung war für den Seefahrer die Einführung des Kompasses. Erst dadurch wurde es ihm möglich, auch bei trübem Wetter auf hoher See die Himmelsrichtungen zu erkennen. Die Erfindung dieses

wichtigen Instrumentes wird den Chinesen zugeschrieben; in Europa soll es zuerst durch den italienischen Lotsen Flavio Gioja aus Amalfi angewendet worden sein.

Der magnetische Kompaß besteht nach Abb. 130 aus einer drehbar gelagerten Scheibe r mit darauf gezeichneter Windrose, die infolge der richtenden Kraft der mit ihr verbundenen Stabmagnete n stets sich selbst parallel verbleibt, wie auch das Schiff sich wenden mag. Damit die Scheibe sich möglichst leicht und frei drehen kann, schwebt sie mittels eines Hütchens st aus hartem Edelstein auf einem scharfen senkrechten Stahlstift p, Pinne genannt. Der Drehpunkt wird über dem Schwerpunkt des drehbaren Teiles angeordnet, damit durch die Lotwirkung die Schiefstellung infolge der Inklination der Magnetnadel vermieden wird. Zum Schutze gegen Beschädigungen ist die Scheibe in ein oben offenes Gefäß, den Kompaßkessel, gesetzt, auf dessen Boden die Pinne

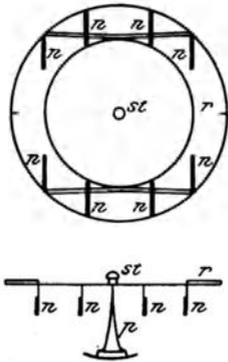


Abb. 130.
Trockenkompaß von
Hechelmann.

befestigt ist. Das Ganze ist kardanisich gelagert, damit der Einfluß der Schiffschwankungen möglichst herabgemindert wird. Die Längsaxe des Schiffes ist durch einen Strich am Rande des Kompaßkessels gekennzeichnet; das Schiff fährt also in der Richtung, die dieser Strich auf der Windrose abschneidet.

Der magnetische Kompaß wird heute vornehmlich in zwei Formen ausgeführt, nämlich entweder als Trockenkompaß oder als Schwimmerkompaß (Fluidkompaß). Der drehbare Teil eines Trockenkompasses muß sehr leicht sein, damit seine Empfindlichkeit nicht durch die Lagerreibung beeinträchtigt wird. Bei der Anordnung von Hechelmann, Abb. 130,

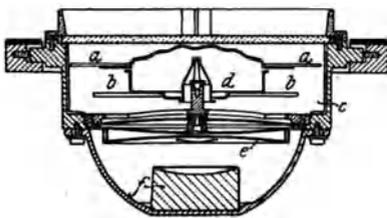


Abb. 131. Fluidkompaß von Bamberg.

werden anstatt eines einheitlichen Magneten 8 feine parallele Magnetnadeln n auf einem Netz von Seidenfäden, das die Scheibe bildet, so angeordnet, daß sie möglichst gleichmäßig auf den Scheibenrand verteilt sind. Gegenüber einem einheitlichen Stabmagneten wird dadurch bei gleichem Richtmoment das Trägheitsmoment vergrößert, sodaß der Kompaß bei Schwankungen des Schiffes weniger leicht um die Nordrichtung pendelt.

Als Beispiel eines Schwimmerkompasses sei der „Fluidkompaß“ von Bamberg angeführt (Abb. 131).¹⁾ Die Scheibe a nebst dem Magneten b ist in eine ganz mit achtzigprozentigem Alkohol gefüllte Kammer c gestellt und mit dem luftgefüllten Schwimmer d verbunden. Der Auftrieb des letzteren

¹⁾ Entnommen aus Lueger, Lexikon der gesamten Technik.

gleich das Gewicht des beweglichen Teiles nahezu aus, es können daher schwere und kräftige Magnete verwendet werden, ohne daß dadurch die Lagerreibung erheblich wird. Der Widerstand der Flüssigkeit erschwert zugleich das Pendeln des Kompasses, beeinträchtigt aber nicht seine Empfindlichkeit. *e* ist ein elastischer Doppelboden, der sich so dehnt, daß kein Hohlraum über der Flüssigkeit entstehen kann. *f* ist ein Grundgewicht, welches das kardanisch aufgehängte Kompaßgehäuse in senkrechter Lage erhält.

Da die magnetischen Pole der Erde nicht mit den geographischen Polen übereinstimmen, so weicht der Kompaßnorden an verschiedenen Stellen der Erde verschieden weit vom wahren Norden ab. Man nennt diese Abweichung, deren Ursache zuerst von Kolumbus erkannt wurde, die Deklination oder Mißweisung des Kompasses. Sie wird im einzelnen auch durch die Gestalt (Flachsee, Tiefsee, Inseln) und durch die geologische Beschaffenheit der Erdoberfläche beeinflusst, außerdem erfährt sie infolge Änderung der magnetischen Zustände der Erde geringe periodische Schwankungen. Die für jede Gegend bestehende Mißweisung ist auf den Seekarten angegeben; dabei darf aber nicht vergessen werden, daß sie sich mit der Zeit ändert, und zwar in 10 Jahren um etwa 1°.

Außerdem wird der Kompaß noch durch die magnetische Beschaffenheit des Schiffskörpers abgelenkt; man nennt diese Erscheinung die Deviation. Sie ist besonders stark auf eisernen Schiffen und wechselt, wenn Ladungen mit verschiedenem Eisengehalt aufgenommen werden. Auf Kriegsschiffen werden die Kompassse schon durch das Ausschwenken der schweren Geschütze beeinflusst. Die Deviation wird durch Anbringung kleiner Magnete und Stahlkugeln in der Nähe des Kompasses nach Möglichkeit ausgeglichen (Kompensation des Kompasses), außerdem wird durch Versuche eine Deviationstabelle aufgestellt, die die Abweichung für jede Lage des Schiffes angibt.

Da die Deviation um so geringer ist, je höher der Kompaß steht, so wendet man auf großen Eisenschiffen einen sehr hoch stehenden, mit Visiervorrichtung versehenen und daher für feinere Richtungsbestimmungen geeigneten sogenannten Peilkompaß an, mit dem die in den Ruderhäusern aufgestellten Steuerkompassse von Zeit zu Zeit verglichen werden.

Neuerdings ist, namentlich auf Kriegsschiffen, auch der von den wechselnden magnetischen Einflüssen unabhängige Kreiselkompaß von Anschütz-Kämpfe¹⁾ eingeführt worden. Er beruht auf der bereits von Foucault

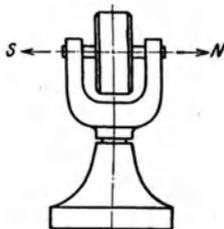


Abb. 132. Modell des Kreiselkompasses.

erkannten Tatsache, daß eine in senkrechter Ebene sehr schnell rotierende Scheibe, die in einer drehbaren Gabel gelagert ist, das Bestreben hat, ihre Achse in die Meridianebene zu stellen (Abb. 132). Die Ursache ist die Umfangsgeschwindigkeit der Erde; denn nach

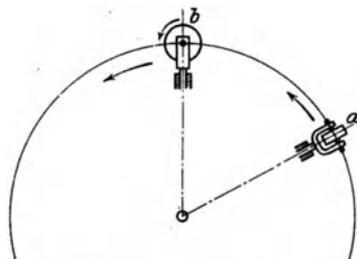


Abb. 133. Wirkungsweise des Kreiselkompasses.

den Kreiselgesetzen geht die rotierende Scheibe, wenn sie nach Abb. 133 auf einem Kreise bewegt wird, aus der Stellung *a* in die Stellung *b* über, d. h. sie stellt ihre Rotationsebene in die Ebene des Kreises ein. Der Kreisel des Anschützchen Kompasses wird durch einen kleinen Elektromotor angetrieben; er macht in einer Minute 20 000 Umdrehungen. Zwecks leichter Horizontal-

¹⁾ Vgl. „Der Kreiselkompaß“ von Max Buchwald, Prometheus 1912.

beweglichkeit ist er durch einen in Quecksilber gelagerten Schwimmer entlastet. In den Polargegenden, etwa vom 70. Breitengrade ab, wird dieser Kompaß unzuverlässig, im übrigen hat er sich gut bewährt. Er ist aber so teuer, daß er nur in besonderen Fällen benutzt wird.

Zur Messung der Schiffsgeschwindigkeit dient das Log. Dies besteht in seiner einfachsten Form aus einem dreieckigen Brett (Abb. 134), das an einer in 3 Stränge endigenden Leine befestigt ist. Der gebogene Rand ist mit Blei beschwert, damit das Logbrett im Wasser senkrecht steht. Wird das Brett ausgeworfen, so findet es im Wasser großen Widerstand, es bleibt daher fast an seiner Stelle, während die Logleine sich von einer Trommel abwickelt. Die Leine, die ein Matrose durch die Hand gleiten läßt, ist durch Knoten in eine Anzahl gleicher Abschnitte geteilt. Ein anderer Mann hält eine gewöhnlich 14 Sekunden laufende Sanduhr, die

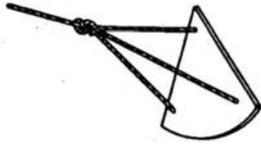


Abb. 134. Brettlog.

er durch Umkippen in Gang setzt, sobald der erste Knoten abläuft; der Mann an der Leine hat nun die Anzahl der durch seine Hand gleitenden Knoten zu zählen, bis der andere ihm von dem Ablauf der Sanduhr durch Zuruf Kenntnis gibt. Aus der Anzahl der Knoten und der Länge der Leinenabschnitte läßt sich die Schiffsgeschwindigkeit bestimmen. Die Entfernungen auf See mißt man wegen der für die Orts- und Kursbestimmung erforderlichen Umrechnung in Winkelmaß nicht nach Kilometern, sondern nach Seemeilen auf Eine

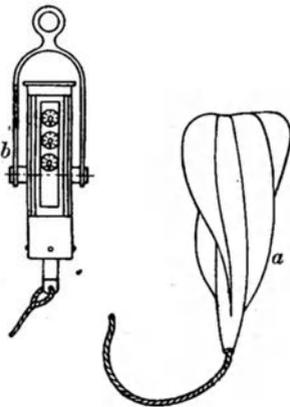


Abb. 135. Patentlog.

Seemeile ist die Länge eines auf einem größten Kugelkreise der Erdoberfläche gemessenen Bogenabschnittes, der zu dem Zentriwinkel $1'$ gehört. Diese Bogenlänge ist im Mittel = 1852 m. Die Einteilung der Logleine wird gewöhnlich so gewählt, daß die Zahl der in 14 Sekunden abgelaufenen Knoten sogleich die in einer Stunde zurückgelegten Seemeilen angibt. Da die Seemeile 1852 m hat, so berechnet sich die Knotenentfernung zu 7,2 m.

Von dem soeben beschriebenen Vorgange rührt der Ausdruck her, ein Schiff läuft x „Knoten“, d. h. x Seemeilen in der Stunde.

Neuerdings bevorzugt man an Stelle des Brettloges das sogenannte Patentlog. Dieses besteht aus einem an einer langen Leine geschleppten, mit Schraubenflächen versehenen Körper a (Abb. 135), der sich infolge des Wasserwiderstandes dreht. Die Drehungen werden durch die Leine an ein auf dem Hinterschiff aufgestelltes Zählwerk b übertragen. Das Übersetzungsverhältnis ist so gewählt, daß ein Zeiger an einer Teilung den Schiffsfortschritt in Seemeilen anzeigt.

Für die moderne Dampfschiffahrt ist das Log nicht mehr so wichtig wie für die Segelschiffahrt, weil die zu einer bestimmten Maschinenleistung und Ladetiefe gehörige Schiffsgeschwindigkeit meistens ein für allemal bekannt ist.

2. Die Orts- und Kursbestimmung¹⁾. Die Bestimmung des Schiffsortes erfolgt auf hoher See einerseits durch Kompaß und Log (Gegißtes Besteck) andererseits durch astronomische Beobachtung zwecks Feststellung des Höhen- und Zeitunterschiedes (Wahres Besteck). Beide Verfahren ergänzen sich gegenseitig in der Weise, daß durch das Wahre Besteck von Zeit zu Zeit der Schiffsort unabhängig von früheren Beobachtungen bestimmt wird, während durch das Gegißte Besteck dauernd die Schiffsbewegungen in der Zwischenzeit überwacht werden.

¹⁾ Vgl. Dr. Franz Schulze, Nautik.

Gegißtes Besteck. Das Gegißte Besteck, auch terrestrische Navigation genannt, ist eine maßstäbliche Darstellung der Schiffsbewegung nach Größe und Richtung. Man zeichnet auf der Seekarte vom Ausgangspunkt der Reise ab die vom Kompaß angegebene Fahrtrichtung ein und trägt auf dieser die in regelmäßigen Zeitabschnitten durchlaufenen Strecken, die aus der Fahrgeschwindigkeit berechnet werden, ab. Bei jeder Kursänderung ist die neue Fahrtrichtung zu vermerken. Der Kompaßkurs ist natürlich durch Berücksichtigung der Mißweisung, der Deviation und etwaiger Abdrift durch Wind oder Strömung zum wahren Kurs zu berichtigen. Man erhält auf diese Weise in Form eines Polygons einen Kursplan, der den Schiffsort jederzeit erkennen läßt. Dieses Verfahren ist besonders wichtig, wenn häufige Kursänderungen nötig werden, wie z. B. beim Manövrieren der Kriegsschiffe und beim Kreuzen der Segler.

Beim Gegißten Besteck kann eine neue Angabe nur auf Grund übernommener Ortsangaben gemacht werden; etwaige Fehler werden dabei mit übernommen und können nicht entdeckt werden. Daher ist es erforderlich, daß die Ergebnisse des Gegißten Bestecks von Zeit zu Zeit mit Hilfe des Wahren Bestecks nachgeprüft werden. In der Nähe der Küsten erfolgt die Kontrolle am einfachsten durch die auf S. 5 u. 6 erwähnte Kreuzpeilung.

Zur rechnerischen Ortsbestimmung nach dem Gegißten Besteck benutzt man das sogenannte Kursdreieck (Abb. 136). Die durchfahrene Ent-

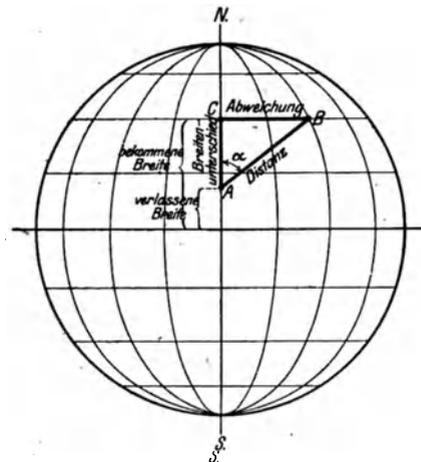


Abb. 136. Das Kursdreieck.

fernung von einem Ort zum andern, die sogenannte Distanz, ist durch die geographische Länge und Breite der beiden Orte bestimmt; die „verlassene“ Länge und Breite bezeichnet den Ausgangspunkt, die „bekommene“ Länge und Breite den erreichten Schiffsort. Maßgebend für die Ortsbestimmung ist der „Breitenunterschied“ und der „Längenunterschied“. Da das Log die Distanz in Längenmaß angibt, so ist es zweckmäßig, auch die „Unterschiede“ zunächst nicht in Graden und Minuten, sondern in nach Seemeilen gemessenen Bogenlängen auszudrücken. Bei der Umrechnung in Winkelmaß besteht eine Verschiedenheit zwischen der Wertigkeit der Breitengrade und der Längengrade. Ersteren entsprechen an allen Stellen der Erdkugel gleiche Bogenlängen, während die zu letzteren gehörigen Bogen wegen des Zusammenlaufens der Meridiane nach den Polen hin mit zunehmender Breite immer kleiner werden. Man führt daher für den in Seemeilen gemessenen Längenunterschied den Begriff der „Abweichung“ oder „Abweitung“ ein. Weil der Radius r' des Breitenkreises, auf dem die Abweichung gemessen wird, gleich $r \cos \varphi$ ist, wenn r den Radius des Äquatorkreises und φ den Breitenwinkel bezeichnet, so ist die Abweichung gleich dem durch den Längenunterschied bestimmten Äquatorbogen mal Kosinus der Breite. Mittels dieser Beziehung läßt sich das Längenmaß der Abweichung leicht in das Winkelmaß des Längenunterschiedes umrechnen und umgekehrt.

Aus dem durch den Kompaß gegebenen Kurswinkel und der nach dem Log ermittelten Distanz ergibt sich der Breitenunterschied und die Abweichung, und zwar bei kleineren Distanzen nach den Regeln der ebenen Trigonometrie. Ist c die in Abb. 136 dargestellte Distanz und α der Kurswinkel, so ist der Breitenunterschied $b = c \cdot \cos \alpha$ und die Abweichung $a = c \cdot \sin \alpha$. Das Bogenstück b ist unmittelbar, die Abweichung a jedoch erst nach Division durch

den Kosinus des aus verlassener und bekommener Breite gemittelten Breitenwinkels φ , in Winkelmaß zu nehmen, alsdann sind die beiden Stücke zur verlassenen Breite bzw. Länge mit richtigem Vorzeichen zu addieren; dadurch ergibt sich die bekommene Breite und Länge.

Hat das Schiff mehrere Kurse gehabt, z. B. beim Kreuzen der Segelschiffe, so wird ein sogenannter Koppelkurs berechnet, d. h. es werden die einzelnen Breitenunterschiede und Abweichungen summiert und aus den beiden Summen werden die bekommenen Breiten und Längen berechnet. Zur Erleichterung des Verfahrens hat man Tabellen, sogenannte Koppeltafeln, eingeführt.

Das ebene Kursdreieck ist wegen der Kugelgestalt der Erde an sich nur für kleinere Distanzen anwendbar; es kann aber mit Hilfe der Merkator-

projektion auch für große Entfernungen benutzt werden, wenn man die wahren Breiten umrechnet in die „vergrößerten Breiten“, deren Entstehung auf S. 99 beschrieben wurde. Letztere sind durch die Meridionalteile im Nautischen Jahrbuch angegeben. Wenn die Distanzlinie alle Meridiane unter demselben Kurswinkel schneidet, so wird sie eine loxodromische Kurve; die kürzeste Verbindung des Ausgangs- und Endpunktes einer Reise ist dagegen die orthodromische Linie, nämlich der durch die beiden Punkte gehende größte Kugelkreis, der jeden Meridian unter einem andern Winkel schneidet (vgl. Abb. 137). Soll in letzterem gefahren werden, so muß der Kurs ständig gewechselt werden. Bei sehr großen Entfernungen weichen Loxodrome und größter Kugelkreis erheblich voneinander ab; bei einer

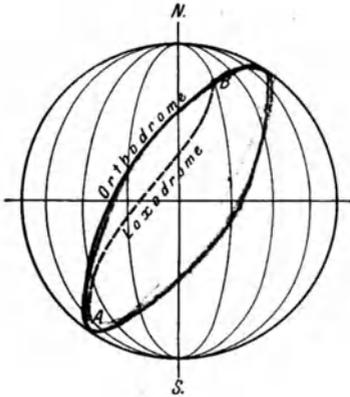


Abb. 137. Loxodromische und orthodromische Fahrt.

Fahrt von Australien nach Südamerika wird z. B. durch orthodromisches Fahren ein Weg von über 500 Seemeilen gegenüber dem loxodromischen Wege gespart.

Wahres Besteck. Die für den Seefahrer äußerst wichtige Ortsbestimmung mittels des wahren Bestecks geschieht in folgender Weise. Bei der astronomischen Bestimmung eines Punktes A hat man gemäß Abb. 138 a und b einerseits den Breitenwinkel φ , unter dem die Verbindungslinie des Ortes mit dem Erdmittelpunkt gegen die Äquatorebene geneigt ist, andererseits den Längswinkel λ , den der Meridian des Ortes mit dem als Nullmeridian gerechneten Meridian von Greenwich bildet, zu ermitteln.

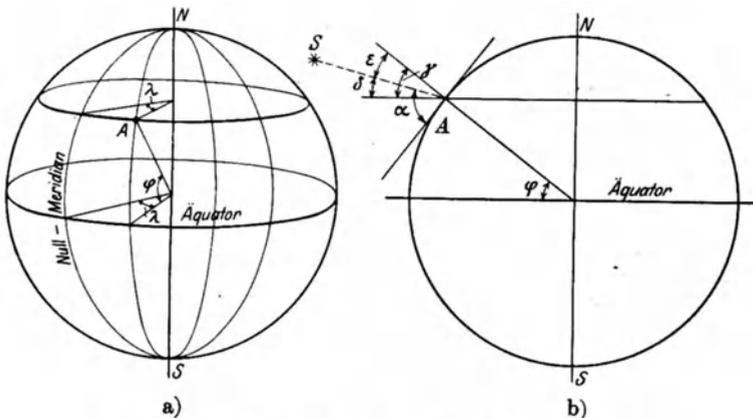


Abb. 138 a und b. Astronomische Ortsbestimmung.

In Abb. 138 b ist die Meridianebene in die Zeichenebene gelegt. Denkt man sich durch A eine Parallele zur Äquatorebene gezogen, so ist $\sphericalangle \varphi = \sphericalangle \gamma$. Ist S ein in der Meridianebene stehendes Gestirn, dessen Abstand von der Äquatorebene (Deklination) $= \delta$ ist und dessen Zenitdistanz ε gemessen werden kann, so findet man die geographische Breite $\varphi = \gamma = \delta + \varepsilon$. Da jedoch der Zenitpunkt vom schwankenden Schiffe aus nicht genau festgelegt werden kann, so mißt man besser die Höhe α des Gestirnes über dem Horizont und findet φ aus der Gleichung

$$\alpha - \delta = 90^\circ - \gamma = 90^\circ - \varphi; \text{ also } \varphi = 90^\circ - \alpha + \delta.$$

Liegen Zenitpunkt und Gestirn auf verschiedenen Seiten der Äquatorebene, so ist die Deklination δ mit negativem Vorzeichen einzusetzen. Da das Gestirn in der Meridianebene stehen muß, hat man die Höhenmessung zur Zeit der Kulmination auszuführen, also am Mittag, wenn man die Sonne benutzt. Die tägliche Deklination der geeignetsten Gestirne und alle sonstigen Zahlenwerte für nautische Rechnungen entnimmt man aus dem von der deutschen Seewarte herausgegebenen „Nautischen Jahrbuch“, das die bis vor kurzem bei uns noch gebrauchten englischen Tafeln vollkommen ersetzt.

Zur Winkelmessung auf See verwendet man den von Hadley erfundenen Spiegelsextanten; Libelleninstrumente sind wegen der Schiffsbewegungen nicht zu gebrauchen.

Zur Ausgleichung der bei Messungen auf See unvermeidbaren Fehlerquellen sind mehrere Berichtigungen vorzunehmen. Bei Ermittlung des Höhenwinkels α mittels des Sextanten bringt man bekanntlich das Bild des Gestirnes durch Einstellung der Alhidade in den scheinbaren Meereshorizont, die sogenannte „Kimm“. Mißt man Mond- oder Sonnenhöhen, so stellt man nicht den schwer zu schätzenden Mittelpunkt ein, sondern den unteren Rand des kreisförmig erscheinenden Gestirnes (\odot); man hat dann den scheinbaren Halbmesser zum abgelesenen Höhenwinkel hinzuzuzählen. Außerdem hat man zu berücksichtigen, daß der Sehstrahl nach dem scheinbaren Horizonte nicht genau wagerecht ist, sondern eine vom Augenpunkte ausgehende Tangente an die kugelförmige Meeresoberfläche bildet, die die wagerechte Ebene unter einem von der Augeshöhe abhängigen Winkel schneidet. Dieser Winkel heißt die Kimmtiefe; er ist von dem abgelesenen Höhenwinkel abzuziehen. Schließlich ist noch der Einfluß der Refraktion (Strahlenbrechung durch die Luft) und bei Mondbeobachtungen auch die parallaktische Verschiebung zu berücksichtigen. Für alle diese Berichtigungen findet man bequeme Hilfswerte im Nautischen Jahrbuch.

Den Längswinkel λ berechnet man aus dem Unterschied zwischen der Zeit im Anfangsmeridian (Greenwich) und derjenigen im Ortsmeridian. Da eine Meridianebene in 24 Stunden eine volle Umdrehung in bezug auf die Sonne ausführt, so bezeichnet jede Sekunde Zeitunterschied einen Längensunterschied von $\frac{360}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 0,0042$ Längengrade oder 0,25 Längenminuten.

Die mittlere Sonnenzeit von Greenwich zeigt das Schiffschronometer an; die wahre Ortszeit wäre zu ermitteln, wenn man den Meridiandurchgang (Kulmination) eines Gestirnes scharf beobachten könnte. Die Genauigkeit, mit der dies auf See möglich ist, genügt wohl für die vorstehend beschriebene Breitenbestimmung, weil die Höhe eines Gestirnes sich kurz vor und nach der Kulmination nur langsam ändert, sie genügt aber nicht für Längenbestimmungen, bei denen es auf Zeitsekunden ankommt. Man berechnet daher die Ortszeit aus dem astronomisch-nautischen Dreieck. Dieses ist sphärisch und wird gemäß Abb. 139 am Himmelsgewölbe gebildet aus dem Himmelsmeridian PZ, in dessen Ebene der Schiffsort liegt, dem durch

Der Mond verändert in einem Tage um etwa 13 Grad, in einer Stunde also um etwas mehr als $\frac{1}{2}$ Grad, von Osten nach Westen seinen Ort am Himmel. Wenn man nun die Stellung des Mondes zu jedem Zeitpunkt kennt, so braucht man nur seinen Abstand von einem bekannten Stern zu messen, um die wahre auf eine Sternwarte bezogene Zeit zu ermitteln. Durch Vergleich dieser Zeit mit der aus dem nautischen Dreieck zu bestimmenden Ortszeit findet man dann den Längenunterschied zwischen der Sternwarte und dem Schiffsorte durch die auf S. 105 angegebene Beziehung. Die Stellung des Mondes ist genau vorausberechnet worden und in Mondtafeln angegeben. Auch das nautische Jahrbuch enthält seine Abstände von mehreren in der Nähe seiner Bahn befindlichen Sternen zu den verschiedensten Zeitpunkten. Bei sehr sorgfältigem Fehlerausgleich läßt sich die Ortszeit mit Hilfe der Mondabstände bis auf etwa 30 Sekunden bestimmen.

C. Vermessung der Seeschiffe.

Die Vermessung der Seeschiffe erfolgt nach drei Gesichtspunkten, nämlich nach der Wasserverdrängung (Displacement), nach dem absoluten und dem nutzbaren Raumgehalt.

Die Wasserverdrängung entspricht dem Gewichte des Schiffes nebst voller Ladung und Ausrüstung. Sie wird bestimmt nach der Newton-Simpson'schen Regel aus einer Anzahl von Querschnitten des Schiffskörpers und der Eintauchtiefe; sie wechselt je nach der Beladung des Schiffes. Letztere richtet sich nach dem mit Rücksicht auf Standsicherheit und Schwimmfähigkeit noch zulässigen geringsten und größten Tiefgang; durch den Unterschied der beiden Tiefgängen entsprechenden Wasserverdrängungen ist also die Tragfähigkeit des Schiffes bestimmt. Nach der Wasserverdrängung bemißt man die Größe solcher Schiffe, deren Belastung sich wenig ändert, was beispielsweise bei Kriegsschiffen der Fall ist.

Der Raumgehalt wird nach englischem Vorbild allgemein in Registertonnen angegeben. Eine Registertonne ist gleich 100 engl. Kubikfuß, das sind = 2,83 cbm (1 cbm = 35,3 engl. Kubikfuß). Über die Ausführung der Vermessung bestehen ausführliche und zum Teil internationale Vorschriften. Der Schiffsraum wird je nach der Schiffslänge durch eine vorgeschriebene Anzahl von Querschnitten gleichen Abstandes zerlegt, die nach bestimmten Regeln berechnet werden. Die Maße sind mit vorgeschriebener Abrundung nach Metermaß zu nehmen. Der Rauminhalt wird dann ebenfalls nach der Simpson'schen Regel ermittelt und zuletzt durch Multiplikation mit der Zahl 0,353 in Bruttoregistertonnen umgerechnet.

Von dem Bruttoreaum werden alle nicht für die Nutzlast bestimmte Einzelräume abgezogen; die Differenz ergibt die Größe des Schiffes in Nettoregistertonnen.

Die Maße werden in den amtlichen Meßbrief eingetragen. Dieser gilt als Ausweis in allen Häfen, es werden danach auch die Hafengebühren, die Versicherungsgebühren usw. festgesetzt.

Häufig wird die Größe eines Schiffes ohne weitere Erklärungen nach Tonnen angegeben. Dabei ist wohl zu unterscheiden, ob damit Gewichtstonnen oder Registertonnen gemeint sind. Letztere sind ein Raummaß und haben mit ersteren an sich nichts gemein. Zur Beurteilung der Frage, welche Warenmenge ein Schiff befördern kann, müssen Tragfähigkeit und Nettoraumgehalt bekannt sein.

Unter mittleren Verhältnissen kann man erfahrungsgemäß für eine Gewichtstonne Tragfähigkeit einen Lagerraum von 0,75 Registertonnen (2,12 cbm) rechnen. Bei spezifisch schweren Frachten (Erz) kann der Laderaum, bei leichten Frachten (Heu) die Tragfähigkeit eines Schiffes nicht ausgenutzt werden.

D. Signalwesen.

1. Verständigung auf See. Zur Verständigung auf See ist eine internationale Zeichensprache vereinbart worden; dazu werden 25 farbige Signalflaggen benutzt, die den Buchstaben des Alphabets entsprechen. Es werden jedoch Gruppen von höchstens je 4 zu einem Zeichen gebraucht, und zwar bedeutet jede Gruppe einen ganzen Ausspruch. Die Zahl der durch verschiedene Zusammenstellung der Flaggen möglichen Gruppen ist, wie sich mit Hilfe der Variationsrechnung nachweisen läßt, so erheblich, daß alle zur Verständigung erforderlichen Ausdrücke damit bezeichnet werden können. Den Schlüssel zu dieser Zeichensprache bildet das von allen seefahrenden Nationen gebrauchte internationale Signalbuch. Damit können Gespräche geführt werden, ohne daß eine Partei die Sprache der anderen versteht.

Bestimmte oft gebrauchte Ausdrücke werden mit einzelnen oder Doppelflaggen bezeichnet. Z. B. bedeutet Flagge P: Ich beabsichtige abzufahren; Doppelflagge NC: Ich bin in Not und bedarf der Hilfe. Außer den Flaggen-signalen ist noch ein System von Fernsignalen mit geometrischen Körpern üblich (Kugel, Kegel, Doppelkegel usw.), die viel weiter als Flaggen zu unterscheiden sind.

Die Bedeutung der Flaggensignale ist in neuerer Zeit infolge der Entwicklung der drahtlosen Telegraphie zurückgetreten, denn letztere gestattet den sicheren Austausch von Zeichen auf sehr große Entfernungen, unabhängig von der Sichtbarkeit der Luft. Für die Kleinschiffahrt, die sich die kostspieligen Einrichtungen zur Erzeugung elektrischer Wellen nicht leisten kann, sind die Flaggensignale nach wie vor unentbehrlich.

Neuerdings werden bei Nacht und bei trübem Wetter auch Lichtsignale mit großem Vorteil angewendet. Die Verständigung erfolgt durch kurze und lange Lichtscheine, entsprechend dem Morsealphabet; die durch Scheinwerfer erzeugten Lichtscheine sind viele Seemeilen weit mit Sicherheit wahrnehmbar. Diese Art der Zeichengebung spielt bei den Kriegsmarinern eine große Rolle.

2. Zeichen zur Verhütung von Unglücksfällen. Zur Vermeidung von Zusammenstößen auf See müssen die Schiffe bei Dunkelheit bestimmte Lichter führen und bei unsichtigem Wetter Tonsignale abgeben. Die in den meisten Ländern ähnlichen Zeichen sind in Deutschland durch die Kaiserliche Verordnung vom 9. Mai 1897 geregelt; die wichtigsten Bestimmungen sind nachstehend kurz angeführt.

Von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang müssen alle in Fahrt befindliche Seeschiffe an Backbordseite ein rotes, an Steuerbordseite ein grünes ununterbrochenes Licht führen. Diese Lichter müssen so abgeblendet sein, daß sie nur einen Bogen von 10 Kompaßstrichen bescheinen, und zwar von der nach vorn gerichteten Schiffsachse aus nach der betreffenden Seite bis 2 Strich über die Senkrechte zur Schiffsachse hinaus. (Seemännisch ausgedrückt: „Von recht voraus bis 2 Strich achterlicher als dwars.“) Dampfer müssen außerdem am vorderen Teile ein helles weißes Licht führen, das in der Mittelebene des Schiffes mindestens 6 m über dem Schiffsrumpf aufgestellt ist und einen Sektor von 20 Kompaßstrichen, von recht voraus bis 2 Strich achterlicher als dwars zu beiden Seiten, bescheint. Segelschiffe dürfen dieses weiße Licht nicht führen. Die Seitenlichter sind zu löschen, sobald das Schiff stillliegt. Dampfer, die andere Fahrzeuge schleppen, müssen an Stelle des einen weißen Lichtes 2 weiße Lichter übereinander, und falls der Schleppzug weiter als 180 m hinter das Heck des schleppenden Fahrzeuges reicht, 3 weiße Lichter übereinander führen. Die geschleppten Fahrzeuge müssen ebenfalls die Seitenlichter zeigen.

Manövrierunfähige Dampfer müssen an Stelle der weißen Lichter zwei übereinanderstehende und über den ganzen Horizont sichtbare rote Lichter zeigen;

am Tage treten an die Stelle dieser Lichter schwarze Bälle; diese Zeichen gelten nicht als Notsignale. Ein Fahrzeug, das von einem andern überholt wird, soll vom Heck aus ein weißes Licht oder ein Flackerfeuer zeigen. Vor Anker liegende Fahrzeuge von weniger als 45 m Länge zeigen nur ein am Mast aufgezogenes, von allen Seiten sichtbares weißes Licht, größere Fahrzeuge zeigen außerdem ein weißes Hecklicht.

Bei Nebel sind Schallsignale abzugeben, und zwar von in Fahrt befindlichen Dampfern alle 2 Minuten ein langgezogener Ton mit der Dampfpeife, von Seglern alle Minuten 1, 2 oder 3 Töne mit dem Nebelhorn, je nach der Segelstellung zum Winde; vor Anker liegende Fahrzeuge läuten jede Minute 5 Sekunden lang mit einer Glocke. — In der Manövrierfähigkeit behinderte Fahrzeuge (Schleppzüge, Kabelleger, Havarierte usw.) geben alle 2 Minuten 3 aufeinanderfolgende Töne ab, zuerst einen langen, dann 2 kurze. Bei unsichtigem Wetter ist die Fahrgeschwindigkeit „unter sorgfältiger Berücksichtigung der obwaltenden Umstände“ zu mäßigen.

Über das Begegnen, das in der Regel nach Steuerbord zu erfolgen hat, bestehen bestimmte Vorschriften, die darauf hinzielen, daß das besser manövrierfähige Schiff dem andern auszuweichen hat. Zwei sich einander nähernde Dampfer haben sich durch kurze Tonsignale zu verständigen. Es bedeutet: Ein kurzer Ton: Ich richte meinen Kurs nach Steuerbord; zwei kurze Töne: Ich richte meinen Kurs nach Backbord; drei kurze Töne: Meine Maschine geht mit voller Kraft rückwärts. Als Notsignale gelten: 1. Knallsignale in Zwischenräumen von etwa 1 Minute; 2. Signalflaggen NC nach dem internationalen Signallbuch; 3. Fernsignal, bestehend aus viereckiger Flagge mit Ball; 4. andauerndes Ertönenlassen eines Nebensignales. Außerdem bei Nacht 5. Raketen oder Leuchtkugeln in kurzen Zwischenräumen; 6. Flammensignale mit Teer- oder Öltönen und dgl. Mit Funkentelegraphie ausgerüstete Fahrzeuge geben die Zeichen S.O.S. („save our souls!“).

Lotsensignale und Zollsignale sind besonders vorgeschrieben, ebenso etwaige Sonderzeichen in Hafengebieten.

16. Abschnitt. Die Seezeichen.¹⁾

A. Allgemeines.

Mit der Steigerung der in Seeschiffahrtsbetrieben angelegten Werte und mit der Zunahme des Tiefganges und der Fahrgeschwindigkeit der Schiffe haben die Einrichtungen zur Sicherung des Seeverkehrs eine große wirtschaftliche Bedeutung erlangt. Dies haben alle seefahrenden Völker erkannt, es sind daher jetzt fast alle Küsten mit einem Kranze von Leuchtfeuern und sonstigen Schiffsfahrtszeichen umgeben. Die Regelmäßigkeit im heutigen Schiffsfahrtsbetriebe, die bei Tag und Nacht derjenigen des Eisenbahnverkehrs kaum noch nachsteht, wäre ohne Bezeichnung der Fahrstraßen undenkbar.

Man kann die Seezeichen einteilen in Tagzeichen (gewöhnliche Baken, gewöhnliche Tonnen, Pricken und Stangen), Nachtzeichen (Leuchtfeuer) und Nebelzeichen (Schallsignale).

¹⁾ Außer den in den folgenden Fußnoten bezeichneten Quellen und amtlichen Vorschriften wurden für diesen in der Literatur wenig vertretenen Gegenstand benutzt: Burkowitz, Ergebnisse einer Reise zum Studium des Seezeichenwesens in Deutschland, England und Frankreich; Klebert, Mitteilungen über moderne Leuchtfeuer und Leuchtbojen, Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1912; außerdem Druckschriften und Preisverzeichnisse verschiedener auf diesem Gebiete tätiger Firmen. Die meisten der nachstehenden Abbildungen von ausgeführten Anlagen verdankt Verfasser der Firma Julius Pintsch, Berlin.

B. Tagzeichen.

1. Arten und Anwendung der Tagzeichen. In deutschen Gewässern sind für die Anwendung der Tagzeichen die „Grundsätze zur Bezeichnung der Fahrwasser und Untiefen“ nach der Verordnung des Reichskanzlers vom 31. Juni 1887 maßgebend.

Baken sind feststehende gerüstartige, durch ihre Form leicht kenntliche Aufbauten, die entweder bestimmte Punkte kennzeichnen (Peilbaken) oder durch einen als Zeiger dienenden Aufbau den Schiffen bestimmte Weisungen über Kursänderungen geben (Winkbaken) oder zu zweien die Richtung des einzuschlagenden Kurses bezeichnen, wenn sie in Deckpeilung gebracht, d. h. in einer Linie gesehen werden (Richtbaken).

Unter Tonnen werden im erweiterten Sinne alle schwimmenden Seezeichen verstanden. Die Seetonnen werden ausgebildet als

- a) Bakentonnen, das sind Schwimmkörper mit bakenartigem Aufbau;
- b) Spierentonnen, die über Wasser eine Spiere (starke gedrungene Stange) tragen;
- c) Spitztonnen, mit kegelförmigem Oberteil;
- d) Stumpfe Tonnen, von der Form eines stehenden Zylinders;
- e) Kugeltonnen, mit halbkugelförmigem Oberteil;
- f) Faßtonnen, von der Form eines liegenden Zylinders oder Fasses.

Stangenseezeichen sind in den Grund gesteckte Stangen, Pricken sind in den Grund gesteckte Äste mit Baumzweigen.

Zur Unterscheidung von Seezeichen derselben Art dienen Toppzeichen, das sind geometrische Figuren, die an einer Stange über dem höchsten Teil des Seezeichens angebracht sind. Als Fahrwasser im Sinne der Grundsätze gilt jeder für Seeschiffe befahrbare Wasserweg, dessen Verlauf durch Seezeichen gekennzeichnet ist. Die den von See kommenden Schiffen an Backbord liegende Seite wird als die Backbordseite eines Fahrwassers gerechnet, die andere als Steuerbordseite. Verbindet ein Fahrwasser zwei Meeresteile, so werden die Seiten nach den Bordseiten der aus westlicher Richtung kommenden Schiffe benannt. Bei gekrümmtem Fahrwasser gilt im Zweifelsfalle die am meisten nördlich gelegene Einfahrt als die maßgebende für die Bezeichnung des ganzen zusammenhängenden Fahrwassers. Die seeseitigen Eingänge zu Fahrwassern werden durch Baken oder Bakentonnen als Ansehlungszeichen kenntlich gemacht. Die Grenzen des Fahrwassers werden an Backbordseite durch Spitztonnen, an Steuerbordseite durch Spierentonnen bezeichnet; an Stelle der letzteren können ausnahmsweise stumpfe Tonnen verwendet werden, wenn mehrere nahe beieinander liegende Fahrwasser unterschieden werden sollen oder wenn die Wassertiefe zur Auslegung von Spierentonnen nicht ausreicht. In geschützten Fahrstraßen mit geringer Wassertiefe können an Backbordseite Pricken, an Steuerbordseite Stangen verwendet werden. Zur Bezeichnung der Fahrwassermitte sind Kugeltonnen zu benutzen. Die Enden von Mittelgründen werden durch Baken oder Bakentonnen bezeichnet, die als Toppzeichen ein stehendes Kreuz tragen.

Mit Ausnahme der Stangen und Pricken werden sämtliche an Steuerbordseite befindlichen Seezeichen rot, die an Backbordseite befindlichen schwarz angestrichen. Die Reihenfolge wird an Backbordseite durch arabische Ziffern, an Steuerbordseite durch große lateinische Buchstaben bezeichnet, die Zählung beginnt von See aus. Die an beiden Seiten passierbaren Fahrwasserseezeichen, nämlich Mittelfahrwassertonnen sowie Baken und Bakentonnen zur Bezeichnung der Enden von Mittelgründen, erhalten einen rot und schwarz gestreiften Anstrich.

Außerhalb des Fahrwassers gelegene Untiefen werden durch Spierentonnen, Bakentonnen oder Baken kenntlich gemacht. Sollen die Untiefenränder be-

zeichnet werden, so erhalten die Seezeichen zwei Toppdreiecke, aus deren Stellung erkennbar ist, an welcher Seite vorbeigefahren werden soll. Die Bedeutung der Dreiecksstellungen ergibt sich aus Abb. 140. Auf der Untiefe selbst ausgelegte Seezeichen tragen als Toppzeichen eine als Quadrat erscheinende Trommel (stehender Zylinder). Die Seezeichen zur Kenntlichmachung von Untiefen außerhalb der Fahrwasser erhalten weißen Anstrich; ist jedoch die Ausdehnung der Untiefe so gering, daß für die Bezeichnung ein Seezeichen genügt und daß die Schiffe sich diesem von allen Seiten bis auf geringe Entfernung nähern können, so ist ein schwarzweiß gestreifter Anstrich zu wählen. Gesunkene Schiffe werden durch stumpfe, spitze oder Faßtonnen mit grünem Anstrich und der Aufschrift Wrack bezeichnet.

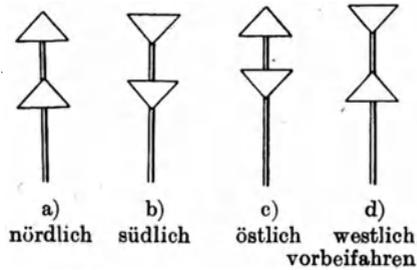


Abb. 140 a bis d. Bedeutung der Toppzeichen für Seetonnen.

2. Technische Ausführung der Tagzeichen. Die Baken werden meistens aus Holz, bisweilen auch aus Eisen gebaut. Von einem Richtbakenpaar erhält die weiter zurückstehende Oberbake als Toppzeichen ein Dreieck mit Spitze nach unten, die näher dem Fahrwasser stehende Unterbake ein Dreieck mit Spitze nach oben, damit die beiden Seezeichen möglichst scharf in Deckung gebracht werden können. Die Oberbake muß soviel höher sein als die Unterbake, daß bei 3 m Augenhöhe über dem Wasserspiegel das Toppzeichen der ersteren innerhalb der Grenzen ihrer Gültigkeit mindestens um das Maß ihrer eigenen Höhe über dem Toppzeichen der Unterbake erscheint.

In gleicher Weise wie Baken dienen als Ansehungspunkte auch die Leuchttürme bei Tage, ebenso verschiedene leicht erkennbare Gegenstände, wie Kirchtürme, Windmühlen, einzeln stehende Häuser und Bäume usw.

Die Seetonnen werden meistens aus Flußeisen hergestellt; ausnahmsweise werden auch noch hölzerne verwendet, z. B. benutzt Bremen noch seine bewährten Bauformen, die aus eichenen Dauben zusammengesetzt und mit Bänderbeschlag gegen Eis gesichert sind. In Abb. 141 ist eine kleinere eiserne Spierentonne dargestellt. Letztere ist mit einem von Stirnfläche zu Stirnfläche wasserdicht geführten Rohre versehen, durch welches eine hölzerne Spiere gesteckt ist. (Stralsunder Fahrwasser.) Abb. 142 zeigt eine eiserne Spierentonne für große Wassertiefen. Zur Erhöhung der Standsicherheit erhalten die Tonnen ein Gegengewicht, das entweder lose angeschäkelt oder am Ende einer mit der Tonne fest verbundenen Stange angebracht ist. Große Tonnen

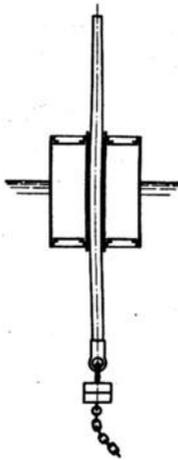


Abb. 141. Einfache Spierentonne.

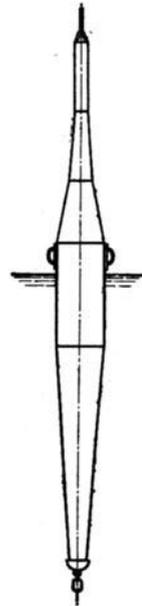


Abb. 142. Spierentonne für große Wassertiefen.

erhalten anstatt der Stange ein Schwanzrohr (Abb. 171 und 176, S. 129 u. 132), damit die von letzterem eingeschlossene Wassermasse die Tonnenbewegungen mitmachen muß; dadurch wird die Dauer der Tonnenschwingung länger als diejenige der Wellen, also wird die Tonnenbewegung gedämpft (vgl. auch S. 130).

Die Tonnenformen sind nach den vorstehend aufgeführten Bestimmungen zu wählen. Für alle diese Formen gibt es in Deutschland noch zahlreiche von-

einander abweichende Bauarten; die Größe wechselt je nach den örtlichen Verhältnissen zwischen 0,5 und 10 cbm. Die weiter unten beschriebenen Leuchtonnen und Schalltonnen werden 6 bis 8, ausnahmsweise bis 20 cbm groß ausgeführt.

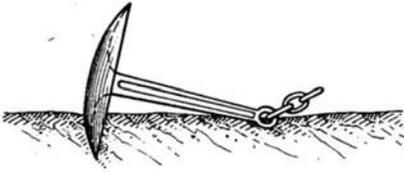


Abb. 143. Pilzanker.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Verankerung. Zum Festlegen der Tonne werden meistens nicht gewöhnliche Anker mit Zinken benutzt, sondern Pilzanker (Abb. 143) zur Vermeidung des Eindrehens der Kette beim Schwjoen, häufiger jedoch sogenannte Sauger. Letztere sind flache gußeiserne Scheiben mit hohler Unterfläche (Abb. 144), die sich in den Meeresgrund

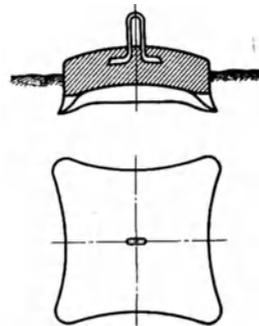


Abb. 144. Sauger.

fest einsaugen. Ihr Gewicht beträgt je nach Größe der Tonne und nach Heftigkeit des Seeganges und der Strömung 500 bis 2000 kg. Ähnlich wirken auch Ankersteine aus Beton, die zum Befestigen der Kette eingestampfte Ösen oder eine Öffnung zum Durchstecken eines Knebels besitzen (Abb. 145).

Die Ankerketten müssen sehr kräftig sein, sie erhalten je nach der Beanspruchung 30 bis 45 mm Kaliber. Sie werden mit einem Wirbel versehen, damit die Kette beim Schwjoen der Tonne sich nicht eindrehen kann. Die Verbindung der Kette mit der Tonne und mit dem Ankerklotz erfolgt durch Schäkkel. Um größere Tonnen leicht von der Kette lösen zu können, wird noch ein besonderes Schäkkel in solchem Abstand von der Tonne eingesetzt, daß man es über

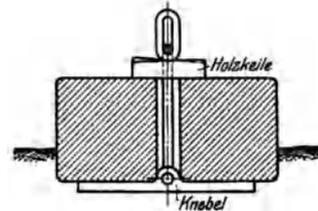


Abb. 145. Ankerstein.

Wasser holen kann, ohne die Tonne zu legen. Die Kette wird zu diesem Zwecke mit einem Schiffshaken erfaßt. Längere Ketten setzt man zweckmäßig aus mehreren Strängen zusammen, weil die Kette sich ungleichmäßig abnutzt; die stets schwebenden Kettenstrecken halten länger als die auf dem Grunde schleifende und die an die Tonne grenzende Strecke. Die Kettenlänge wählt man für Tonnen, die starkem Seegang ausgesetzt sind, mindestens gleich der dreifachen, für solche in geschützter Lage gleich der doppelten Wassertiefe.

Seetonnen müssen sehr sorgfältig hergestellt und unterhalten werden; der Anstrich ist mindestens einmal im Jahre zu erneuern. Weil die Schifffahrt in der Regel im Winter eingeschränkt wird und weil Beschädigungen durch Eis zu befürchten sind, zieht man in vielen Bezirken die eisernen Tonnen im Winter ein und legt dafür einfache hölzerne, aus Stangen und Brettern gebildete Zeichen aus, die bei etwaiger Zerstörung leicht ersetzt werden können. (Sommerseezeichen und Winterseezeichen.)

C. Leuchtfeuer.

1. Arten und Anwendung der Leuchtfeuer. An deutschen Küsten erfolgt die Bezeichnung bei Nacht nach den von den Regierungen der deutschen Seefestaaten und dem Reichsmarineamt vereinbarten „Grundsätzen für die Leuchtfeuer und Nebelsignale der deutschen Küste“¹⁾. In diesen werden unterschieden:

¹⁾ Im Buchhandel zu haben.

- a) Leitfeuer, das sind solche, die für sich allein durch Sektoren verschiedener Kennung ein Fahrwasser oder eine Hafeneinfahrt bezeichnen;
- b) Richtfeuer, die entsprechend den Richtbaken zu zweien oder dreien durch Deckpeilungen ein Fahrwasser oder eine Hafeneinfahrt bezeichnen;
- c) Quermarkenfeuer, die, quer zur Fahrtrichtung gesehen, durch Sektoren von bestimmter Kennung gewisse Anweisungen erteilen, namentlich durch Änderung der Kennung die Grenzen des nutzbaren Bereiches von Richt- und Leitfeuern bezeichnen.

Außerdem sind benannt zeitweilige Feuer, die nur bei besonderen Anlässen, z. B. bei baulichen Änderungen an Häfen oder Fahrstraßen, oder nur zu bestimmten Stunden gezeigt werden, und schließlich Wrackfeuer zur Bezeichnung von Wracks.

Die Leuchtfeuer müssen so gekennzeichnet werden, daß Verwechslungen benachbarter Feuer vermieden werden. Die Kennzeichnung erfolgt durch Verdunkelungen oder durch Änderung der Lichtstärke oder Wechsel der Lichtfarbe. Eine vorübergehende Lichterscheinung nennt man Schein, wenn die dazwischen liegende Verdunkelung, die sogenannte Unterbrechung, verhältnismäßig kurz ist. Das Aufleuchten aus verhältnismäßig langer Dunkelheit nennt man dagegen Blink. Als Blitz bezeichnet man einen Blink von weniger als 2 Sekunden Dauer. Den für ein Feuer charakteristischen Verlauf einer Lichterscheinung nennt man seine Kennung.

Die gebräuchlichen Kennungen sind folgende; die auf Seekarten angewendeten Abkürzungen sind in Klammern beigegeben:

- a) Festfeuer (F.);
- b) Unterbrochene Feuer mit Einzelunterbrechungen (Ubr.) oder mit Gruppen von 2, 3, 4, 5 Unterbrechungen (Ubr. Grp. 2, 3, 4 usw.);
- c) Blinkfeuer mit Einzelblinken (Blk.) oder mit Gruppen von 2 bis 5 Blinken (Blk. Grp. 2, 3, 4 usw.);
- d) Blitzfeuer mit Einzelblitzen (Blz.) oder mit Gruppen von 2 bis 5 Blitzen (Blz. Grp. 2, 3, 4 usw.);
- e) Mischfeuer (Mi.), das sind Feuer, deren Kennungen aus mehreren der vorerwähnten Kennungen zusammengesetzt sind;
- f) Wechselfeuer sind aus Scheinen von 2 verschiedenen Farben zusammengesetzt; diese Kennung soll jedoch bei Neuanlagen nicht mehr benutzt werden.

Wenn ein Feuer mehrere Sektoren mit verschiedener Kennung hat, so sind die Kennungsbezeichnungen durch das Wort „und“ zu verbinden. Der Ausdruck „F. und Blz. und Blz. Grp. 2“ bezeichnet also ein Feuer mit 3 Sektoren, von denen einer Festfeuer, einer Einzelblitze und einer Gruppen von 2 Blitzen zeigt. Dagegen bezeichnet der Ausdruck „Blk. Blz. Grp. 2“ ein Mischfeuer, dessen Kennung aus Einzelblinken und aus Gruppen von 2 Blitzen zusammengesetzt ist. Die Zeit vom Beginn einer Erscheinung bis zum Beginn der nächsten gleichartigen nennt man die Folge. Bei Gruppenkennungen heißt die Zeit vom Beginn einer Erscheinung bis zum Beginn der entsprechenden Erscheinung in der nächsten Gruppe die Wiederkehr. In Abb. 146 sind die Lichterscheinungen eines Gruppenblitzfeuers bildlich dargestellt und die Begriffe Folge und Wiederkehr kenntlich gemacht.



Abb. 146. Verlauf der Lichterscheinungen eines Gruppenblitzfeuers.

Über die Länge der einzelnen Zeitabschnitte für die Kennungen bestehen ausführliche Vorschriften, von denen nur angeführt sei, daß die Wiederkehr das Maß von einer Minute keinesfalls überschreiten darf, daß die Dauer

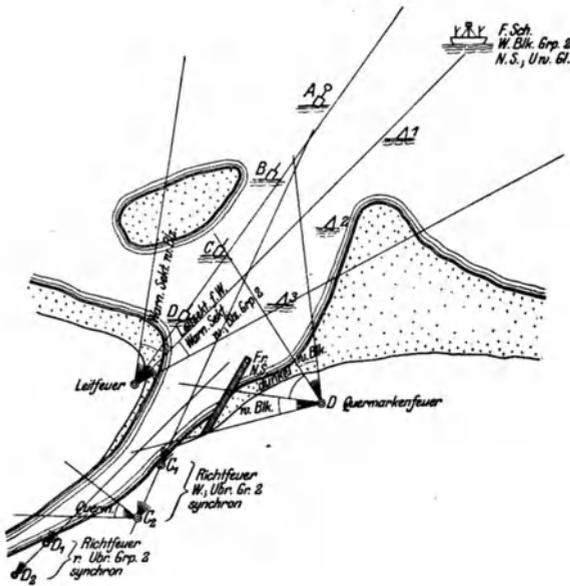


Abb. 147. Bezeichnung einer Strommündung.

Kennungen der Warnungssektoren dagegen an Steuerbord grün oder mit ungerader Blitzzahl, an Backbord rot oder mit gerader Blitzzahl.

Abb. 147 veranschaulicht die Bezeichnung einer Strommündung. Als Anseignungszeichen ist weit draußen in See ein Feuerschiff mit Nebelsignal und Unterwasserglocke ausgelegt; sobald die Schiffe dieses erreicht haben, steuern sie in dem Leitsektor des Leitfeuers weiter. Der Leitsektor zeigt weißes Festfeuer; er ist beiderseits von Warnungssektoren eingefaßt, die an Steuerbordseite durch weiße Einzelblitze, an Backbordseite durch Gruppen von 2 weißen Blitzen kenntlich gemacht sind. Das Quermarkenfeuer D hat zwei Sektoren mit weißen Einzelblinken. Wenn der seeseitige Sektor sichtbar wird, ist in die durch das Richtfeuerpaar C₁ C₂ festgelegte Richtung einzusteuern; verschwindet das Quermarkenfeuer wieder, so darf nur noch die Richtfeuerlinie benutzt werden. Das Quermarkenfeuer gibt also den Spielraum für den Übergang aus der einen Fahrtrichtung in die andere an. Ebenso zeigt der zweite Sektor des Quermarkenfeuers an, wenn das Richtfeuerpaar C₁ C₂ ungültig und dafür ein weiter oberhalb liegendes D₁ D₂ maßgebend wird. Die Fahrrinne ist außerdem noch an Backbordseite mit schwarzen Spierentonnen, an Steuerbordseite mit roten Spierentonnen

der Unterbrechungen $\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ Sekunden, diejenige der Blitze nicht weniger als 0,1 Sekunde bei Anwendung elektrischen Bogenlichtes, sonst nicht weniger als 0,2 Sekunden, betragen soll. Wenn farbige Feuer einzelne Punkte am Rande eines Fahrwassers oder einer Hafeneinfahrt bezeichnen sollen, so ist grün an der Steuerbordseite des Fahrwassers, rot an der Backbordseite (vgl. S. 110) anzuwenden. Ebenso gilt als Regel: Ungerade Gruppenzahl an Steuerbordseite, gerade Gruppenzahl an Backbordseite. Bei Leitfeuern sind die Leitsektoren weiß und fest zu wählen, die



Abb. 148. Geographische Sichtweite.

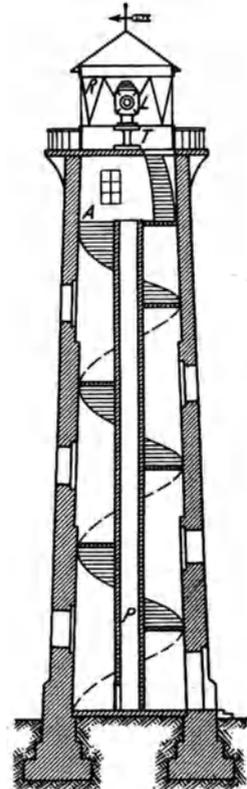


Abb. 149. Massiver Leuchtturm.

kenntlich gemacht. Der Kopf des Leitdammes ist durch ein rotes Festfeuer mit Nebelsignal bezeichnet.

2. Unterbauten. Die geographische Sichtweite eines Leuchtfuers hängt von der Aufstellungshöhe ab; bezeichnet h_1 die Feuerhöhe und h_2 die Augeshöhe des Beobachters in Metern, so ist die geographische Sichtweite in Seemeilen

$$s = 2,08 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

wie sich aus den Kreisbeziehungen leicht herleiten läßt (Abb. 148). An Hauptansegungspunkten soll die Feuerhöhe mindestens 60 m über MW. oder MHW. betragen; als Augeshöhe sind 3 m über dem Meeresspiegel anzunehmen.

Die Unterbauten größerer Leuchtfuer werden meist als massive Türme hergestellt (Abb. 149). Der Aufstieg erfolgt mittels einer Wendeltreppe, die zweckmäßigerweise durch Podeste zu unterbrechen ist. Meistens führt die Treppe um einen hohlen Pfeiler P herum, der als Aufzugsschacht für Betriebsstoffe benutzt wird. Im oberen Teile des Turmes ist ein Aufenthaltsraum A für das Wärterpersonal eingerichtet; von dort aus steigt man in den darüber liegenden Laternenraum R, wo auf einem Tische T die Leuchte L, das ist der lichterzeugende Apparat nebst optischen Verstärkungsvorrichtungen, aufgestellt ist. Der Laternenraum ist zylindrisch oder polygonal; die Seitenwände sind mindestens in Höhe des Leuchtgehäuses verglast. Senkrechte Sprossen sind zu vermeiden, weil sie im Lichtfelde Schattensektoren erzeugen würden, so daß das Feuer von manchen Punkten aus nicht gesehen werden könnte; daher stellt man die Sprossen schräg in Dreiecksverband. Damit die Verglasung auch von außen gereinigt werden kann, wird eine meist ausgekragte Umlaufgalerie angebracht. Das Schutzgeländer darf nicht höher sein als der undurchsichtige Teil der Seitenwände.

Das Mauerwerk muß sehr sorgfältig und aus besten Baustoffen hergestellt werden, weil es in hohem Maße der Verwitterung ausgesetzt ist und leicht zu Rißbildungen neigt. Aus letzterem Grunde sind auch hohe übereinanderliegende Fenster zu vermeiden. Man verwendet meistens Klinker- oder Bruchsteinmauerwerk, seltener Beton oder Eisenbeton.¹⁾ Als Schutzmittel gegen durchschlagende Nässe hat sich wiederholter Leinölanstrich bewährt.



Abb. 150. Leuchtturm aus Eisenfachwerk bei Kampen.

¹⁾ Ein größerer Leuchtturm aus Eisenbeton ist neuerdings auf der holländischen Insel Goeree ausgeführt worden; vgl. B. A. Verhey, De nieuwe kustlichttoren nabij het Westhoofd, eiland Goeree, Zeitschrift De Ingenieur v. 27. Juli 1912.

Auf weniger tragfähigem Baugrund hat man auch Türme aus Eisenfachwerk hergestellt. Abb. 150 zeigt den dreibeinigen Leuchtturm von Kampen.¹⁾ Der Blechzylinder in der Mittelachse des Turmes enthält den Aufstieg. Über dem Gerüstbau sieht man zunächst die Wachtbude, alsdann das Laternenhaus. Zwei ähnliche auf Schraubenpfähle gegründete Fachwerktürme sind auf dem Harriersande der Unterweser ausgeführt.

In neuerer Zeit sind auch mit Vorteil Leuchttürme aus Gußeisen hergestellt worden, z. B. bei Stilo (Abb. 151), auf Hörnum, Pelworm u. a. Die Türme werden aus einzelnen Platten zusammengesetzt, die durch Flanschen und

Schrauben miteinander verbunden werden; aus Abb. 151 sind die Nähte zu erkennen. Die Platten und Flanschen werden durch Rippen angemessen verstärkt. Solche Türme sind einfach aufzustellen. Sie sind leicht und sehr wetterbeständig; ein Nachteil ist dagegen die starke Schwitzwasserbildung im Turme infolge der leichten Durchkühlung des Eisens.

3. Lichtquellen. Zur Lichterzeugung dienen Petroleum, Spiritus, Ölgas, Blaugas, Azetylgas, elektrisches Glühlicht und Bogenlicht.

Früher wurde das Licht in gewöhnlichen Dochtlampen für Brennöl oder Petroleum erzeugt. Um die Helligkeit zu steigern, verwendete man mehrere konzentrische Dochte, zwischen denen sich Luftzuführungskanäle befanden. Es sind Lampen mit 5, ausnahmsweise sogar mit 8 bis 10 solcher Dochte hergestellt worden, ohne daß trotz des großen Brennstoffverbrauchs größere Flächenhelligkeiten als etwa 10 Hefnerkerzen für 1 qm erreicht werden konnten. Eine wesentliche Verbesserung ist durch die Erfindung des Glühstrumpfes erzielt worden. Dabei wird der Brennstoff, wenn er flüssig ist, zunächst einem von der Flamme selbst erhitzten Verdampfer zugeführt, alsdann mit Luft gemischt. Er verbrennt dann mit sehr heißer Flamme, die den Strumpf zum Glühen



Abb. 151. Gußeiserner Leuchtturm bei Stilo.

bringt. Auf diese Weise erzielt man bei sparsamem Brennstoffverbrauch Flächenhelligkeiten bis 25 Hefnerkerzen pro qm.

Eine große Verbreitung im Leuchtfeuerwesen hat das Gaslicht gefunden. Seine Einführung ist hauptsächlich der bekannten Firma Julius Pintsch in Berlin zu verdanken, die sich um die Herstellung brauchbarer Apparate sehr verdient gemacht hat. Da das Gas nicht an Ort und Stelle erzeugt werden kann, muß es in Behältern herbeigebracht werden. Dazu wird es auf hohen Druck gebracht, sonst würden die erforderlichen Behälter zu groß sein müssen. Besser als

¹⁾ Vgl. Die Beleuchtung der unteren Ems. Zeitschr. d. V. deutsch. Ingenieure 1890, S. 1194.

Steinkohlengas ist für Leuchtfeuerzwecke das durch trockene Destillation aus geringwertigen Ölen und Fetten hergestellte Ölgas geeignet, denn dieses läßt sich zusammenpressen, ohne nennenswerte Stoffe durch Verflüssigung abzusecheiden. Vor der Einführung in den Brenner muß das Gas wieder bis auf einen geringen Überdruck über den Atmosphärendruck entspannt werden. Dies geschieht durch ein Entspannungsventil, das im Prinzip nach Abb. 152 eingerichtet ist. Das hochgespannte Gas strömt aus dem Rohr a in eine Kammer b, die mit einer Metallmembran c überdeckt ist. Wenn der Druck in der Kammer ein gewisses Maß übersteigt, so baucht die Membran sich aus, dabei schließt das Ventil d, das durch den Hebel e betätigt wird, die Zuströmungsöffnung ab. Sinkt dagegen der Druck unter das festgesetzte Maß, so gewinnt die Feder f das Übergewicht, und das Ventil d wird wieder geöffnet. Durch Einstellen der Feder f kann der Druck des durch das Rohr g abströmenden Gases ziemlich genau geregelt werden.

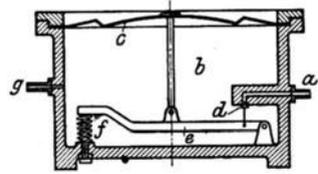


Abb. 152.
Entspannungsventil.

Es sind Leuchtfeueranlagen in Betrieb, deren Gasbehälter, wenn er mit 8 bis 10 Atmosphären aufgefüllt worden ist, ein ganzes Jahr lang ausreicht. Dabei hinterläßt das Gas so wenig Rückstände im Brenner, daß monatelang keinerlei Wartung nötig ist. Das Gas zur Auffüllung der Gasbehälter wird in nahtlos geschweißten Gefäßen (Abb. 153), die an Bord eines Schiffes aufgestellt werden können, herangebracht. Die Zubringergefäße werden mit dem aufzufüllenden Behälter am Leuchtfeuer durch einen Schlauch verbunden. Wenn sie so groß sind, daß sie nach Abgabe der gebrauchten Gasmenge noch unter einem höheren Druck stehen, als der höchste Fülldruck im Leuchtfeuergefäße betragen soll, so kann man das Gas einfach überfließen lassen; andernfalls muß es mit einer Pumpe übergedrückt werden.

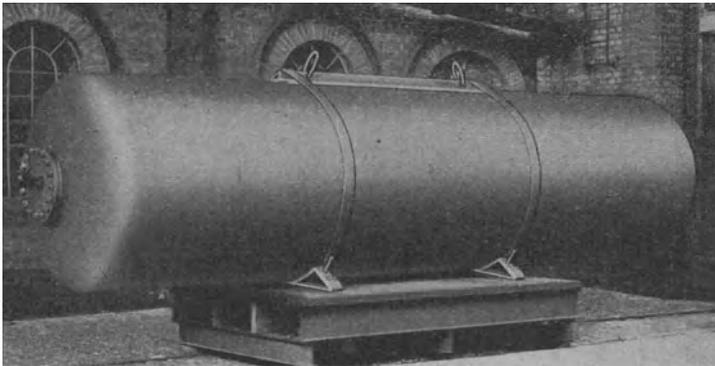


Abb. 153. Gasbeförderungsgefäß.

Neuerdings ist es gelungen, das Ölgas nach Abscheidung einiger Stoffe unter einem Druck von etwa 100 Atm. zu verflüssigen. Nach seinem Erfinder Blau wird dieses flüssige Gas Blaugas genannt. Da es einen sehr geringen Raum einnimmt, können große Mengen in verhältnismäßig kleinen Stahlflaschen untergebracht werden. Die Beförderung des Gases und die Auffüllung der Behälter an den Leuchtfeuern ist dadurch erheblich vereinfacht worden. Man braucht nur eine Batterie von wenigen Flaschen mittels eines Hochdruckschlauches an den Gasbehälter anzuschließen und dann den Inhalt des letzteren vergasen und überfließen zu lassen. Wegen des Einfrierens der Schläuche infolge der

starken Abkühlung bei der Expansion des Gases kann dies allerdings nur langsam erfolgen. Zur direkten Speisung eines Leuchtfeuers ist das flüssige Blaugas wegen schwieriger Entspannung bisher weniger geeignet.

Auch Gasfeuer werden jetzt fast ausschließlich mit Glühstrümpfen ausgerüstet; es ist gelungen, hängende Strümpfe herzustellen, die sogar in Leuchttonnen aufgestellt werden können, ohne durch die Schaukelbewegungen zerstört zu werden.

In neuerer Zeit hat auch das leuchtkräftigste aller Gase, das Azetylen, in die Leuchtfeuertechnik Eingang gefunden.¹⁾ Früher war seine Verwendung beschränkt, weil es nicht über 2 Atm. verdichtet werden darf, ohne durch endothermische Zersetzung explosionsgefährlich zu werden. Man war daher darauf angewiesen, das Gas in bekannter Weise durch langsame Zuführung von Wasser zu Kalziumkarbid nur in dem Maße zu erzeugen, wie es verbraucht wurde. Diese Art der Erzeugung ist teuer, wenig betriebssicher und bei nachlässiger Überwachung auch nicht ungefährlich, daher sind die hiernach ausgeführten Azetylanlagen bald wieder aufgegeben worden. Bahnbrechend wirkte dagegen die von den französischen Chemikern Claude und Heß gemachte Erfindung des gelösten Azetylens (*Acétylène dissous*). Die Flüssigkeit Azeton (C_3H_6O) hat nämlich die Eigenschaft, bei einem Druck von 1 Atm. das 24fache ihres Volumens an Azetylen zu absorbieren; diese Fähigkeit wächst proportional zum Drucke, wobei das Volumen des Azetons um 4% für jede Atmosphäre zunimmt. Ein Liter Azeton kann also bei einem Druck von 15 Atm. 360 Liter Azetylgas aufnehmen; dabei vergrößert es sein Volumen auf 1,6 Liter. Das gesättigte Azeton läßt man zur Verhinderung der endothermischen Zersetzung von einer porösen Masse aufsaugen. Man benutzt daher als Behälter für gelöstes Azetylen Stahlflaschen, die mit einem aus gekittetem Kieselgur oder Asbest hergestellten Stoff gefüllt sind, dessen Porosität 75% beträgt. Diese Art der Aufbewahrung des Gases ist vollkommen gefahrlos und in jedem Klima anwendbar. Schon bei 10 Atm. Druck kann 1 Liter Flaschenraum etwa 100 Liter Gas aufnehmen; das Fassungsvermögen eines solchen Azetylenbehälters ist also 10 mal so groß wie dasjenige eines gleich großen Ölgasbehälters für ebenfalls 10 Atm. Druck. Dazu kommt noch, daß die Leuchtkapazität des Azetylens fast 8 mal so groß ist wie diejenige des freibrennenden Ölgases; man kann also im Azetylengefäß die 80fache der in einem gleichgroßen Ölgefäß zu bergenden Lichtmenge aufspeichern. Auch bei Verwendung von Glühlicht bleibt ein Vorzug gegenüber dem gepreßten Ölgas bestehen, allerdings ist er dann nicht mehr so erheblich; die größte Aufspeicherungsfähigkeit besitzt jedoch das flüssige Blaugas.²⁾

Im offenen Brenner ist das Azetylen allen anderen Gasen weit überlegen. Wegen der sehr schnellen Entzündbarkeit eignet sich es besonders zur Erzeugung ganz kurzer Blitze, die der Gasglühstrumpf nur mittels Ablendung zu liefern vermag. Es wird neuerdings häufig zum Betriebe von Leuchttonnen, namentlich in Schweden und Nordamerika, verwendet. Einen Azetylenbehälter kann man nicht, wie ein Ölgasgefäß, an Ort und Stelle aus einem herbeigebrachten Kessel auffüllen, sondern der geleerte Behälter muß gegen einen in der Gasanstalt gefüllten ausgewechselt werden. Um die Verwendung des Azetylens für die Seebefeuerung hat sich namentlich der schwedische Leuchtfeuertelektrotechniker Dalén verdient gemacht.

Elektrisches Glühlicht ist wegen der Einfachheit der Lampen, der geringen Wartung und der Möglichkeit, durch Stromunterbrechungen jede

¹⁾ Vgl. Automatische Seebeleuchtung. Von G. Dalén. Zeitschr. „Karbide und Azetylen“, 1911, S. 209 ff.

²⁾ Vgl. L. Onken, Über versandfähige Leuchtgase. Glasers Annalen 1911.

beliebige Kennung zu erzeugen, sehr geeignet für kleinere und mittlere Leuchtfeuer; für größere dagegen weniger, weil die Lichtquelle aus dünnen leuchtenden Fäden besteht, die sich nicht zu einem Gebilde von gleichmäßig starker Flächenhelligkeit vereinigen lassen. Um die Lichtquelle möglichst genau in den Brennpunkt der optischen Apparate einstellen zu können, stellt man sogenannte Fokusglühlampen her, bei denen die Fäden in Form einer möglichst engen Spirale gewickelt sind. Gewöhnlich wird die Leuchte mit 2 Glühlampen ausgerüstet, von denen eine als Ersatz dient. Brennt die im Betrieb befindliche Lampe durch, so wird durch Unterbrechung der Stromleitung ein im Nebenschluß liegender Elektromagnet betätigt, der die Lampe aus dem Brennpunkt entfernt und dafür die Ersatzlampe einschiebt und gleichzeitig einschaltet.

Elektrisches Bogenlicht übertrifft an Flächenhelligkeit bei weitem alle übrigen Lichtquellen. Da es jedoch einer ständigen Wartung bedarf, da die Kennungen nicht durch einfache Vorrichtungen hervorgebracht werden können, und da es nur mit sehr großer Lichtstärke, also auch mit größerem Kostenaufwande, zu erzeugen ist, so bleibt seine Anwendung auf große Leuchtfeuer beschränkt. Bei älteren Anlagen sind Wechselstromlampen benutzt worden. Diese haben den Nachteil, daß die beiden gegenüberstehenden Kohlen, in deren Achsen die größte Lichtausstrahlung stattfindet, den hellsten Teil des Lichtfeldes verdecken. Immerhin sind Flächenhelligkeiten des Lichtbogens von 7000 Hefnerkerzen/qcm erreicht worden. Ein Beispiel dieser Ausführungsart ist das Feuer von Arcona auf Rügen.

Eine wesentliche Verbesserung bildet die von Körte und Müller erfundene Gleichstromlampe mit wagerechter positiver und schräg von unten her gegen sie gerichteter negativer Kohle (Abb. 154). Der am hellsten leuchtende positive Krater liegt frei zur optischen Achse. Die einseitige Lichtausstrahlung ist nicht nachteilig, weil die Leuchte zur Erzielung einer Kennung gedreht wird. Die in Abb. 169 S. 128 dargestellte Lampe ergibt Flächenhelligkeiten bis zu 15000 Hefnerkerzen/qcm. Der Gleichstrombetrieb hat zugleich den Vorteil, daß der Strom am Tage erzeugt und in Sammlerbatterien für die Nachtzeit aufbewahrt werden kann, während bei Wechselstromlampen die Maschinen während der ganzen Brennzeit laufen müssen.

Elektrisches Glüh- und Bogenlicht ist nur für ortsfeste Anlagen geeignet; die Zuführung des Stromes mittels Seekabel zu schwimmenden Feuern an offener Seeküste ist sehr schwierig, weil die Kabel durch Wellenschlag und Geschiebewanderung und namentlich durch das Stampfen des Schwimmkörpers bald beschädigt werden. Dagegen ist es gelungen, im Swinemünder Revier eine Anzahl von im Binnenwasser liegenden Tonnen elektrisch zu beleuchten.

4. Leuchten. Die Sichtbarkeit eines Feuers hängt nicht nur von der geographischen Sichtweite ab (vgl. S. 115), sondern auch von der „Tragweite“, d. i. die Strecke, auf welche die Lichtstrahlen noch die Luft zu durchdringen vermögen. Die Tragweite ist durch die Lichtstärke des Feuers bedingt. Ist J die Lichtstärke in Hefnerkerzen und t die Tragweite, so besteht die Beziehung

$$J = 0,35 t^2 \sigma^{-t}.$$

Hierin bedeutet σ einen Beiwert, für sichtiges Wetter = 0,8 (mittlere Tragweite), für dunstiges Wetter = 0,6 (kleine Tragweite). Die mittlere Tragweite soll der geographischen Sichtweite entsprechen. Für Hauptansegelungsfeuer wendet man Lichtstärken von mindestens 300 000 Hefnerkerzen, in einzelnen Fällen bis zu 60 Millionen Hefnerkerzen, an. Durch farbige Gläser kann das Licht gefärbt werden, womit aber ganz bedeutende Verluste verbunden sind. Man rechnet für Rotfärbung 75%, für Grünfärbung sogar 83% Lichtverlust!



Abb. 154.
Kohlenstellung
der Gleichstrom-
bogenlampe.

Zur Vermehrung der nutzbaren Lichtstärke wird die Lampe mit optischen Einrichtungen verbunden, die das nach allen Richtungen ausstrahlende Licht sammeln und als paralleles oder wenig divergentes Bündel nur in wagerechter Richtung austreten lassen, so daß möglichst viele in ein das Feuer von weitem betrachtendes Auge gelangen. Je mehr Strahlen auf diese Weise nutzbar gemacht werden, um so größer ist die wirksame Lichtstärke des Feuers. Lampe und optische Apparate werden zu einem Ganzen vereinigt, das man Leuchte nennt.

Die Mittel zur Sammlung und Ablenkung von Lichtstrahlen sind Spiegel, Linsen und Prismen. Am einfachsten wirkt ein parabolischer Hohlspiegel.

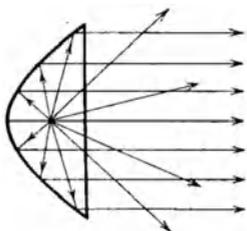


Abb. 155.
Reflexion des Lichtes
durch parabolische
Spiegel.

Stellt man die Lichtquelle in den Brennpunkt, so werden alle den Spiegel treffenden Strahlen so reflektiert, daß sie parallel zur Parabelachse austreten (Abb. 155). Abgesehen davon, daß ein Teil der Lichtstrahlen überhaupt nicht vom Spiegel gefaßt werden kann; entstehen auch noch deshalb große Abweichungen, weil die Lichtquelle nicht ein Punkt, sondern ein Körper ist. Ist sie dagegen sehr klein (elektrisches Bogenlicht), so hängt die Richtung der Ausstrahlung in hohem Maße von der scharfen Einstellung in den Brennpunkt und von der genauen Krümmung des Spiegels ab. Daher wendet man nur für untergeordnete Feuer Spiegel allein an, während man sonst Linsen oder eine Zusammenstellung von Linsen und Spiegeln benutzt.

Die Wirkung der Linsen und Prismen beruht auf dem Snelliusschen Brechungsgesetz: Tritt ein Lichtstrahl aus einem Medium in ein anderes von verschiedener Dichte, so wird der Strahl so abgelenkt, daß

- a) der gebrochene Strahl mit dem einfallenden und dem Lot zur Berührungsebene an die Einfallsstelle (Einfallslot) in derselben Ebene liegt;
- b) der Sinus des Winkels α (zwischen einfallendem Strahl und Einfallslot) mit dem Sinus des Winkels β (zwischen gebrochenem Strahl und Einfallslot) in einem unabhängigen Verhältnis n steht.

Demnach besteht die Beziehung

$$1) \quad \sin \alpha : \sin \beta = n.$$

n ist das Brechungsverhältnis für den Übergang aus dem einen Medium (Luft) in das andere (Glas). Für den umgekehrten Übergang ist dieses Verhältnis $1 : n$. Kurzweg versteht man unter dem Brechungsverhältnis eines Mediums dasjenige für den Übergang des Lichtes aus dem luftleeren Raum in das Medium. Zur Berechnung der Linsen dienen folgende Formeln¹⁾:

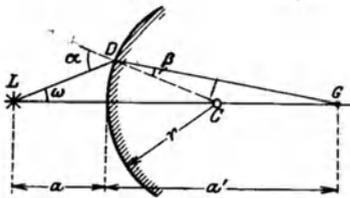


Abb. 156. Lichtbrechung
an einer Kugelfläche.

a) Für den Übergang des Lichtes aus der Luft in eine durch eine kugelförmige Fläche begrenzte Glasmasse (Abb. 156):

Ist r der Krümmungsradius der Kugelfläche, a der Abstand eines leuchtenden Punktes L von der Kugelfläche, C der Krümmungsmittelpunkt, a' der Abstand des Schnittpunktes G des gebrochenen Strahles mit der Achse LC von der Kugelfläche, ferner n das Brechungsverhältnis der Luft, n' dasjenige des Glases, und ist der Winkel ω so klein, daß man das

¹⁾ Nach Jochmann, Experimentalphysik.

Verhältnis der Strecken $LD : DG$ ersetzen kann durch $a : a'$, so besteht die Beziehung

$$2) \quad \frac{n}{a} + \frac{n'}{a'} = \frac{n' - n}{r}.$$

Bei einer durch zwei Kugelflächen begrenzten Linse (Abb. 157) findet eine zweimalige Lichtbrechung statt, nämlich der Strahl LD eines in der Verbindungslinie der beiden Krümmungsmittelpunkte $C_1 C_2$, der sogenannten optischen Achse, gelegenen und um das Maß a von der Linse entfernten Lichtpunktes L wird beim Eintritt in das Glas in die Richtung DG , beim Austritt nochmals in die Richtung EB abgelenkt, so daß er die Achse in der Entfernung b hinter der Linse schneidet. Die Linsendicke sei d . Wendet man die Gleichung 2) für

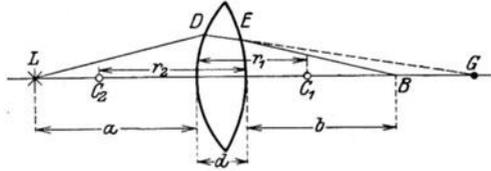


Abb. 157. Lichtbrechung durch eine Linse.

beide Brechungen an und setzt man zur Abkürzung $\frac{n'}{n} - 1 = m$, so erhält man die Formel

$$3) \quad \frac{d}{m + 1} = \frac{1}{\frac{m}{r_1} + \frac{1}{a}} + \frac{1}{\frac{m}{r_2} + \frac{1}{b}}.$$

Wenn die Linsendicke d im Vergleich zu den Strecken a und b vernachlässigt werden kann, so vereinfacht sich die Formel 3) zu dem Ausdruck

$$4) \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = m \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right).$$

Wenn die Lichtstrahlen parallel auf die Linse fallen, so wird $a = \infty$, B wird zum Brennpunkt, und b wird zur Hauptbrennweite; letztere sei mit f bezeichnet, sie ergibt sich also nach Formel 4) aus der Beziehung

$$5) \quad \frac{1}{f} = m \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right).$$

Führt man den Wert f in die Formel 4) ein, so erhält letztere die sehr einfache Form

$$6) \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Nach vorstehenden allerdings nur angenäherten Formeln kann man die Linsen berechnen. Die Formeln behalten natürlich auch ihre Gültigkeit, wenn der Lichtpunkt und der Schnittpunkt des gebrochenen Strahles mit der optischen Achse vertauscht werden; ein im Brennpunkt befindlicher Lichtpunkt sendet Strahlen aus, die aus der Linse achsenparallel austreten. Dies zu bewirken ist die Aufgabe, die die Linsen bei Leuchtfeuerleuchten zu erfüllen haben.

Da man in der Praxis nicht leuchtende Punkte, sondern stets nur leuchtende Körper erzeugen kann, so tritt eine gewisse Streuung ein, die noch vermehrt wird durch die „sphärische Aberration“, das ist die Abweichung der durch die Kugelformen bestimmten Lichtbahnen von den durch die nur angenäherten Formeln ermittelten Wegen. Schärfere Rechnungen haben ergeben, daß die Aberration

am geringsten wird, wenn die dem Lichtpunkt zugekehrte Linsenfläche schwach, die abgekehrte dagegen etwa 6 mal so stark gekrümmt ist. Aus Gründen leichterer Herstellung wählt man meistens plankonvexe Linsen (Abb. 158). Zur Berechnung dieser ist in den Formeln der eine Radius = ∞ zu setzen.

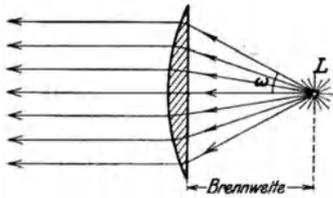


Abb. 158. Plankonvexe Linse.

Damit die Farbenzerstreuung nicht zu groß wird, läßt man den Winkel ω , den die äußersten Strahlen mit der Achse bilden, nicht größer als 30° bis 35° werden. Die Brennweite muß zu der Ausdehnung der Lichtquelle in einem durch Erfahrung festgestellten Verhältnis stehen. Die Linse ist im allgemeinen um so größer zu machen, je weniger die Lichtquelle als Punkt betrachtet werden kann; die größten Leuchten sind daher für Feuer mit großen Glühstrümpfen (Petroleum- oder Spiritusglühlicht) erforderlich, während man bei elektrischem Bogenlicht mit kleineren Leuchten auskommt. Hat aber die Lichtquelle zu geringe Ausdehnung, so werden bei Anwendung großer Linsen wiederum die Fehlablenkungen infolge ungenauer Aufstellung und ungenauen Linsenschliffes sehr groß.

Große Linsen würden eine sehr große Dicke erhalten und nur sehr schwer blasenfrei herzustellen sein. Außerdem würden sie viel Licht verschlucken und erhebliche Fehlablenkungen ergeben. Daher werden die Linsen nach Fresnels

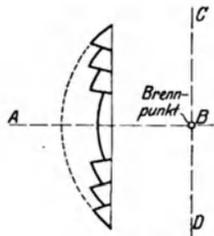


Abb. 159. Zusammengesetzte Linse.

Erfindung aus einzelnen Stücken zusammengesetzt (Abb. 159), die ebenso wirken wie eine Volllinse. Bei jedem Stück kann die Krümmung so bemessen werden, daß die Randstrahlen parallel austreten, die Fehlablenkung also fast verschwindet. Je nach dem Zweck gestaltet man die zusammengesetzte Linse entweder scheibenförmig, wenn die Strahlen als paralleles zylindrisches Bündel austreten sollen, oder gürtelförmig, wenn die Strahlen nach allen Richtungen wagrecht austreten sollen. Die Scheibenform entsteht als Rotationskörper, wenn man den in Abb. 159 dargestellten Querschnitt um die optische Achse AB dreht, die Gürtelform dagegen, wenn die Drehung um die durch den Brennpunkt gehende Senkrechte CD zur optischen Achse erfolgt. Man unterscheidet demnach Scheinwerferlinsen, die nur einen schmalen Streifen beleuchten, und Gürtellinsen, die den ganzen Horizont oder doch einen größeren Sektor bescheinen; die ersteren ergeben die größten Flächenhelligkeiten, weil sie die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen in einem kleinen Bündel vereinigen.

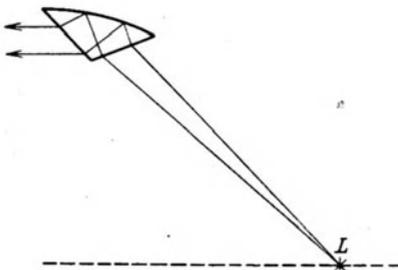


Abb. 160. Katadioptrisches Prisma.

Wollte man aber nur die zusammengesetzten Linsengürtel oder Linsenscheiben benutzen, so würden die wegen der Farbenzerstreuung für die Linse nicht faßbaren Strahlen, die die Lichtquelle steiler als 35° aussendet, verloren gehen. Es ist nun möglich, diese durch Glasprismen mit Hilfe der bekannten Erscheinung der totalen Reflexion gleichfalls wagrecht abzulenken (katadioptrische Prismen). Die Lichtstrahlen treten nach Abb. 160 in das Prisma ein, werden gebrochen, treffen dann aber die Rückfläche des Prismas

unter so flachem Winkel, daß die Bedingung des Snelliusschen Brechungsgesetzes nicht mehr erfüllt werden kann, weil der Sinus des Austrittswinkels größer als 1 würde. In diesem Falle werden die Strahlen ohne Farbenzer-

streuerung vollständig (total) reflektiert. Die Begrenzungsflächen des Prismas können so bemessen werden, daß die Strahlen sämtlich achsenparallel austreten. Die Prismenformen werden nach dem Snelliusschen Gesetz berechnet. Sie werden wie die Linsen als Gürtel oder Scheiben aus mehreren Einzelstücken zusammengesetzt und über und unter der Linse angeordnet. Dadurch entsteht das zuerst von dem Franzosen Fresnel hergestellte und nach ihm benannte Leuchtgehäuse. Abb. 161 zeigt ein solches in Gürtelform, während die Scheibenform aus den Abb. 166 bis 169, S. 126 bis 128, erkennbar ist.

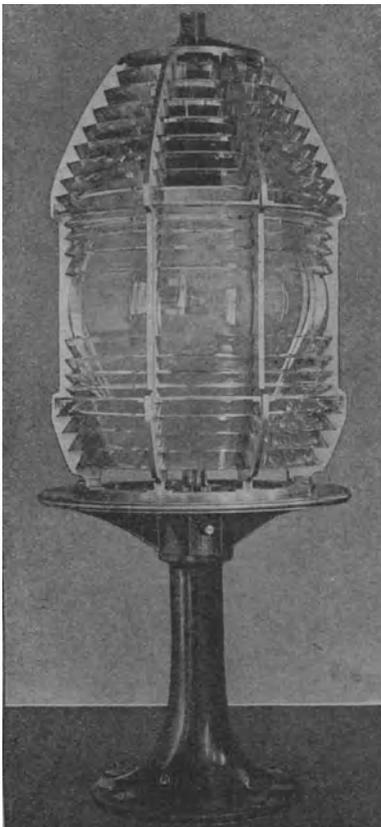
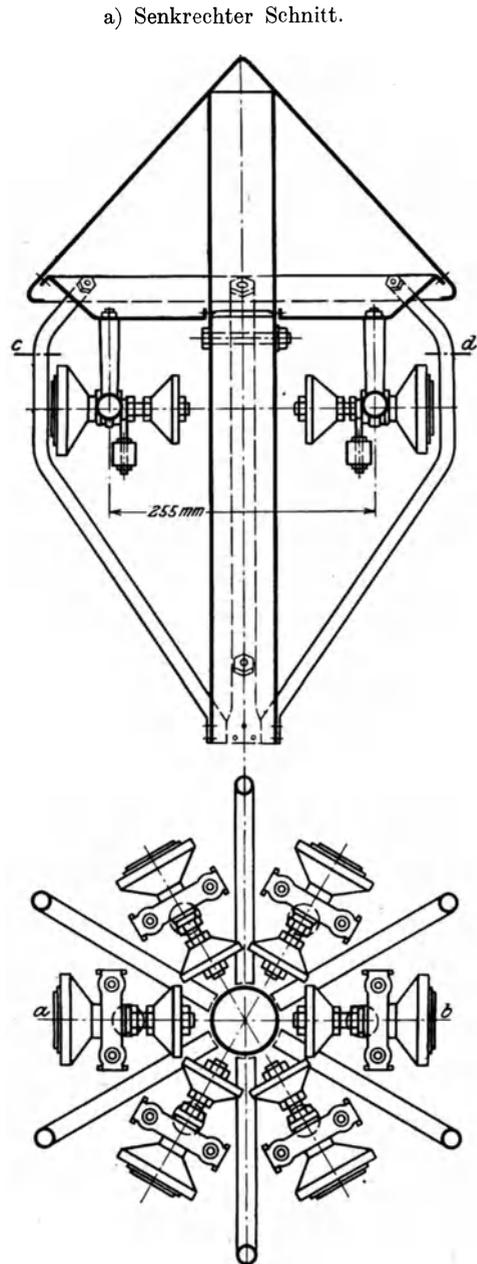


Abb. 161. Fresnelsches Leuchtgehäuse (Gürtelform).



b) Grundriß.

Abb. 162 a und b. Tripel Spiegel.

Tripel Spiegel. Zur Kenntlichmachung von Seetonnen oder Baken ohne Leuchtfeuer bei Dunkelheit sind seit einiger Zeit die sogenannten Tripel Spiegel¹⁾

¹⁾ Braun, Sicherung der Seeschifffahrt. Leuchtbojen. Bericht zum XII. internationalen Schiffahrtskongreß in Philadelphia 1912.

der Zeißwerke in Jena eingeführt worden. Dies sind Glaskörper von der Form einer rechtwinklig zur Diagonale abgeschnittenen Würfecke, die durch Brechung und Totalreflektion des Lichtes die Eigenschaft haben, daß sie die auf sie fallenden Lichtstrahlen nach der Lichtquelle zurückwerfen. 6 bis 8 Tripelspiegel werden kranzförmig um den Aufbau des Seezeichens herum kardanisch so aufgehängt, daß die Schnittfläche der Würfecke senkrecht nach außen hängt (Abb. 162). Sucht nun ein Schiff die Tonne oder Bake aus der Ferne mit seinem Scheinwerfer, so wirft mindestens ein Tripelspiegel das Scheinwerferlicht zum Schiffe zurück. Die Spiegel scheinen selbst zu leuchten, und das Seezeichen ist dadurch sehr weit zu sehen.

5. Kennungsvorrichtungen. Die Lichtunterbrechungen zur Erzeugung der auf Seite 113 beschriebenen Kennungen werden hervorgebracht:

- a) durch vorübergehendes Löschen des Feuers;
- b) durch Verdunkelung (Ablendung) mittels eines Schirmes;
- c) durch Drehung der nur einen Lichtsektor erzeugenden Leuchte.

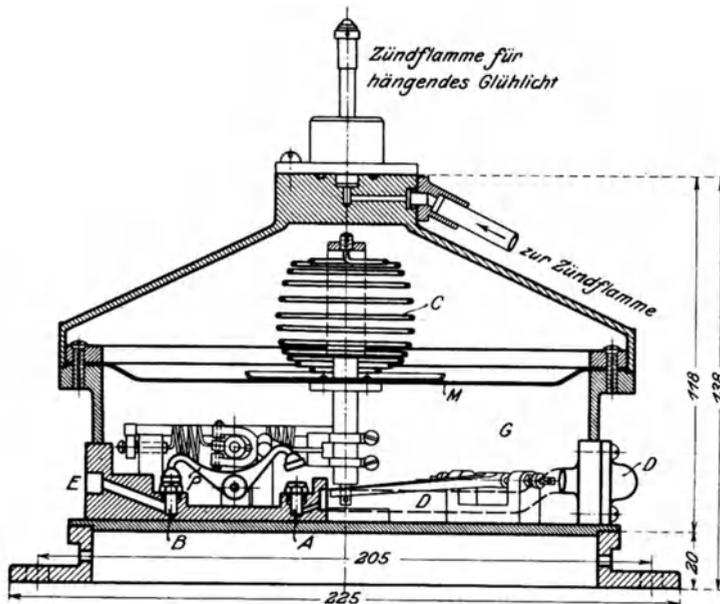


Abb. 163. Pintsch'scher Unterbrecher für Gasfeuer.

Vorübergehendes Löschen des Feuers kann mit Vorteil bei allen Gasfeuern angewendet werden; es trägt nicht wenig zur Gasersparnis bei. Zu diesem Zwecke sind sinnreiche Apparate hergestellt worden, die durch den Druck des Gases selbst betätigt werden. Bei einer bewährten Anordnung der Firma Pintsch tritt das vom Entspannungsventil (vgl. S. 117) kommende, bis auf einen geringen Überdruck entspannte Gas in ein durch eine Membran geschlossenes Gefäß G (Abb. 163) und beult durch seinen Druck die Membran M aus. Sobald diese Ausbeulung eine bestimmte Größe erreicht hat, wird ein von der Membran gesteuerter Hebel P, der an seinen Enden Verschlusskloben trägt, so gestellt, daß der Gas-eintritt B abgesperrt, dagegen der Gasaustritt A geöffnet wird. Nun strömt das Gas zum Brenner und entzündet sich an einer kleinen ständig brennenden und nicht leuchtenden Zündflamme und erzeugt dadurch den Blink. Mit dem Ausströmen des Gases aus dem Membrangefäß läßt sein Druck nach, die Membran geht, durch eine Feder C unterstützt, wieder zurück, dabei dreht sie den Hebel P

wieder in seine frühere Stellung, der Gasaustritt wird gesperrt und der Blink damit beendet; gleichzeitig wird aber auch der Gaseintritt geöffnet, und das Spiel beginnt von neuem.

Diese Vorrichtung, die auch für Gruppenkennungen ausgebildet werden kann, arbeitet ohne Wartung monatelang völlig selbsttätig, sie eignet sich daher auch vorzüglich für Leuchttonnen; die Blinke können bis auf etwa 1,5 Sekunden beschränkt werden, also können damit nicht nur Scheine und Blinke für unterbrochene und Blinkfeuer, sondern auch Blitze, die den Grundsätzen S. 113 noch genügen, erzeugt werden. Sehr kurze Blitze sind durch Löschen des Feuers bei Gasglühlicht nicht möglich, weil das Aufleuchten des Strumpfes eine geringe Zeit erfordert. Bei offenem Azetylenlicht erfolgt dagegen das Aufleuchten ganz plötzlich, so daß man durch stoßweise Gaszufuhr die Blitze bis auf 0,1 Sekunden beschränken kann. Derartig kurze Lichterscheinungen werden durch besonders konstruierte Vorrichtungen erzeugt.

Verdunkelungen durch Löschen des Feuers sind auch bei elektrischem Glühlicht anwendbar. Die Stromunterbrechung geschieht meistens mittels einer gezahnten Scheibe, deren Umfang aus leitenden und nichtleitenden Lamellen besteht, auf denen eine Kontaktfeder schleift (Abb. 164). Die Scheibe wird durch einen kleinen Elektromotor gedreht. Durch das Abspringen der Feder von dem leitenden Zahn wird ein plötzliches Abreißen des Kontaktes

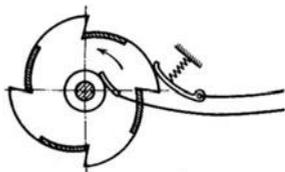


Abb. 164. Scheibenunterbrecher für elektrisches Glühlicht.

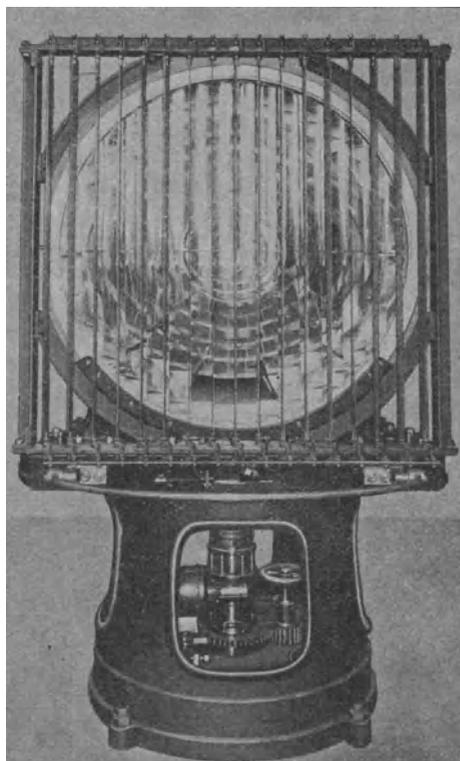


Abb. 165. Leuchte mit Otterscher Blende.

bewirkt, so daß Ausbrennungen durch Funkenbildung vermieden werden. Elektrisches Bogenlicht läßt sich natürlich nicht auf diese Weise unterbrechen, weil dem Aufleuchten erst eine Widerstandsregulierung vorangehen muß.

Zur zeitweiligen Verdunkelung des Lichtes durch Abblendung verwendet man entweder rotierende Schirme oder jalousieartig geteilte, um parallele Achsen bewegliche Blenden nach der Otterschen Bauart. Diese Art der Unterbrechung bedingt also stets eine zeitweilige Nichtausnutzung des erzeugten Lichtes. Sie wird besonders häufig angewendet bei größeren Blinkfeuern, unterbrochenen Feuern und Mischfeuern. Abb. 165 zeigt eine Ottersche Blende an der Vorderseite der in Abb. 169, S. 128, dargestellten Leuchte. Die einzelnen Schirme müssen sehr dünn und ihre Stellung muß sehr genau sein, damit sie in geöffneter Stellung das Lichtfeld möglichst wenig verdunkeln. Ottersche Blenden dienen in der Regel bei Leitfeuern zur Erzeugung der Warnungssektoren an beiden Seiten des

festen Leitsektors. Die Bewegung der Blenden erfolgt mittels einer durch einen kleinen Motor angetriebenen Kurvenscheibe.

Durch Drehen der Leuchte werden meistens die für die stärksten Orientierungsfeuer üblichen Blitzkennungen erzeugt. Dabei können je nach Ausbildung und Stellung der katadioptrischen Einrichtung verschiedene Kennungen erzielt werden. Abb. 166 zeigt eine Leuchte mit 4 Scheinwerferlinsen, die im Grundriß quadratisch gestellt sind. Wird die Linse langsam gedreht, so streichen die 4 um je 90 Grad versetzten Lichtbündel über den ganzen Horizont;

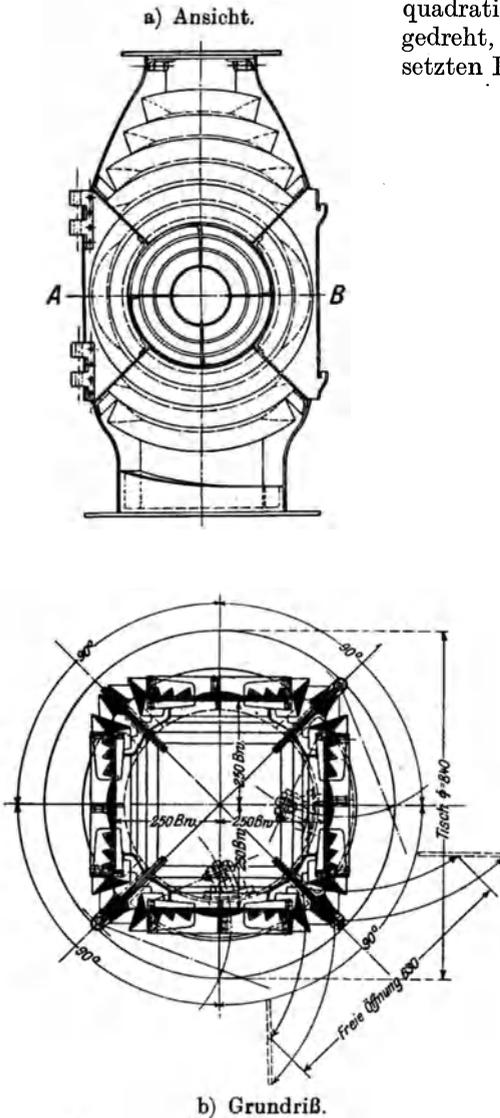


Abb. 166 a und b.

Scheinwerferleuchte für Einzelblitze.

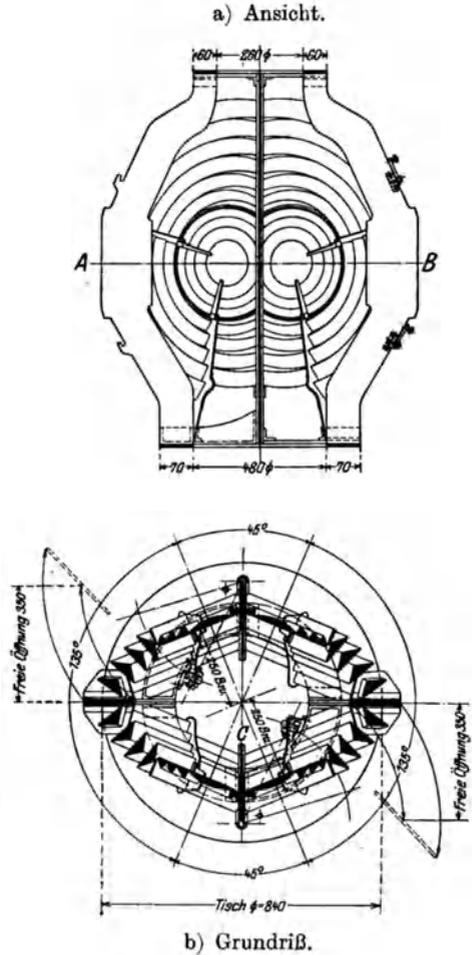


Abb. 167 a und b.

Scheinwerferleuchte für Gruppen von 2 Blitzen.

ein entferntes Auge sieht also kurze blitzartige Lichterscheinungen in gleichen Zeitabständen. Bei der Leuchte nach Abb. 167 sind die 4 Scheinwerferlinsen im Grundriß rhombisch angeordnet, die 4 über den Horizont streichenden Lichtbündel bilden zwei Winkel von 45 Grad und 2 Winkel von 135 Grad; ein entferntes Auge sieht also Gruppen von 2 Blitzen. In Abb. 168 ist eine Leuchte mit 6 Linsen dargestellt, die so angeordnet sind, daß die 6 Lichtbündel der

Reihe nach Winkel einschließen von 30 Grad, 30 Grad, 120 Grad, 30 Grad, 30 Grad, 120 Grad; ein entferntes Auge sieht also Gruppen von 3 Blitzen. Obwohl die Linsen bei der Anordnung nach den Abb. 167 und 168 unsymmetrisch und zum Teil nur zur Hälfte vorhanden sind, können sie doch so bemessen werden, daß die Lichtbündel gleichwertig sind. Damit die Blitze nicht zu kurz werden, läßt man die Lichtstrahlen nicht parallel, sondern in einem nach der Umdrehungsgeschwindigkeit der Leuchte zu bemessenden Winkel austreten; dies wird bewirkt durch Vorsetzen einer nur in wagerechter Richtung streuenden Reihe von Glasprismen vor die Linse. Die auf Seite 119 erwähnte Gleichstrombogenlampe kann mit Vorteil nur nach einer Seite Licht ausstrahlen. Um auch damit Gruppenkennungen zu erzeugen, läßt man sie so schnell umlaufen, daß eine Umdrehung der Folge der Kennung entspricht, und wendet eine Ottersche Blende an, die zur Erzeugung der Pausen zwischen den Lichtgruppen von Zeit zu Zeit geschlossen wird (Abb. 169, S. 128).

Zur Drehung der Leuchten dienen häufig Uhrwerke, besonders wenn erstere in hohen Türmen aufgestellt sind, die eine große Ablaufhöhe für das Antriebsgewicht zulassen. Um die Widerstände der Drehbewegung möglichst zu verringern, läßt man die ganze Leuchte nach Bourdelles Vorschlag auf Quecksilber schwimmen; dadurch kann man mit sehr schwachen Uhrwerken auskommen. Sofern aber andere Kraft zur Verfügung steht, sollte man sich mit einer guten Kugellagerung begnügen. Bei elektrischen Feuern wird man einen kleinen Elektromotor anwenden. Bei Gasfeuern kann man die Auftriebskraft des Gases im sogenannten Auftriebmotor benutzen (Abb. 170, S. 128). Das Gas strömt in den unteren Teil eines mit Quecksilber gefüllten Gefäßes, in welchem ein Schaufelrad gelagert ist; es fängt sich in den Schaufeln und dreht das Rad, indem es aufsteigt. Am oberen Teil entweicht es und strömt nun dem Brenner zu.

Die Firma Pintsch baut außerdem noch Membranmotoren, wobei der Druck des Gases Membranzylinder aufbeult, die mittels Pleuelstangen und Kurbeln eine Welle drehen. Da die Membrane nur einseitig wirken, sind mindestens 3 solcher Zylinder erforderlich, damit die Kurbel nicht auf einem toten Punkt stehen bleiben kann. Die Steuerung erfolgt durch 2 sich berührende Scheiben, die mit Kanälen und Bohrungen für den Gasein- und -austritt versehen sind. Bei Petroleum- und Spiritusfeuern erfolgt die Drehung bisweilen durch kleine Heißluftmotoren, zu deren Antrieb die Verbrennungsgase der Lampe benutzt werden. Schließlich sind noch die sogenannten Dresel zu erwähnen, die durch das Streichen der aus der Lampe aufsteigenden warmen Luft gegen schräggestehende

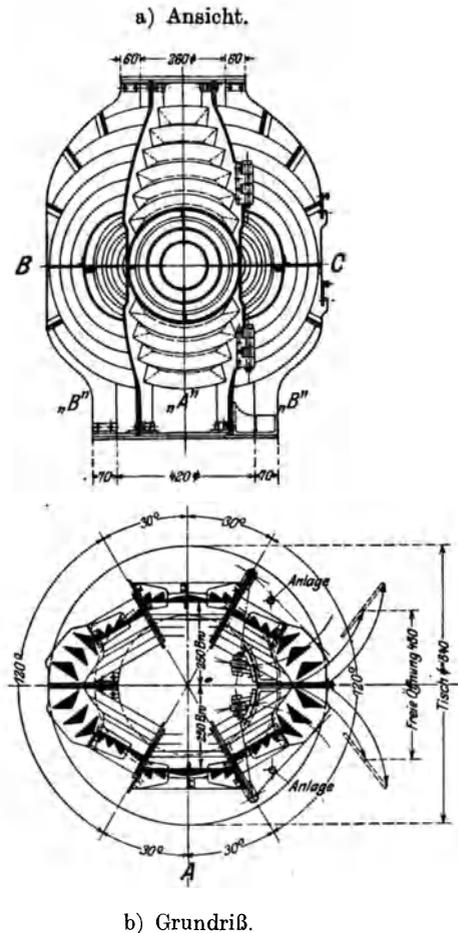


Abb. 168 a und b.
Scheinwerferleuchte für Gruppen
von 3 Blitzen.

Flächen getrieben werden (Luftturbine). Letztere Vorrichtungen erzeugen keinen gleichmäßigen Gang.

Zur tunlichsten Brennstoffersparnis bei ungewarteten Feuern hat man noch Vorrichtungen erdnen, die das Feuer nach Eintritt des Tages selbsttätig löschen

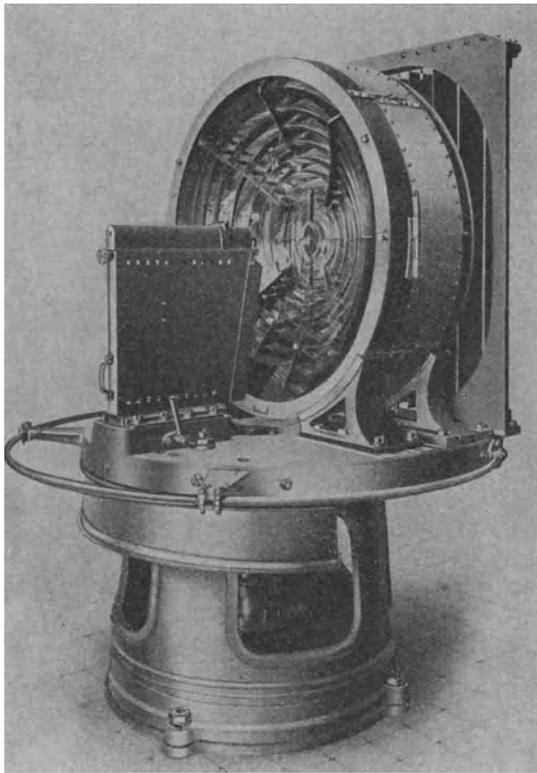


Abb. 169. Schnellumlaufende Scheinwerferleuchte mit Gleichstrombogenlampe und Otterscher Blende.

verschiedene Dehnung geschwärtzter und polierter Metallstäbe infolge von Bestrahlung erzeugt. Das Sonnenventil ist sogar bei Leuchttönen mit Erfolg angewandt worden. Die Firma Pintsch baut mechanische Lösch- und Zünd-

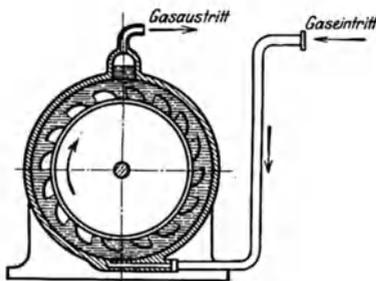


Abb. 170. Auftriebmotor.

uhren, die zu einer beliebig einstellbaren Tagesstunde das Feuer bedienen. Diese Uhren brauchen nur alle zwei Wochen aufgezogen zu werden; für sehr selten bediente Feuer wird der Gasdruck benutzt, um die Uhr nach Ablauf automatisch aufzuziehen.

6. Leuchttönen. Seitdem es gelungen ist, in dem komprimierten Ölgas, im gelösten Azetylen und dem verflüssigten Blaugas Brennstoffe zu finden, die, in verhältnismäßig kleinen Räumen aufgespeichert, monatelang ohne nennenswerte Rußbildung eine auch bei heftigen Schaukelbewegungen nicht verlöschende Flamme zu speisen vermögen, so daß die Wartung nur in großen Zeiträumen zu erfolgen braucht, können auch Seetönen mit Leuchtfeuern ausgerüstet

und es bei Eintritt der Dunkelheit wieder anzünden. Dazu benutzt man die Eigenschaft des Sels, daß es bei Belichtung einen anderen elektrischen Widerstand hat als bei Dunkelheit. Es wird ein durch Primärelemente erzeugter elektrischer Stromkreis durch eine Selenzelle geleitet, die so bemessen wird, daß der Strom durch verschiedene Belichtung des Sels unterbrochen und eingeschaltet wird: Dieser Strom betätigt einen Elektromagneten, welcher den Gaszutritt schließt und öffnet. Eine kleine Zündflamme muß natürlich stets brennen bleiben. Die geringe Betriebssicherheit und die verhältnismäßig großen Unterhaltungskosten der galvanischen Batterie bewirken aber, daß diese Vorrichtung kaum lohnend ist. Besser bewährt sich das von Dalén erfundene Sonnenventil, das die zum Öffnen und Schließen der Gaszuführung erforderliche Bewegung durch

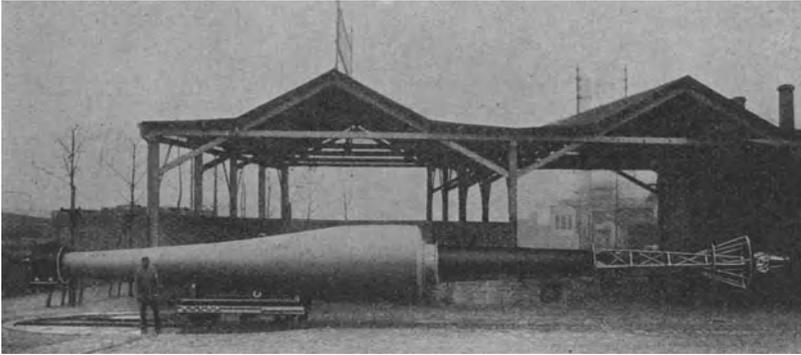


Abb. 171. Tiefwasserleuchttonne für gepreßtes Ölgas.

werden. Da auch die vorstehend beschriebenen, durch Gasdruck betätigten Unterbrechungsvorrichtungen ohne Wartung betriebssicher arbeiten, kann man den Leuchttonnen fast jede beliebige Kennung geben. Allerdings wird letztere durch das Schwanken der Tonne stark beeinträchtigt, indem ein ausgehendes wagerechtes Lichtbündel bei starker Schräglage der Tonne für ein entferntes Auge verloren geht. Falls auf genaue Kennung Wert gelegt wird, benutzt man daher zweckmäßig eine starke Lichtquelle (Azetylen) ohne Linsen. Der Tonnenkörper wird bei Anwendung komprimierten Gases nahtlos geschweißt und als Behälter für 7 bis 10 Atm. Überdruck ausgebildet. Bei Verwendung von gelöstem Azetylen werden die Gasflaschen in besondere Taschen des Tonnenkörpers hineingestellt. Die Tonnen erhalten einen Bakenaufbau, auf dessen oberem Teil die Leuchte aufgestellt wird. Außerdem wird die Tonne gewöhnlich mit einer durch den Wellenschlag betätigten Glocke ausgerüstet. Abb. 171 zeigt eine für größere Wassertiefen gebaute Leuchttonne für gepreßtes Ölgas, Abb. 172 eine Flachwassertonne für gelöstes Azetylen.

7. Feuerschiffe. An besonders wichtigen Punkten, wo auf See außer dem Leuchtfeuer auch ein ständiger Wartung bedürftiges Nebelsignal betrieben werden muß, legt man ein Feuerschiff aus.

Die Leuchtfeuer auf Feuerschiffen werden meistens mit Petroleum oder Ölgas gespeist. Bisweilen werden einfache Ankerlaternen mit festem weißen Licht am Maste aufgezogen; die wichtigeren Stationen werden dagegen mit Kennungen versehen. Um die kennungstörenden Schief-lagen der Leuchte zu vermeiden,

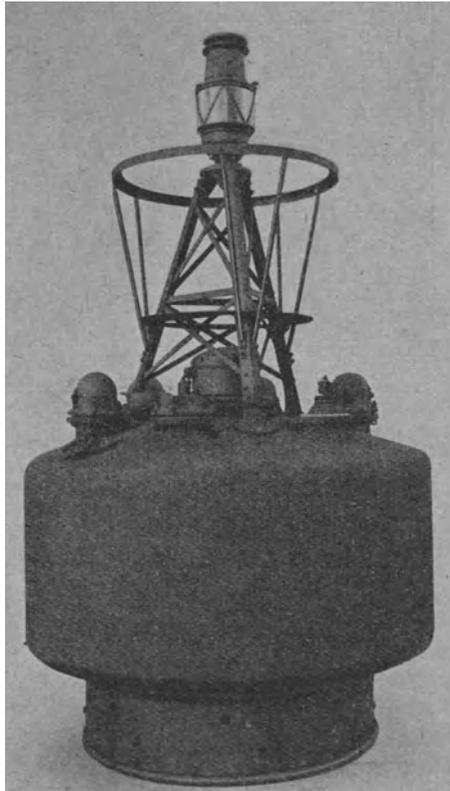


Abb. 172. Flachwasserleuchttonne für gelöstes Azetylen.

werden besondere Vorkehrungen getroffen. Das Schiff wird nämlich so gebaut, daß die Schwingungsdauer seiner Rollbewegungen wesentlich größer ist als diejenige der Wellen bei den höheren Windstärken. Als Mittel dazu dienen die möglichste Steigerung seines Trägheitsmomentes, die Beschränkung der metazentrischen Höhe und die Anordnung von Schlingerkielen. Außerdem wird die Leuchte kardanisich aufgehängt und als physisches Pendel von großem Trägheitsmoment J und geringem Schwerpunktsabstand e von der Schwingungsachse ausgebildet, damit sie ebenfalls eine möglichst große Schwingungsdauer erhält. Die Schwingungsdauer eines physischen Pendels von der Masse m ist nämlich $t = \pi \sqrt{\frac{J}{m \cdot g \cdot e}}$; sie entspricht derjenigen eines mathematischen Pendels von der Länge $l = \frac{J}{m \cdot e}$. Das Maß e darf aber auch nicht zu klein gewählt werden, sonst wird das Bestreben des Pendels, sich in die Lotrechte zu

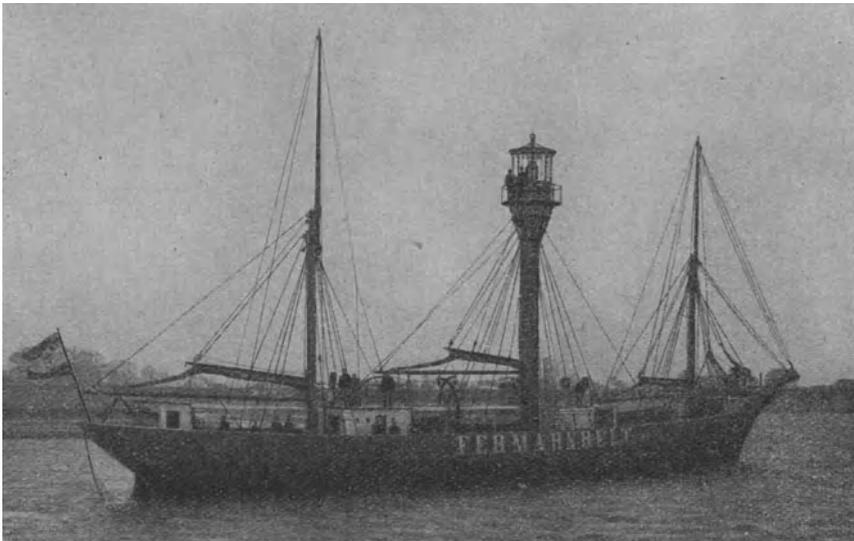


Abb. 173. Feuerschiff „Fehmarnbelt“.

stellen, zu gering. Die erforderliche Massenverteilung wird dadurch erzielt, daß man die Leuchte mit einem nach unten hängenden Arm versieht, der ein schweres Gegengewicht trägt.

Diese Verhältnisse sind zuerst durch eingehende Versuche in Frankreich klargestellt und bei dem Bau der Feuerschiffe „Snow“ und „Sandettié“ berücksichtigt worden¹⁾. Die deutschen Schiffe Amrumbank, Norderney, Borkum Riff, Fehmarnbelt usw. sind noch weiter durchgebildet worden. Sie tragen das Feuer auf einem von innen besteigbaren Turme, der die Segelmaste so weit überragt, daß das Feuer nicht verdeckt wird. Einige sind mit Schraube und Hilfsmaschine ausgerüstet, damit sie bei Eintritt eines Kettenbruches sich selbst bergen und später ihren Standort wieder aufsuchen können. Zum Antrieb für die Schiffsbewegung werden aus Gründen der Betriebssicherheit meistens noch Dampfmaschinen benutzt, während die Kompressoren für die Nebelsignale mit Explosionsmotoren neuerer Bauart (Diesel-

¹⁾ Vgl. Annales des ponts et chaussées 1902, S. 5.

oder Swiderski-Motoren) betrieben werden. Die Schiffe erfordern je nach ihrer Größe einen Schiffsführer, einen Steuermann, 2 Maschinisten und 6 bis 8 Matrosen (Abb. 173).

Besondere Sorgfalt ist auf die Verankerung zu verwenden. Die Schiffe haben außer dem Hauptanker stets noch einen Notanker und stecken bei Sturm bis zu 500 m Kette aus. Trotzdem die Kettenglieder bis zu 52 mm stark gemacht werden und obwohl das Kettenende noch mit einer Puffervorrichtung versehen wird, sind Kettenbrüche bei schwerem Unwetter doch hin und wieder vorgekommen.

Die Feuerschiffe sind im Betriebe die teuersten Seezeichen, deshalb sind die meisten Länder bestrebt, sie auf die wichtigsten Punkte zu beschränken und dafür die Leuchttonnen immer mehr zu vervollkommen.

{D. Nebelsignale.

1. Luftschallsignale. Bei Nebel oder Schneegestöber versagen auch die stärksten Feuer, daher werden an den wichtigsten Orientierungspunkten hörbare Signale betrieben. Diese werden unterschieden in Luftschallsignale und Unterwasserschallsignale. Erstere sind die einfachsten und verbreitetsten, jedoch zugleich die unvollkommensten. Denn die Gesetze der Schallfortpflanzung bei ungleichmäßig dichter und stark bewegter Luft und an den Grenzen von See und Land sind sehr verwickelter Natur. Man hat mit Schallreflektionen, Schallbeugungen und besonders mit Interferenzwirkungen zu rechnen, so daß die Anpeilung eines Schallsignales sehr unsicher ist. Unter manchen Verhältnissen sind die stärksten Luftschallsignale nur wenige hundert Meter weit, unter anderen Verhältnissen dagegen viele Seemeilen weit hörbar. Die Richtung des Schalltrichters hat wenig Einfluß auf die Schallverbreitung. Ein Luftschallsignal kann daher nur den Schiffen von der Nähe gewisser Punkte Kenntnis geben, und es ist zu diesem Zwecke unentbehrlich; als Ansehlungszeichen ist es dagegen wenig brauchbar.

Als Schallerreger benutzt man Glocken, Tamtams, Gongs, Kanonen, Hörner und Sirenen. Die drei ersteren kommen nur für untergeordnete Signale in Betracht. Günstige Wirkungen sind dagegen mit Kanonen erzielt worden, weil die Lufterschütterung durch den Schuß weit vernehmbar ist. Da aber die Kanonen im Betriebe teuer und schwer zu bedienen sind, werden sie immer mehr aufgegeben und durch Hörner und Sirenen, die durch maschinell erzeugte Preßluft oder Dampf geblasen werden, ersetzt. Von den Hörnern hat sich am besten das Stentorhorn der Firma Pintsch bewährt (Abb. 174). Der Ton wird dadurch erzeugt, daß der Luftstrom durch eine schwingende Stahlzunge, die vor der seitlichen Ausströmungsöffnung eines Mundstückes steht, in schneller Folge abwechselnd ausgelassen und abgesperrt wird. Die Hörner werden durch Preßluft oder Dampf von 7 bis 8 Atm. Druck geblasen. Zur Erzeugung einer Kennung

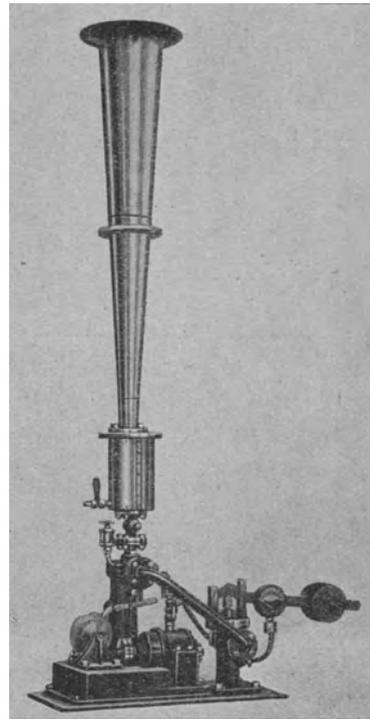


Abb. 174. Stentorhorn.

wird der Zutritt des Antriebsmediums durch ein von einer Kurvenscheibe betätigtes Ventil in bestimmten Abständen ein- und ausgeschaltet. Die Kennungsscheibe wird durch einen geeigneten Motor, meistens durch einen kleinen dreizylindrigen Preßluftmotor, gedreht. Diese Hörner sind auch für Fernantrieb geeignet; die Preßluft wird alsdann mittels einer dünnen Rohrleitung zugeführt. Vor dem Horn muß ein Sammel- und Ausgleichsbehälter eingeschaltet werden.

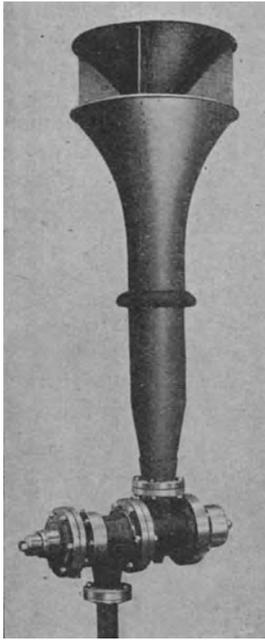


Abb. 175. Trommelsirene.

Die Sirenen (Abb. 175) erzeugen den Ton dadurch, daß ein Luft- oder Dampfstrom gegen eine mit Öffnungen versehene, schnell gedrehte Trommel oder Scheibe stößt und dadurch in rascher Folge unterbrochen und eröffnet wird. Als zweckmäßig für Sirenenantrieb hat sich eine Luftspannung von nur etwa 2 Atm. bewährt. Bei einer freilaufenden Sirene wird die Trommel oder Scheibe, ähnlich wie eine Turbine, durch das Aufstoßen der Luft auf schräge Flächen gedreht. Der Ton ändert sich mit wachsender Umlaufgeschwindigkeit der Trommel beim Ein- und Abstellen des Luftstromes. Man treibt daher oft die Trommel oder Scheibe durch einen besonderen Motor an und erzielt dadurch Töne von völlig gleicher Höhe, die mit denjenigen von Schiffssirenen nicht verwechselt werden können. Die angetriebenen Sirenen sind auch etwas sparsamer im Luftverbrauch als die freilaufenden, weil der Ton sogleich nach Einschalten des Luftstromes anspringt.

Die Wirkung der Sirene ist kräftiger als diejenige des Stentorhornes, jedoch gebraucht sie trotz der geringeren Betriebsspannung erheblich mehr Luft; während für ein Hornsignal mit Tönen von 2 Sekunden Dauer und 6 Sekunden Wiederkehr ein 6- bis 8pferdiger Motor genügt, erfordert eine Sirene für Töne mit 3 Sekunden Dauer und 30 Sekunden Wiederkehr trotz der langen Pausen einen 10- bis 12pferdigen Motor.

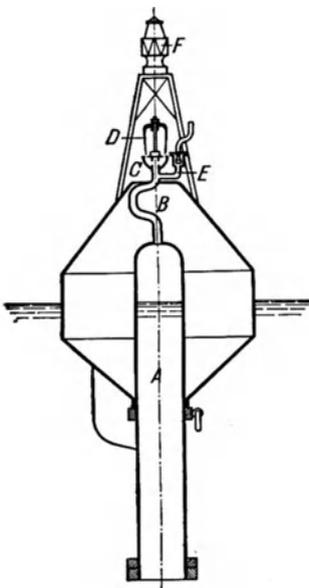


Abb. 176. Heultonnen.

Als Antriebsmaschinen für die Luftkompressoren haben sich neuere Explosionsmotoren, besonders Dieselmotoren, bewährt; sie müssen jedoch stets mit voller Reserve vorhanden sein. Dampfmaschinen sind wegen mangelnder Betriebsbereitschaft nur in Verbindung mit Dynamomaschinen, Sammlerbatterien und Elektromotoren geeignet. Direkter elektrischer Antrieb aus einem Leitungsnetz ist wegen der Entlegenheit der meisten Nebelsignale selten möglich.

Hörner oder Sirenen gehören stets auch zur Ausrüstung eines Feuerschiffes. Seetonnen erhalten als Luftschallsignal meistens nur eine durch die Schaukelbewegungen infolge des Wellenschlages betätigte Glocke. Ausnahmsweise werden sie mit einer durch Druckluft betriebenen Heul- oder Pfeifvorrichtung ausgestattet (Abb. 176). Die Druckluft wird durch die Wellenbewegung erzeugt. In den Tonnenraum hinein ist ein oben geschlossenes, unten offenes

Rohr A eingebaut, dessen oberer Teil über die Wasserlinie ragt. Geht die Tonne infolge des Seeganges nach unten, so wird die im oberen Teile des Rohres A eingeschlossene Luft verdichtet; sie gelangt durch das Rohr B in den Verteiler C und strömt dort durch einen feinen ringförmigen Schlitz gegen den Rand der zwecks Einstellung der Tonhöhe verstellbaren Pfeifenhaube D. Von dem Rohr B zweigt sich noch ein mit der Außenluft in Verbindung stehendes Rohr E ab, welches bei Überdruck der in A befindlichen Luft durch ein Kugelventil geschlossen wird; geht die Tonne aber in die Höhe, so wird die Luft im Rohre A verdünnt, das Kugelventil in E öffnet sich, und es kann die äußere Luft eintreten. Außerdem trägt die Tonne noch eine Leuchte F.

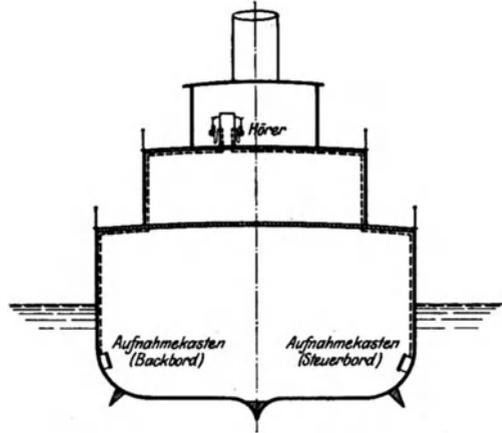


Abb. 177. Aufnahmevorrichtung für Unterwassersignale.

Die Heulbojen haben sich zur Kennzeichnung von bestimmten Punkten als sehr brauchbar erwiesen; ihre Tonstärke hängt aber ganz von der Stärke des Seeganges ab und ist nicht besonders weittragend.

2. Unterwasserschallsignale. Sicherer in ihrer Wirkung als die Luftschallsignale sind erfahrungsgemäß die Unterwasserschallsignale. Die Schallquelle wird 6 bis 8 m unter der Meeresoberfläche angebracht, die Schallwellen breiten sich dann viel gleichmäßiger aus als in der Luft. Zum Auffangen des Tones sind an beiden Seiten der Schiffe möglichst tief unter der Wasserlinie Kästen eingebaut, die mit einer mit der Schiffsaußenhaut bündig liegenden Membran abgedeckt sind (Abb. 177). In jedem dieser Kästen befindet sich eine Mikrophonvorrichtung ähnlicher Anordnung, wie sie bei Postfernsprechern üblich ist. Die Übertra-

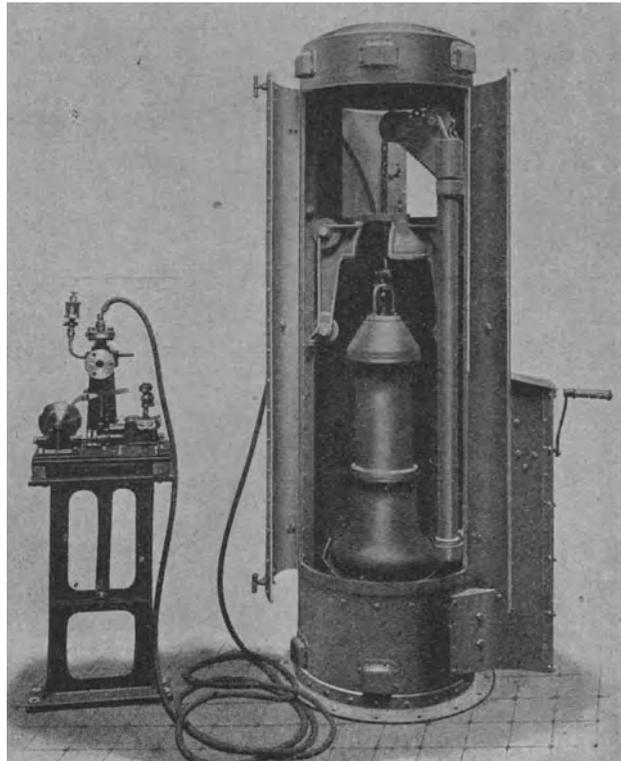


Abb. 178. Unterwasserglocke für Preßluftantrieb nebst Steuerapparat und Versenkungsschacht.

gung des Tones erfolgt mittels einer gewöhnlichen Fernsprechleitung in das Kommandohaus des Schiffes. Für jedes der beiden Mikrophone ist ein besonderer Hörer angebracht. Wenn nun von einer entfernten Station Unterwassersignale abgegeben werden, so sind die Töne nur durch denjenigen Hörer wahrzunehmen, der an das der Schallquelle zugekehrte Mikrophon angeschlossen ist. Dadurch, daß man das Schiff nach derjenigen Seite, von welcher der Schall nach Ausweis des betreffenden Hörers herkommt, so lange wendet, bis beide Hörer gleichmäßig tönen, ist man in der Lage, die Schiffsachse der Schallquelle zuzukehren; durch gleichzeitige Ablesung des Kompasses kann man also diese ziemlich genau anpeilen.

Gut gebaute Unterwassersignale sind unter ungünstigen Umständen 3 bis 4 Seemeilen, unter günstigen Bedingungen bis 20 Seemeilen wahrnehmbar; dabei ist bei Glockensignalen nur eine Antriebsenergie von 2 bis 3 kgm pro Glockenschlag erforderlich.

Als Schallquellen benutzt man meistens dickwandige Glocken, die durch einen Preßlufthammer angeschlagen werden. Die Luft wird durch einen Schlauch der Glocke zugeführt, der Anschlagmechanismus befindet sich in dem Gehäuse über der Glocke (Abb. 178). Die ganze Vorrichtung wird durch einen Schacht vom Feuerschiff aus in die Tiefe gesenkt. Auch Unterwassersirenen, die anstatt mit Luft durch einen Preßwasserstrom angetrieben werden, haben sich als brauchbar erwiesen, jedoch erfordern sie erheblich mehr Kraft als die Glocken. Da die Unterwassersignale in großer Wassertiefe aufgestellt werden müssen, so würden bei Landstationen zu diesem Zwecke lange Seestege erbaut werden müssen. Daher sind Feuerschiffe am meisten geeignet zur Aufnahme von derartigen Signalvorrichtungen; neuerdings sind fast alle wichtigen Feuerschiffe damit ausgerüstet.

Von großer Bedeutung würde die Anbringung von Unterwassersignalen in Seetonnen sein, wie dies für Lichtsignale bereits gelungen ist. Diese Aufgabe hat trotz einiger Erfolg versprechender Versuche eine praktisch hinreichend erprobte Lösung noch nicht gefunden.¹⁾

3. Funkennebelsignale. Einen Ausblick auf wesentliche Verbesserung des Nebelsignalwesens bietet die in letzter Zeit versuchte Anwendung elektrischer Wellen zur Zeichengebung auf große Entfernungen. Die ersten Versuche zu diesem Zwecke

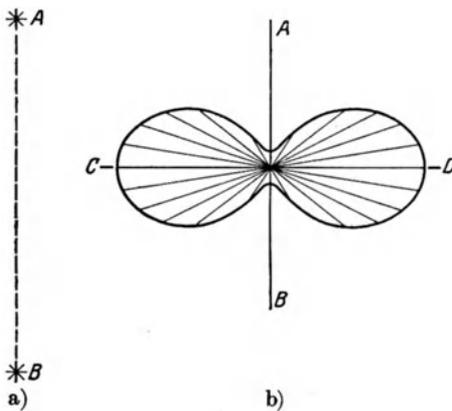


Abb. 179 a und b. Wirkungsweise einer Funkennebelsignalanlage.

sind in Frankreich ausgeführt worden; in Deutschland wurde kurz vor dem Weltkriege eine Versuchsanlage bei Arkona auf Rügen in Betrieb genommen. Der Anordnung liegt folgender Gedanke zugrunde. Wenn nach Abb. 179 a zwei senkrechte Antennen A und B so aufgestellt sind, daß ihre Entfernung gleich der halben Länge der von ihnen ausgesandten elektrischen Wellen ist und wenn beide Antennen gleichgängige Wellen erzeugen, so muß die Wirkung sich in der Verbindungslinie der beiden Antennen aufheben, weil der Wellenberg der einen mit dem Wellental der anderen zusammentrifft; senkrecht zur vorbezeichneten Richtung werden sich dagegen die Wellen verstärken. Die

durch das Zusammenarbeiten der beiden Wellenerreger nach allen Richtungen entstehende Wellenwirkung ist in Abb. 179 b bildlich dargestellt. In der Ver-

¹⁾ Die Norddeutsche Maschinen- und Armaturenfabrik in Bremen bringt eine amerikanische Bauart in den Handel, bei der eine durch den Wellenschlag gespannte Feder die Glockenschläge erzeugt. Diese Tonnen ertönen nicht mit gleichmäßiger Kennung.

Obschon die Häfen meistens gleichzeitig mehreren Zwecken dienen, ist für ihre Ausrüstung doch vornehmlich der Hauptzweck maßgeblich. Während z. B. für Kriegshäfen die militärischen Erfordernisse ausschlaggebend sind, treten bei Verkehrshäfen die Einrichtungen für Handel und Verkehr in den Vordergrund. Je nach Art des überwiegenden Verkehrs werden letztere zu Personen- oder Güterhäfen. Sie werden zu Umschlaghäfen, wenn die Güter dort überwiegend zur Weiterbeförderung in die Eisenbahn oder in Binnenschiffe umgeladen werden, und zu Lagerhäfen oder Stapelplätzen, wenn die Güter von dem Seehafen aus verhandelt werden. Oft werden Güterhäfen beim Überwiegen einer bestimmten Art von Gütern zu Spezialhäfen, wie Kohlen-, Erz-, Holz-, Petroleum-, Getreide-, Fischereihäfen.

Ihrer Lage nach zerfallen die Seehäfen in 3 Arten, nämlich Häfen am Meere, Häfen an Strommündungen oder Buchten und Binnenlands-Seehäfen. Letztere liegen oft weit vom Meere entfernt und sind durch ausgebaute Flüsse oder Seekanäle zugänglich. Nach der technischen Anordnung unterscheidet man offene Häfen, die mit dem Meere stets in offener Verbindung stehen, und geschlossene oder Dockhäfen, die zuzeiten nur durch Schleusen zugänglich sind.

Kriegshäfen müssen vom Meere leicht zugänglich, jedoch durch die örtlichen Verhältnisse so gedeckt sein, daß die Beschießung durch eine feindliche Flotte von See aus nicht möglich ist und daß die Einfahrt leicht durch Forts und Minen gesperrt werden kann. Ihre Ausstattung umfaßt hauptsächlich Anlagen für den Neubau und die Ausbesserung von Kriegsschiffen sowie für die Versorgung der letzteren mit Munition, Verpflegung, Kohlen und dergleichen. Personenhäfen liegen weit draußen am Meere, damit von dem Reisewege noch ein möglichst großer Teil mit der Eisenbahn zurückgelegt werden kann (Cuxhaven, Bremerhaven, Cherbourg, Southampton). Güterhäfen, insbesondere Stapelplätze, liegen dagegen häufig günstiger im Binnenlande, damit die billigere Seefracht noch möglichst weit ausgenutzt werden kann (Hamburg, Bremen, London, Rouen). Für Umschlaghäfen ist guter Eisenbahn- und Binnenschiff-fahrtsanschluß von wesentlicher Bedeutung. Größere Güterhäfen werden ausgestattet mit Straßen, Gleisen, Schuppen, Speichern, Hebe- und Fördervorrichtungen zum Löschen und Laden sowie mit Schiffbau- und Ausbesserungsanstalten.

Unter Freihäfen versteht man solche Becken größerer Häfen, die mit einer Zollgrenze umgeben und zum Zollausland gerechnet werden. Innerhalb des Freigebietes kann die Ein- und Ausfuhr von und nach See und das Lagern der Waren ohne Zollbewachung erfolgen; erst wenn Waren ins Land gehen und dabei die Zollgrenze überschreiten, werden sie verzollt. Die Anlage von Freihäfen ist besonders wichtig für solche Plätze, wo viele Waren aus dem Auslande eingeführt und sofort wieder nach dem Auslande verhandelt werden, weil dann die lästigen Zollförmlichkeiten fortfallen.

Häfen am offenen Meere müssen durch weit in die See hinausgebaute Wellenbrecher gegen den Seegang geschützt werden. Häfen an Strommündungen bedürfen häufig paralleler Leitdämme zur Erhaltung der Einfahrtstiefe über der Barre nach den in Abschn. 12 gegebenen Grundsätzen. Für Binnenlands-Seehäfen ist der richtige Ausbau der Mündungsstrecke des Stromes oder des Seekanals von grundlegender Bedeutung.

Offene Häfen sind an denjenigen Stellen nicht zweckmäßig, wo ein starker Flutwechsel zu hohe Kaimauern und zu verschiedene das Lösch- und Ladegeschäft erschwerende Höhenlagen der Schiffsbode bedingen würde, wo Sturmfluten den Abschluß des Hafens durch hohe Deiche von der meist tief gelegenen Stadt nötig machen und dadurch den Eisenbahnanschluß an die Kais sehr erschweren würden (Emden), oder wo ein starker Schlickfall von den Hafenbecken ferngehalten werden muß. In diesen Fällen muß der Hafen gegen die See oder den Fluß abgeschleust werden, er wird dadurch zum geschlossenen

oder Dockhafen. Gewöhnlich werden nur die inneren Becken abgeschleust, in diesen wird ein dem gewöhnlichen Hochwasser entsprechender Wasserstand gehalten. Je nach der Form der Flutkurve (vgl. S. 37) bleiben die Schleusen bei Hochwasser eine Zeitlang offen, während der die Schiffe wie in einem offenen Hafen ein- und ausfahren können. Nach Eintritt der Ebbe müssen die Tore rechtzeitig geschlossen werden. Bei kleineren Häfen läßt man die später ankommenden Schiffe bis zum Eintritt des nächsten Hochwassers warten; die Schleusen brauchen dann nur aus einem Haupt mit einem einfachen nach binnen kehrenden Torpaar, allenfalls auch noch mit nach außen kehrenden Sturmflutoren, ausgestattet zu werden, man nennt sie Dockschleusen (Abb. 252 auf S. 180). Soll dagegen zu jeder Zeit die Einfahrt möglich sein, was bei allen wichtigen Häfen gefordert wird, so sind die Schleusen als Kammerschleusen auszubilden.

B. Die Außenwerke.

Sind die Hafenbecken nicht bereits durch natürliche Ausbuchtungen der Küste gebildet, so werden sie entweder in das Land hineingegraben oder von der natürlichen Wasserfläche durch Hafendämme abgetrennt. Letztere haben stets auch den Zweck, die Einfahrt abzugrenzen, um das Eindringen des Wellenschlages und des Seesandes in den Hafen zu verhindern; sie sind daher an allen am Meere gelegenen Häfen erforderlich. Man nennt diese Außenwerke Wellenbrecher, wenn sie hauptsächlich den Seegang von einem Hafenbecken abhalten sollen; haben sie dagegen, wie es an Flußmündungen meistens der Fall ist, in erster Linie eine Strömung zusammenzufassen, um Sandablagerungen zu verhindern, so nennt man sie Leitdämme. Der Ausdruck Mole ist im Sprachgebrauch nicht feststehend, vielfach wird er für beide vorgenannte Anlagen gebraucht; richtiger bezeichnet man jedoch damit nur solche Wellenbrecher oder Leitdämme, die gleichzeitig an der Binnenseite zum Anlegen für Schiffe ausgerüstet sind.

Ein durch Hafendämme vom Meere abgetrenntes Becken muß tunlichst so gestaltet werden, daß seine Fläche von See nach Land zunimmt (vgl. Abb. 30 auf S. 30), damit die einlaufenden Wellen sich ausbreiten und nach den auf Seite 30 gegebenen Regeln sich abflachen. In langgestreckte Becken von gleichbleibender Breite, also auch zwischen Leitdämme (vgl. Abb. 45 auf S. 40), laufen die Wellen ohne Schwächung sehr weit ein, selbst wenn die Becken gekrümmt sind. Trichterförmig sich von See nach Land verengende Becken würden geradezu eine Verstärkung der Wellen bewirken. Bei Kaianlagen an Stromufern ist daher erst in größerer Entfernung von der Mündung auf ruhiges Wasser zu rechnen. Seitlich vom Strome abgezweigte Hafenbecken mit verhältnismäßig enger Einfahrt sind naturgemäß besser gegen die Wellen geschützt. Im Tidegebiet hat man oft auch bei Häfen, die nicht an Mündungen größerer Flüsse liegen, Leitdämme anstatt konvergenter Wellenbrecher angewendet, so in Calais, Dünkirchen und andern Orts. Der Zweck ist, die Einfahrt durch Spülung mittels künstlicher Spülbecken offen zu halten; die Leitdämme sollen den Spülstrom möglichst lange zusammenhalten. Andererseits gestaltet man bisweilen die Hafendämme auch an Strommündungen konvergent, um die Wellen abzuschwächen.

Die Köpfe der Hafendämme werden zweckmäßig nach See zu etwas aufgebogen, damit nicht die reflektierten Wellen an die einfahrenden Schiffe geleitet werden (Abb. 181).

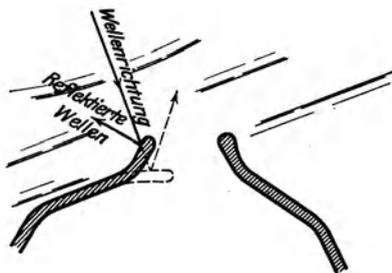


Abb. 181. Hafeneinfahrt.

Die zur Einfahrt von See in ein Hafenbecken erforderliche Öffnung zwischen den Dämmen nennt man kurz die Hafeneinfahrt. Ihre Lage, die von der Grundrißanordnung der Dämme abhängig ist, muß besonders sorgfältig gewählt werden. Dabei sind zwei Hauptgesichtspunkte zu berücksichtigen, nämlich einerseits müssen die Schiffe zu jeder Zeit möglichst leicht und gefahrlos ein- und ausfahren können, andererseits muß der Verflachung des Fahrwassers durch Sandablagerungen tunlichst vorgebeugt werden. Mit Rücksicht auf die Schifffahrt gelten folgende bereits von Ludwig Franzius aufgestellte Regeln¹⁾:

1. Die Einfahrtsöffnung soll so weit seewärts liegen, daß sie bequem anzulaufen ist und daß Schiffe, die sie etwa verfehlen, noch seitwärts genügenden Seeraum zum Wenden finden.

2. Die Einfahrtsrichtung soll tunlichst mit der Richtung des heftigsten Seeganges und der stärksten Strömung zusammenfallen, damit das einfahrende Schiff nicht seitwärts gegen die Hafendämme geworfen wird. In diesem Falle muß jedoch auf der Binnenseite ein weites Hafenbecken folgen, damit die Wellen sich ausbreiten und beruhigen können.

3. Wenn das Hafenbecken klein ist, so kann die Einfahrtsrichtung mit der Richtung des heftigsten Seeganges einen Winkel bis zu 70° bilden, sie muß aber dann nach der Seite, aus welcher der Seegang kommt, durch einen Flügel-damm gedeckt werden (Abb. 182).

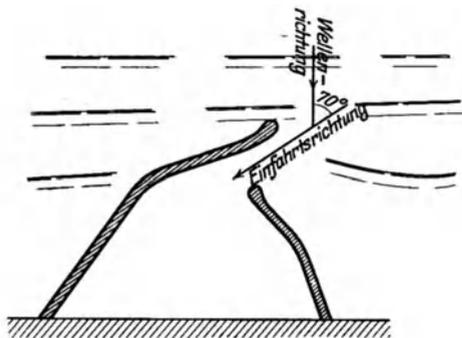


Abb. 182.
Einseitig gedeckte Hafeneinfahrt.

4. Die Einfahrtsrichtung soll mit der herrschenden Windrichtung einen Winkel von mindestens 65° bilden, damit Segelschiffe leicht ein- und aussegeln können²⁾.

5. Die Hafenöffnung soll nie weiter sein, als es zum sicheren Einlaufen der größten verkehrenden Schiffe nötig ist, damit der Seegang tunlichst vom Hafen ferngehalten wird. Gewöhnlich rechnet man darauf, daß zwei Schiffe sich mit dem erforderlichen Spielraum in der Einfahrt

begegnen können. Für kleine Schiffe sind dann 33 m, für größte Schiffe bis zu 200 m Weite erforderlich.

Diese Regeln können am leichtesten an Küsten ohne erhebliche Geschiebewegung, insbesondere an Felsküsten, erfüllt werden. An Küsten mit leichtbeweglichem Grunde muß jedoch mit den Ablagerungen gerechnet werden, die durch den Einbau der Hafendämme erzeugt werden. Ein warnendes Beispiel ist in dieser Hinsicht der erste Versuch zum Bau eines Hafens bei Swakopmund. Kaum war dort die mit großen Kosten errichtete Mole fertig, so war das dadurch geschaffene Hafenbecken vollständig versandet und unbenutzbar.

Es ist nämlich zu beachten, daß ein in die See hineingebauter Hafendamm ähnlich wie eine Bühne wirkt; er hält den am Strande entlang wandernden Sand fest und bewirkt dadurch an der Luvseite Versandungen, die an der Wurzel beginnen und sich nach und nach bis zum Molenkopfe fortsetzen. Dabei treten die auf S. 40 u. 41 beschriebenen und durch Abb. 45 und 47 erläuterten Strömungserscheinungen ein. Am Kopfe selbst wird die Strömung ver-

¹⁾ Vgl. Handbuch der Ingenieurwissenschaften, 4. Auflage, 11. Bd., S. 70.

²⁾ Gegen diese Regel ist bei mehreren kleinen Häfen an der pommerischen Küste verstoßen worden. Die engen Einfahrten liegen dort nach Westen, so daß Segelschiffe ohne Schlepperhilfe oft wochenlang nicht auslaufen können. Bei größeren Häfen ist dieser Umstand nicht so schwerwiegend, weil dort stets Schlepperhilfe verfügbar ist.

stärkt, auf der Leeseite spaltet sich der Strom, in dem Mittelfelde des Nehrstromes lagert sich bald ein Sand ab. Erfahrungsgemäß werden die Ablagerungen bei einseitiger Stromrichtung am geringsten, wenn der Hafendamm unter einem spitzen Winkel, mit der Stromrichtung geneigt, vom Ufer abzweigt, dann in einen zum Meere konvexen Bogen übergeht, dessen Ende etwa parallel zum Ufer gerichtet ist (Abb. 183). Besondere Vorteile für die Vermeidung der Ablagerungen versprach man sich von

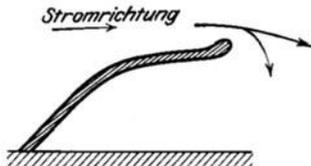


Abb. 183. Hafendamm bei einseitiger Stromrichtung.

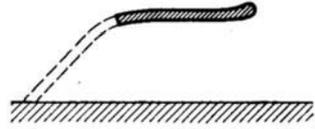


Abb. 184. Hafendamm mit Freipaß.

einer Öffnung an der Molenwurzel, einem sog. Freipaß. Es scheint aber, als ob solcher nur wirksam ist, wenn die Öffnung sehr groß und der feste Teil der Mole im Vergleich zu ihr nur kurz und parallel zum Strande gerichtet ist (Abb 184). Es ist klar, daß solche Anlage nur wenig Wellenschutz bieten kann. Wird der Freipaß enger gemacht, so wird die Küstenströmung im Hafen geschwächt, und die Ablagerungen werden größer, als ob die Mole an das Ufer angeschlossen wäre. So ist der Hafen von Ceara an der Nordostküste von Brasilien fast bis zur völligen Trockenheit versandet (Abb. 185).¹⁾ Auch der Hafen von Seebrügge bietet ein beachtenswertes Beispiel (vgl. S. 203).

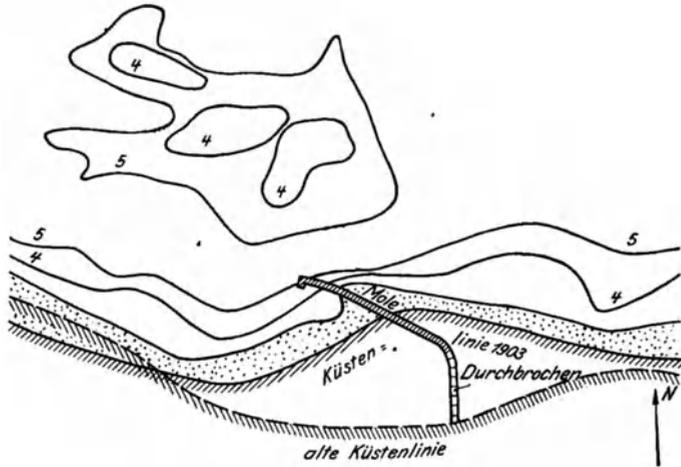


Abb. 185. Versandeter Hafen von Ceara.

Wenn Strömung und Sandbewegung abwechselnd aus beiden Richtungen kommen, so sind zwei flach konvex gekrümmte Wellenbrecher nach Abb. 186 am meisten zu empfehlen, denn sie bewirken, daß der Küstenstrom in schlanker Führung ungeschwächt an dem Hafen vorbeigeleitet wird, ohne in das Becken einzudringen. Die Molen können, wie punktiert angedeutet ist, an der Wurzel auch unter steilerem Winkel vom Ufer abzweigen, weil die Zwickel zwischen

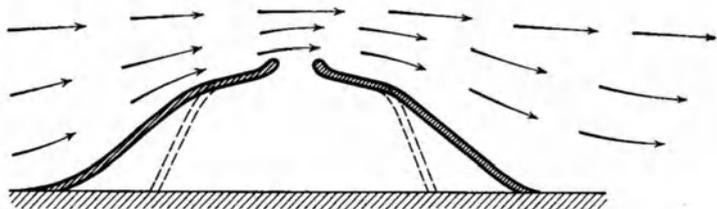


Abb. 186. Hafendämme bei wechselnder Stromrichtung.

Uferlinie und Mole doch bald versanden. Aber auch bei einseitiger Stromrichtung dürfte diese Anordnung zweckmäßig sein, weil sie die Stetigkeit der Strömung

¹⁾ Aus F. W. O. Schulze, Seehafenbau.

am wenigsten beeinträchtigt und die Nehrstrombildung verhindert. Daß an den am weitesten vorspringenden Molenteilen, also in der Nähe der Einfahrt, die Strömungsgeschwindigkeit durch die Einschnürung vermehrt wird, kann nur günstig wirken. Die Häfen von Ymuiden, Dover u. a. bestätigen diese Tatsachen.

Außer den parallel zur Uferlinie wandernden Sandmassen ist noch mit den bei heftigen Stürmen aus der Tiefe senkrecht zur Strandlinie geworfenen zu rechnen (Strandwallbildung, vgl. S. 43). Diese dringen durch die Hafeneinfahrt in das Becken ein und können nur durch Baggern entfernt werden. Ein Übergreifen einer Mole über die andere gemäß Abb. 182, S. 138, wirkt in diesem Falle günstig, jedoch nur dann, wenn die Küstenwanderung des Sandes nur von der Seite der übergreifenden Mole her stattfindet.

Die Lage der Einfahrt kann also nicht allen Erfordernissen Rechnung tragen; man muß daher unter sorgfältiger Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse die einzelnen Vor- und Nachteile verschiedener Anordnungen gegeneinander abwägen. In erster Linie sollte stets die Rücksicht auf sichere Ein- und Ausfahrt der Schiffe und auf möglichst Fernhaltung der für das Löschen und Laden schädlichen Wellenbewegung maßgebend sein, zumal da die Beseitigung von Versandungen nach dem heutigen Stande der Baggertechnik viel leichter möglich ist als noch vor wenigen Jahrzehnten. Es gibt jedoch Küstenstrecken, an denen die Sandbewegung so bedeutend ist, daß die Erhaltung der Fahrtiefe unmöglich wird, wenn bei Gestaltung der Hafendämme nicht darauf Rücksicht genommen wird.

Zur Vermeidung von Sandablagerungen hat man auch sogenannte Inselhäfen vorgeschlagen. Bei diesen wird in größerer Entfernung vom Ufer durch eine ringförmige Mole ein Becken gebildet, so daß die Sinkstoffe, wenn die Wasserfläche zwischen Becken und Ufer groß genug ist, dort hindurchwandern können. Die Einfahrtsöffnung wird dem Ufer zugekehrt, so daß weder Sand noch Wellen eindringen können. Die Verbindung mit dem Lande wird durch eine Brücke hergestellt. Eine kleinere Anlage dieser Art ist bei Snogeböeck auf Bornholm ausgeführt worden und hat sich dort gut bewährt; für größere Häfen wird die Anordnung der Kosten wegen wohl nicht in Frage kommen.

C. Die Hafenbecken.

1. Die Reede. Man unterscheidet bei einem Seehafen Reede, Vorbecken und innere Hafenbecken (vgl. das Beispiel von Boulogne, S. 202, Abb. 281). In vielen Fällen können jedoch, je nach den örtlichen Verhältnissen, einzelne dieser Teile fortfallen. Bei kleineren Anlagen ist manchmal nur ein einziges Becken vorhanden, während bei Welthäfen eine sehr große Anzahl erforderlich wird.

Die Reede ist eine vor der Hafeneinfahrt liegende geschützte, aber leicht zugängliche Wasserfläche mit reichlicher, jedoch nicht übermäßiger Tiefe und mit gutem Ankergrund. Hier können solche Schiffe ankern, die aus irgend einem Grunde nicht sogleich in den inneren Hafen einfahren. Eine Reede ist besonders notwendig bei nicht jederzeit zugänglichen Dockhäfen sowie bei Kriegshäfen. Bei letzteren muß sie gegen feindliche Angriffe geschützt sein; sie dient zur Sammlung und Aufstellung der Schiffe, bevor die Flotte dem Feinde entgegengieht. Beim Fehlen der Reede würde der Feind die einzeln aus dem Hafen herauskommenden Schiffe leicht nacheinander abschießen können. Als Reede dienen meistens natürliche Buchten, die durch Inseln, Landzungen und Untiefen gegen Seegang geschützt sind. (Kieler Bucht, Jadebusen.) Auch die Flutrichter der Tideflüsse sind dazu geeignet. In manchen Fällen muß aber die geschützte Liegefläche durch den Bau von Hafendämmen ergänzt oder künstlich geschaffen werden.

Ein Beispiel dieser Art ist der Hafen von Cherbourg, vgl. Abb. 187. Die Größe der Reede muß so bemessen sein, daß alle gleichzeitig auf Einfahrt wartende Schiffe vor Anker gehen und frei schwojen können. Dazu ist ein Kreis erforderlich, dessen Radius gleich Schiffslänge + Ankerkette ist. Letztere muß mindestens dreimal so lang als die Wassertiefe sein. Hieraus ergibt sich nach Voisin, daß für kleine Schiffe (bis etwa 150 Tonnen Tragfähigkeit) eine Fläche von 1 ha, für Schiffe von 100 m Länge eine solche von 10 bis 15 ha, für ganz große Schiffe eine solche von 40 ha erforderlich ist. Bei Handelshäfen, die jederzeit zugänglich sind, insbesondere an Strommündungen und bei Binnenlandsseehäfen, fällt die Reede fort.

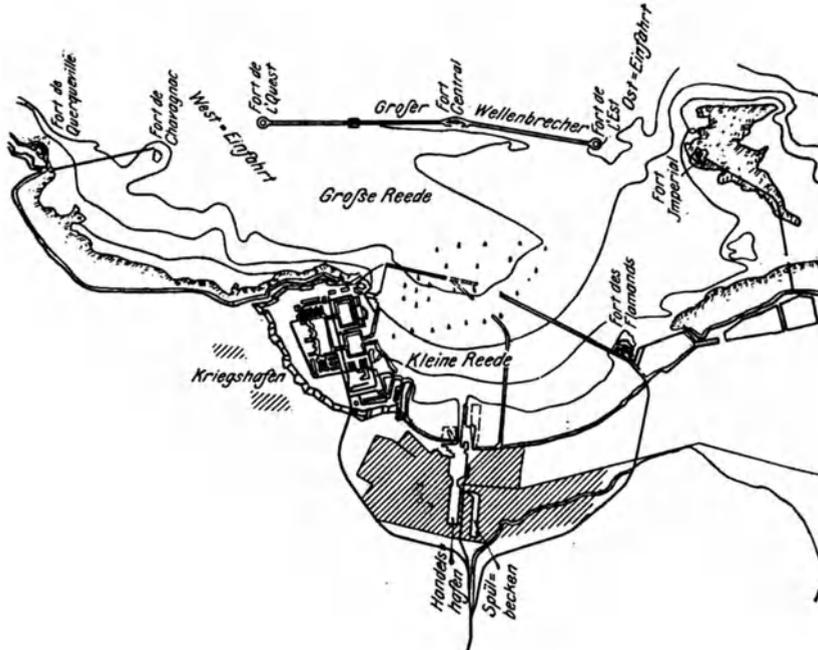


Abb. 187. Hafen von Cherbourg.

2. Vorbecken. Vor den inneren Hafenbecken werden bisweilen Vorbecken angeordnet, in denen die Schiffe unter völligem Schutz vor Wellen und Strömung liegen können, ohne den Verkehr des inneren Hafens zu stören. In diesen Becken können auch die einfahrenden Schiffe, die mit Rücksicht auf die Steuerfähigkeit noch mit erheblicher Geschwindigkeit durch die enge Öffnung zwischen den Außendämmen gehen müssen, allmählich zum Stillstand kommen; größere Segelschiffe können hier beim Einlaufen die Segel niederholen und Schlepperhilfe besorgen, beim Auslaufen die Segel wieder setzen; Schiffe, die nur vorübergehend Schutz suchen, können hier verweilen u. dgl. m. Besonders wichtig sind offene Vorbecken bei Dockhäfen mit einfachen Dockschleusen, weil die Schiffe dort geschützt die Zeit des Hochwassers zur Einfahrt in den inneren Hafen abwarten müssen. Sie sind unbedingt notwendig, wenn der Dockhafen einer Reede ermangelt.

Bei manchen Dockhäfen findet man noch sogenannte Halbtidebecken; dies sind Vorbecken, die von halber Ebbe bis zur nächsten halben Flut geschlossen sind und während dieser Zeit ihren Wasserstand in halber Fluthöhe halten, im übrigen aber offen stehen; sie bilden den Übergang zu den eigentlichen Dockbecken, können aber leichter aufgesucht werden, weil sie längere Zeit offen

sind. Sie bieten besseren Schutz gegen die Wellen als die offenen Vorbecken und dienen daher auch zur Erledigung der nur kurze Zeit erfordernden Abfertigungsgeschäfte (Verklärung, Lebensmittelübernahme u. dgl.). Bei neueren Dockhäfen mit Kammerschleuse läßt man die Halbtidebecken meistens fort.

3. Die inneren Hafenbecken. Der überwiegende Lösch- und Ladeverkehr spielt sich in den inneren Hafenbecken ab, die bei großen Häfen sehr zahlreich und häufig als Sonderhäfen für bestimmte Arten von Waren eingerichtet sind. Die Anordnung der inneren Hafenbecken richtet sich ganz nach den örtlichen Verhältnissen; allgemein gültige Regeln lassen sich dafür nicht aufstellen. Sind von Natur große und geschützte Wasserflächen mit ausreichender Tiefe vorhanden oder können sie durch den Bau von Wellenbrechern leicht künstlich geschaffen werden, so wird einfach die erforderliche Anzahl von Landekais in die Wasserfläche hineingebaut (Beispiel: Marseille, Abb. 279, S. 199). Müssen die Becken dagegen in das Land hineingegraben werden, oder ist die Ausdehnung des Hafens wegen Platzmangels möglichst einzuschränken, so zweigt man die einzelnen Becken von der Zufahrtsstraße oder einem gemeinsamen Vorplatze ab und läßt dazwischen schmale Kaizungen stehen (Beispiel: Hamburger Hafen, Abb. 285

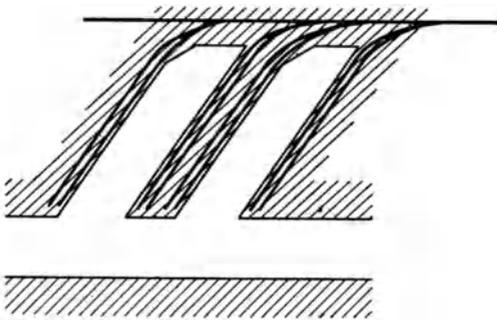


Abb. 188.
Schräge Beckenanordnung.

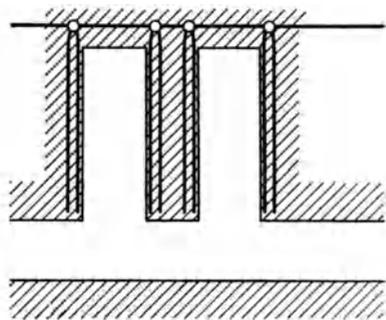


Abb. 189.
Senkrechte Beckenanordnung.

S. 205). Der Vorplatz dient zugleich als Wendeplatz. Hierzu ist eine Wasserfläche mit einem Durchmesser von mindestens dem Anderthalbfachen der größten Schiffslänge erforderlich; bei den neuen Hamburger Anlagen am Köhlbrand ist ein Wendeplatz von 550 m Durchmesser vorgesehen. Das Wenden großer Schiffe geschieht stets mit Schlepperhilfe; bei Seitenwind würde auch ein größerer Dampfer mit eigener Kraft nicht mehr drehen können, ohne auf die benachbarten Kais getrieben zu werden. Für die Grundrißanordnung der Hafenbecken ist die Rücksicht auf zweckmäßige Ausbildung des Anschlusses an die Eisenbahn und an etwaige Binnenwasserstraßen maßgebend. Es empfiehlt sich, die Stichbecken schräg von den Hauptbecken oder der Zufahrtsstraße abzuzweigen, um die Kaigleise ohne zu scharfe Krümmungen an die Gleisstraßen heranführen zu können (Abb. 188); es sind jedoch auch vielfach senkrecht abzweigende Becken ausgeführt worden (Abb. 189). Bei mangelnder Breite der Kaizungen muß man dann den Anschluß der Kaigleise an die Zufahrtgleise durch Drehscheiben ermöglichen.

Bei offenen Häfen können die Becken in beliebiger Anzahl nebeneinander an die Zufahrtwasserstraße angereicht werden, während bei Dockhäfen die Abzweigung von einem gemeinsamen Becken aus vorzuziehen ist, um die Anzahl der Schleusen einzuschränken (vgl. Bremerhaven, Abb. 283, S. 204). Bei großen Dockhäfen werden die Becken in Gruppen angeordnet; jede Gruppe ist von einem durch besondere Seeschleusen zugänglichen Hauptbecken abgezweigt (vgl. Liverpool, Abb. 284, S. 204). Da es vorkommen kann, daß eine Schleuse von Schiffen

ingerammt wird, so wendet man auch häufig zwischen den einzelnen Becken oder Beckengruppen noch Verschlüßstore an, die aber gewöhnlich offen stehen und nur im Falle der Not das Auslaufen des ganzen Hafens verhüten sollen.

Die Abmessungen der einzelnen Hafengebeken sind sehr verschieden. Die Länge wird bisweilen so bemessen, daß an jeder Längsseite nur ein Schiff anlegen kann (Abb. 190 a). Dazwischen muß noch ein Spielraum von 10 bis 15 m bleiben. Soll noch ein Umschlagverkehr aus dem Seeschiff in Flußschiffe stattfinden,

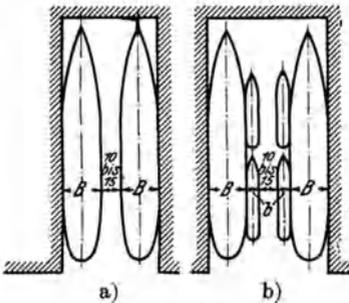


Abb. 190.
Becken für eine Schiffslänge.

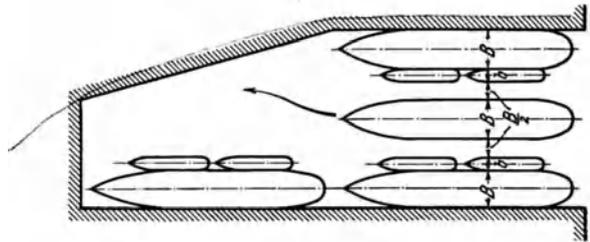


Abb. 191.
Becken für zwei Schiffslängen.

so ist die Breite des Beckens um zwei Binnenschiffsbreiten, d. h. 15 bis 20 m, zu vergrößern (Abb. 190 b). Ist B die Breite der größten verkehrenden Schiffe, b die Breite der Flußschiffe, so wird also die Beckenbreite $2B + 2b + 15$. Wenn die Beckenlänge für zwei Schiffslängen eingerichtet ist, so muß zwischen den am Beckeneingang liegenden Schiffen noch Raum für die Durchfahrt zum hinteren Beckenteile bleiben (Abb. 191). Für den Mindestspielraum von Schiff zu Schiff rechnet man das Maß $\frac{B}{2}$, so daß

die Gesamtweite des Beckens wird $4B + 2b$. Bei sehr langen Hafengebeken muß die Begegnung zweier Schiffe im Becken ohne Störung des Löschbetriebes der am Kai liegenden Schiffe stattfinden können, die Beckenbreite wird daher $5\frac{1}{2}B + 2b$ (vgl. Abb. 192). Wenn für größte

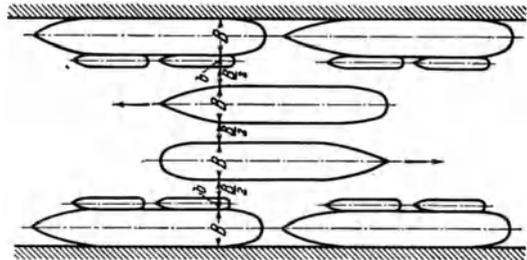


Abb. 192.
Becken für mehr als zwei Schiffslängen.

Seeschiffe die Länge zu 250 bis 300 m, die Breite zu 25 bis 30 m angenommen wird (vgl. S. 98), so werden die Mindestabmessungen der Becken:

- bei Kailängen für 1 Schiff: Beckenlänge 250 bis 300 m, Beckenbreite 80 bis 95 m;
- bei Kailängen für 2 Schiffe: Beckenlänge 500 bis 600 m, Beckenbreite 120 bis 140 m;
- bei größeren Kailängen: Beckenlänge 750 m und mehr, Beckenbreite 160 bis 185 m.

Die Mehrzahl der verkehrenden Seeschiffe hat allerdings erheblich kleinere Abmessungen, immerhin wird man bei Neuanlagen auf die künftige Entwicklung Rücksicht nehmen müssen. An den Enden längerer Becken, wo eine Begegnung der Schiffe nicht mehr stattfinden kann, kann die Breite eingeschränkt werden; dadurch werden Abschrägungen ermöglicht, die für die Entwicklung der Weichenstraßen für die Kaigleise von großem Vorteile sind (Abb. 191).

Ausgeführte Beckenabmessungen sind in nachfolgender Zusammenstellung¹⁾ aufgeführt.

Hafen	Bezeichnung des Beckens	Länge	Breite
		m	m
New York . . .	Neuere Becken in Cheltsea City	244—251	75
New York . . .	Lloydhafen Hoboken	270	80
Boston	Albany-Eisenbahnbecken	236	61 u. 76
London	Tilbury-Docks, Hauptbecken	550	183
Stettin	Freihafen	1200	100
Emden	Neues Binnenbecken	1300	250
Bremerhaven . .	Kaiserhafen	1400	115
Bremerhaven . .	Geplante Becken	2000	125
London	Royal Albert-Docks	2000	150
Bremen	Hafenbecken I und II	1850 u. 1720	120 u. 100
Hamburg	Kaiser Wilhelm- und Kuhwärder-Hafen . .	1070	200—240
Hamburg	Neuer Seeschiffhafen I und II	1800 u. 1600	300

Die Breite der Kaizungen richtet sich ganz nach der im folgenden Paragraphen beschriebenen Ausrüstung mit Straßen, Gleisen, Schuppen und Speichern; unter mittleren Verhältnissen kann man dafür 200 bis 250 m rechnen. Becken für nur eine Schiffslänge werden nur noch selten ausgeführt, weil eine Gruppe von solchen Becken zu zahlreiche Gleisverbindungen erfordert im Vergleich zu einer ebenso leistungsfähigen Anlage mit langen Becken. Die meisten neueren Häfen haben daher lange Becken erhalten.

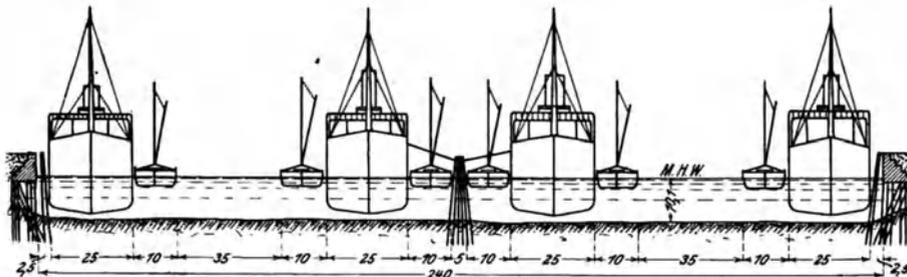


Abb. 193. Querschnitt durch ein neues Hamburger Becken.

Die aus vorstehender Zusammenstellung ersichtliche große Breite der neuen Hamburger Becken erklärt sich dadurch, daß sie eigentlich Doppelbecken für den Warenumschlag vom Seeschiff zum Flußschiff sind. Die Becken sind durch eine Dalbenreihe der Länge nach in zwei Hälften geteilt (Abb. 193). Außer an den beiden Längskais machen noch zwei Reihen Seeschiffe an den Dalben fest, und zwar werden sie durch schrägliegende Hölzer auf einen Abstand von 10 m von den Dalben „abgebäumt“, so daß noch Raum für dazwischen liegende Binnenfahrzeuge bleibt. Es können also 4 Reihen Seeschiffe gleichzeitig entladen werden, von denen die beiden an den Kais liegenden auf einer Seite an Land, auf der anderen Seite in ein Flußschiff, die beiden an den Dalben liegenden dagegen auf beiden Seiten in ein Flußschiff löschen.

Bei allen Neuanlagen ist übrigens die Tatsache zu beachten, daß es fertige Häfen nicht gibt; jeder Hafen ist in dauernder Entwicklung begriffen, die schon durch die technischen Fortschritte im Schiffbauwesen und in der Fördertechnik bedingt ist. Was heute modern ist, ist in wenigen Jahrzehnten schon veraltet. Daher sollten Neuanlagen nicht für zu ferne Zukunft gebaut werden, jedoch sollte stets die Erweiterungsmöglichkeit gewahrt bleiben.

¹⁾ Nach F. W. O. Schulze, Seehafenbau.

D. Besondere Erfordernisse für den Personenverkehr.

Die Einrichtungen für den Personenverkehr beschränken sich auf die Einrichtungen zum Aufenthalt und zum Umsteigen der Passagiere von der Eisenbahn zum Schiff und umgekehrt, zur Abfertigung und Verzollung des Reisegepäcks, zur Beobachtung des Gesundheitszustandes der Reisenden, zur Übernahme der Post und zur Lebensmittelversorgung und Bekohlung der Schiffe. Diese Einrichtungen müssen so getroffen werden, daß der Aufenthalt der Schiffe aufs Äußerste beschränkt wird. Das zeitraubende Einlaufen der großen Personendampfer in die inneren Hafenbecken wird daher tunlichst vermieden, und die Abfertigung erfolgt in den Vorbecken oder auf der Reede.

Man unterscheidet Endhäfen und Anlaufhäfen für den Personenverkehr; letztere sind Zwischenhäfen, die von den Personendampfern nur ganz kurze Zeit besucht werden, um Personen aufzunehmen und abzusetzen und die Post überzunehmen. Als Beispiel eines Endhafens für die neuzeitigen Riesenschneldampfer sei Cuxhaven erwähnt (Abb. 194). Die Dampfer laufen zunächst nicht in das Hafenbecken ein, sondern machen an einem

Landungshöft \int am äußeren Hafenkopfe fest; dies ist möglich, weil die ganze Anlage in dem vorheftigem See-

gang meistens geschützten

Fluttrichter der Elbe liegt. Der

Bahnsteig, auf dem die Schnellzüge halten, liegt auf dem Höft dicht neben dem Kai. Erst wenn die Personen abgestiegen sind, gehen die Dampfer in das Becken zur Ausrüstung¹⁾. Ähnlich ist die Abwicklung des Personenverkehrs in Southampton. Auch in Le Havre wird trotz des großen Flutwechsels jetzt ein offenes Becken mit genügender Wassertiefe unter Niedrigwasser hergestellt, damit die Schneldampfer nicht zu den Dockbecken durchgeschleust zu werden brauchen.

Bei Anlaufhäfen bleiben die großen Dampfer häufig auf der Reede liegen; das An- und Abbringen der Personen, des Reisegepäcks und der Post geschieht dann durch kleinere Dampfer, sogenannte Tender. Auf diese Weise verkehren die großen überseeischen Schneldampfer der Hamburg-Amerika-Linie und des Norddeutschen Lloyd in Cherbourg und Boulogne; auch in Hamburg wird der Verkehr nach den bei Brunshausen liegenden Schneldampfern durch Tender vermittelt.

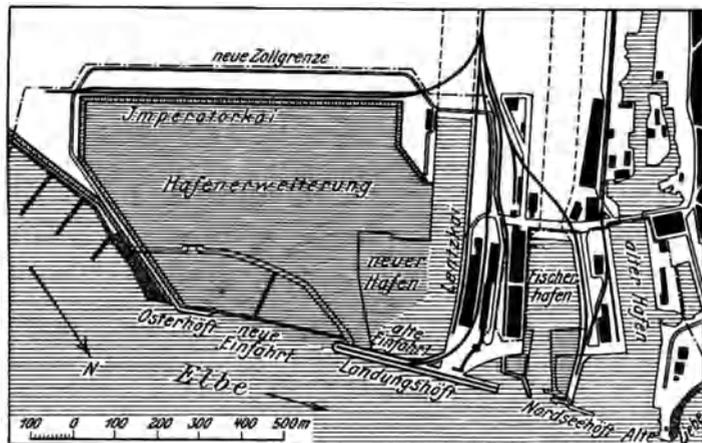


Abb. 194. Cuxhaven.

18. Abschnitt. Ausstattung der Häfen.

A. Allgemeine Ausrüstung der Kaiflächen.

Von größter Wichtigkeit ist die Ausrüstung der Häfen mit geeigneten Vorrichtungen zum möglichst schnellen und billigen Ent- und Beladen der Schiffe

¹⁾ Vgl. Deutsche Bauzeitung 1913, S. 338.

und zur Aufbewahrung der Waren; denn für die Verzinsung der großen Kapitalwerte, die in der heutigen Seeschifffahrt angelegt sind, hat die Zeitersparnis bei dem Lösch- und Ladegeschäft eine große Bedeutung. Die früher allein übliche Handarbeit ist dem Maschinenbetrieb gewichen. Einst wurden die Waren einfach auf den Kaiflächen aufgehäuft und feilgeboten, heute sind sie zum großen Teil schon vor Ankunft des Schiffes verhandelt und müssen daher auf schnellste Weise umgeladen und weiter befördert werden. Derjenige Hafen kann den Wettbewerb mit seinen Nachbarhäfen am erfolgreichsten bestehen, der die besten Einrichtungen zur Bewältigung der Massenarbeit des Warenumladens besitzt.

Die mit dem Seeschiff ankommenden Waren werden auf eine der folgenden Weisen weiter behandelt:

- a) Sie werden am Hafenorte selbst verbraucht; dann müssen sie meistens in kleinere Mengen verteilt und mit Lastfuhrwerk abgeholt werden;
- b) sie gehen sogleich mit der Eisenbahn oder mit Binnenschiffen weiter (Umschlagverkehr);
- c) sie werden zum Zwecke der Aussonderung, Verteilung und Verzollung vorübergehend in Schuppen gebracht und werden dann nach kurzem Aufenthalt verschickt;
- d) sie werden in besonderen Lagerhäusern so lange aufgespeichert, bis sie verhandelt werden können.

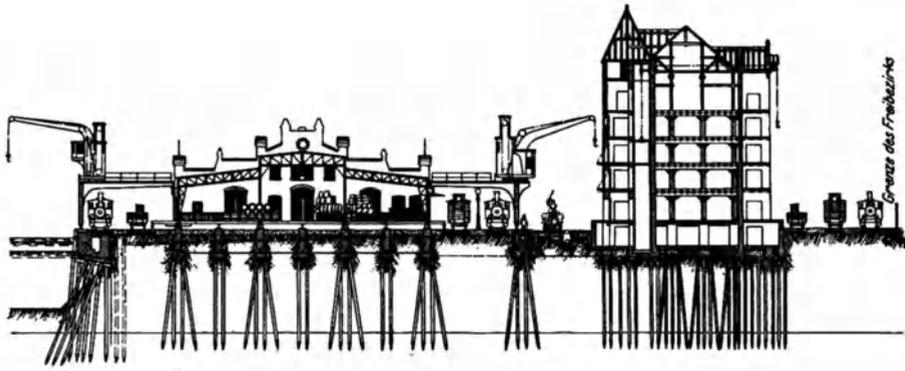


Abb. 195. Querschnitt durch den Kai des Stettiner Freihafens.¹⁾

Demnach sind die Häfen auszurüsten mit Landstraßen, Gleisen, Schuppen und Speichern. Gewöhnlich ist die Reihenfolge dieser Anlagen wie folgt. Zunächst dem Wasser liegen ein bis drei Gleise, dann folgt ein Schuppen, dann wiederum Gleise, dann die Straße und zuletzt der Speicher, der ebenfalls von Gleisen eingefasst ist (Abb. 195). Je nach Art des Warenhandels kann natürlich die eine oder die andere Anlage fehlen. Während für Stückgüter, die alsbald weitergehen, oft die Speicher nicht nötig sind, werden für gewisse Massengüter, insbesondere für Getreide, lediglich Speicher angewendet, und zwar oft in geschlossenen direkt am Wasser liegenden Speicherblocks. Die örtliche Trennung von Schuppen und Speichern scheint in neuester Zeit bevorzugt zu werden. Wenn die sofortige Abfuhr mit Lastfuhrwerk erheblich ist, wird auch eine Straße direkt an die Kaikante, also vor den Schuppen, gelegt, die Kagleise werden dann eingepflastert.

Die wasserseitige Front der Schuppen und meistens auch die landseitige werden mit Krananlagen ausgerüstet. Letztere heben die Stückgüter aus

¹⁾ Entnommen aus Zeitschr. f. Bauw. 1899, Atlas, Bl. 13.

dem Seeschiff heraus und legen sie entweder sogleich in die Eisenbahnwagen oder setzen sie auf die Ladebühne des Schuppens ab. Von dort werden sie mit sogenannten Sackkarren, Abb. 196, abgeholt und in den Schuppen gebracht. Dort werden sie gesondert ausgebreitet, gewogen, verzollt und zum Abgang fertig gemacht. Später werden sie mit dem Sackkarren zur landseitigen Ladebühne gebracht und von dort mittels eines Kranes in die Eisenbahnwagen oder in Lastfuhrwerke verladen. Waren, die zum Speicher gehen, werden meistens durch mechanische Fördervorrichtungen eingebracht.

Von den Gleisen wird eins als Ladegleis benutzt, die andern dienen zur An- und Abfuhr der Wagen. Jedes Kaigleis muß tunlichst durch Weichen an die Zufuhrgleise angeschlossen sein, damit ganze Züge auf einmal an- und abgerückt werden können. Drehscheibenanschluß ist notwendig, wenn der Raum zum Abschnwenken der Kaigleise mittels Kurven fehlt; es können dann die Wagen nur einzeln zugestellt werden, wodurch die Leistungsfähigkeit der Gleise sehr beeinträchtigt wird. Die vom Kai fortgehenden Wagen müssen erst gesondert und alsdann je nach den Bestimmungsorten zu Zügen zusammengestellt werden, wozu oft große Verschiebebahnhöfe erforderlich sind. Auf zweckmäßige Einrichtung der letzteren ist besonderer Wert zu legen, weil die Leistungsfähigkeit des ganzen Hafens davon abhängt.



Abb. 196. Sackkarren.

B. Schuppen.

Die Schuppen werden in Reihen längs der Kais angeordnet. Ihre Breite schwankt zwischen 30 und 70 m, je nach der Menge der für die Längeneinheit des Kais aufzunehmenden Güter; ihre Länge beträgt 200—500 m. Die Abstände der Schuppen wählt man zur Verhinderung der Ausbreitung von Bränden 30—50 m, sie dienen gleichzeitig als Durchfahrts- und Ladestraßen für Fuhrwerk. Die Schuppen sind, wie Abb. 195 u. 197 zeigen, meistens nur einstöckig und nicht unterkellert; nur bei empfindlichem Platzmangel hat man mehrstöckige Ausführungen

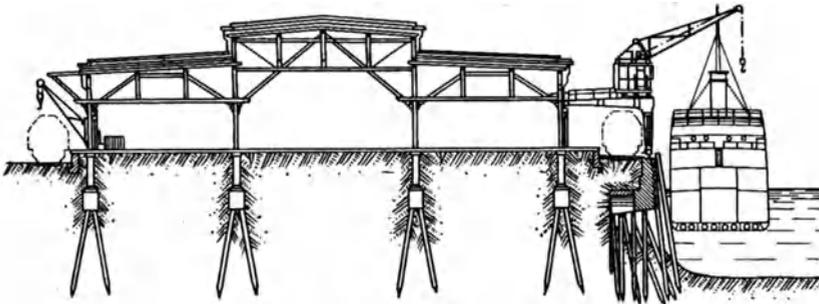


Abb. 197. Querschnitt eines Hamburger Schuppens.

gewählt. Der Fußboden, dessen Höhe am besten der Bodenhöhe der Eisenbahnwagen entspricht, muß möglichst frei und eben sein, um den Verkehr der Sackkarren zu erleichtern. Er wird meist aus Holz hergestellt, massive Ausführungen sind wegen zu großer Glätte und wegen lästiger Staubentwicklung seltener. An einigen Orten haben sich auch Betonböden mit weichem Belag, z. B. Asphaltfilzplatten, bewährt. An beiden Längsseiten wird der Fußboden zu Ladebühnen über die Seitenmauern hinaus verlängert. Die Schuppen sind meistens

allseitig geschlossen, bisweilen aber auch an der Wasserseite offen; ganz offene Schuppen werden für nicht verderbende und nicht leicht zu stehlende Waren, wie Langholz, schwere Eisenstücke und dergl., benutzt. Zur Abholung der Waren durch Lastfuhrwerk dienen die Querseiten, außerdem werden Ladestraßen an der landseitigen Längsseite durch Einpflasterung der Gleise geschaffen. Wenn jedoch an letzterer der Eisenbahnverkehr nicht gehindert werden darf, baut man auf Straßenhöhe vertiefte gepflasterte Wagenbahnen in den Schuppen selbst hinein. Die Wagen brauchen die Schuppengleise dann nur zu kreuzen. Von Wichtigkeit ist, daß nach der Wasserseite möglichst große Ladeöffnungen freigelegt werden können. Um dies zu erreichen, wendet man Schiebetore an; bisweilen wird die ganze Wand aus Toren gebildet; die so nebeneinandergeschoben werden können, daß an jeder beliebigen Stelle eine Öffnung freigemacht werden kann. An der Landseite genügen meistens einzelne größere Toröffnungen.

Besondere Rücksicht ist auf Feuersgefahr zu nehmen. Da oft große Mengen leicht brennbarer Stoffe, z. B. Baumwolle, in die Schuppen aufgenommen werden müssen, so sind Brände häufig und bisweilen sehr verheerend. Diese durch feuerfeste Bauart des Schuppens verhindern zu wollen, wäre aussichtslos. Da nicht verkleidete eiserne Tragwerke keineswegs feuersicher sind, werden sie gegenüber dem billigeren Holz nicht bevorzugt. Nur bei sehr breiten Schuppen ohne Säulen im Innern ist Eisenkonstruktion nicht zu vermeiden. Die Umfassungswände werden meistens massiv oder aus Fachwerk, das Dach wird oft als Pappdach hergestellt; letzteres enthält die zur Belichtung des Schuppenraumes erforderlichen Fenster. Verkleidete Eisenteile und Eisenbeton kommen für Schuppen weniger in Betracht, weil die Dachkonstruktion, die den größten Teil des Tragwerks in sich schließt, dann zu schwer würde. Man begnügt sich daher damit, den Schuppen wegen der Feuersgefahr durch mehrere bis über Dach geführte Brandmauern in einzelne Teile zu teilen, die eine Isolierung des Brandes ermöglichen.

Zur Ausrüstung des Schuppens gehören noch besonders befestigte Karrbahnen, Wägevorrichtungen und abgeteilte Räume für Bureauzwecke sowie für den Aufenthalt von Beamten, Aufsehern und Arbeitern.

C. Speicher.

1. Bodenspeicher. Die Speicher haben im Gegensatz zu den Schuppen den Zweck, Waren längere Zeit aufzunehmen. Die Bodenspeicher sind für Stückgüter und gemischte Güter bestimmt, die einer Sonderung bedürfen. Sie werden ähnlich wie Schuppen, jedoch mehrstöckig und schmaler angeordnet (Abb. 195, S. 146, u. Abb. 213, S. 160). Zwecks ausreichender Belichtung sollte das Verhältnis der Geschoßhöhe zur Breite nicht geringer als 1:10 sein. Demgemäß wählt man bei 3 m Geschoßhöhe die Breite 25–30 m, die Gesamthöhe dagegen bis zu 12 Geschossen. Die Länge entspricht derjenigen der Schuppen, die Maßnahmen zur Erhöhung der Feuersicherheit sind bei Speichern ebenso wichtig wie bei jenen. Wegen der größeren Höhe lohnt es sich oft, die Speicher ganz massiv auszuführen; die Säulen werden dann entweder aus feuersicher ummanteltem Guß- oder Schmiedeeisen oder zweckmäßig in Eisenbeton hergestellt, auch für die Decken kann Eisenbeton mit Vorteil verwendet werden. Die Einteilung durch Brandmauern in einzelne Abschnitte ist ebenfalls erforderlich. Wenn nicht jeder Teil ein Treppenhaus hat, so werden die einzelnen Räume in jedem Geschosse durch feuersichere Gänge verbunden. Wenn möglich erhält jedoch jeder zwischen zwei Brandmauern gelegene Teil einen feuersicher umkleideten Treppen- und Aufzugschacht, von dem aus feuersichere Türen in die einzelnen Räume führen. Auch sind gewöhnlich zur Sicherung des Speicherpersonals noch Wendeltreppen

leerung des Silos fällt das Getreide aus den Ausschüttöffnungen der Zellenböden auf Förderbänder, die Weiterbewegung erfolgt dann ebenfalls auf rein mechanische Weise.

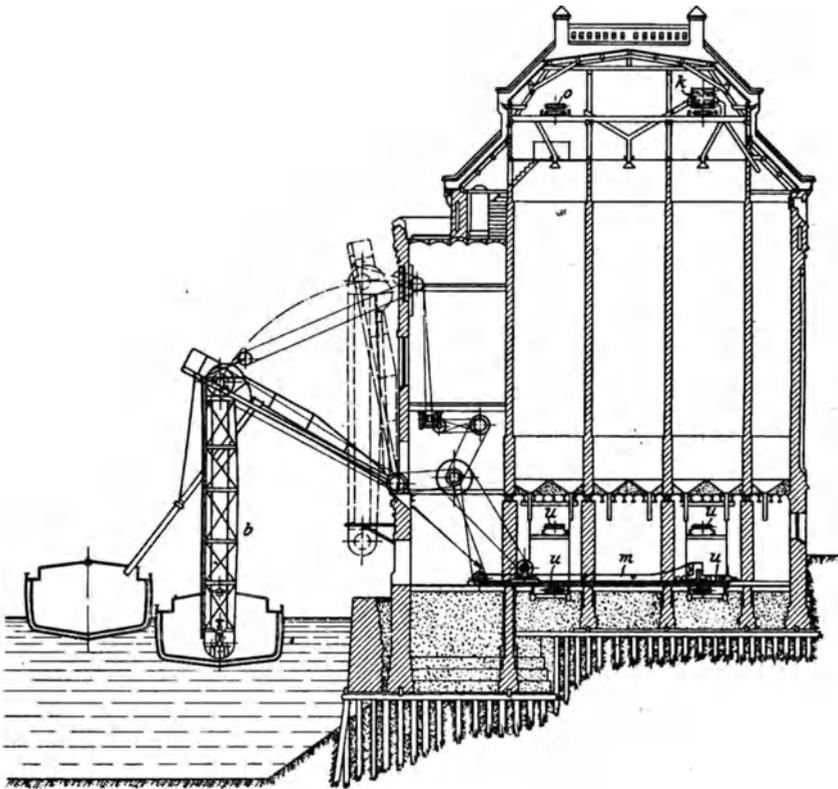


Abb. 200. Querschnitt durch einen Silospeicher.

In der Wirkung ähnliche Siloanlagen sind auch für Kohlenlagerung ausgeführt worden; sie bestehen jedoch alsdann aus breiten niedrigen Zellen ohne Bedachung. Die Beschickung erfolgt durch Abkippen der Kohlen von einem hochliegenden Gleis aus, die Entleerung geschieht nach tiefliegenden Gleisen.

Wegen der großen Belastung müssen Silos gut fundiert werden, auch die Seitenwände der Zellen sind gegen starken Horizontaldruck zu sichern. Eisenbetonausführungen sind hier zweckmäßig.

D. Krane.

Das Herausheben der Güter aus dem Seeschiff und das Absetzen in die Eisenbahnwagen, die Fuhrwerke oder auf die Ladebühne der Schuppen geschieht mittels der Krane, die neuerdings auf den meisten Kaistrecken der inneren Hafenbecken in großer Anzahl vorhanden sind. Die Entladung der gewöhnlichen Stückgüter besorgen zahlreiche Auslegerdrehkrane. Diese erhalten eine Tragfähigkeit von 1,5–3 t, sie werden als Laufkrane eingerichtet, damit sie je nach Lage der Schiffsluke günstig aufgestellt werden können. Damit sie den Raum auf dem Kai nicht beengen, werden sie auf Portale gestellt, unter denen die Eisenbahngleise hindurchgeführt sind. Als sehr zweckmäßig hat sich die einhäufige Halbportalform erwiesen; die eine Kranschiene liegt dabei

unmittelbar an der Kaikante, die andere dagegen erhöht auf besonderen Kranstützen an der Außenwand des Schuppens (vgl. Abb. 197, S. 147, u. Abb. 195, S. 146). Dadurch wird der Raum an der Ladebühne freigehalten, und der Güterverkehr an den Schuppenzwischenräumen, insbesondere auch die Abzweigung von Weichen aus den Kaigleisen, kann unter der Kranbahn hindurchgeführt werden. Ganzportalkrane werden dagegen an Kais ohne Schuppen und Speicheranlagen angewendet. Die Ausladung der drehbaren Kranausleger muß mindestens bis zur Mitte eines am Kai liegenden Schiffes, d. h. etwa 10 m über die Kaikante, reichen; die Höhe muß so bemessen sein, daß bei höchstem Wasserstande und bei geringster Eintauchung des Schiffes der Ausleger noch frei drehbar ist. Die Hubgeschwindigkeit des Kranhakens beträgt mit Last bis zu 0,6 m/sec, ohne Last das drei- bis vierfache. Die Schiffswinden helfen häufig beim Löschen von Stückgütern, indem sie mittels der Ladebäume die Stücke aus dem Schiffsraum entnehmen und an Deck setzen.

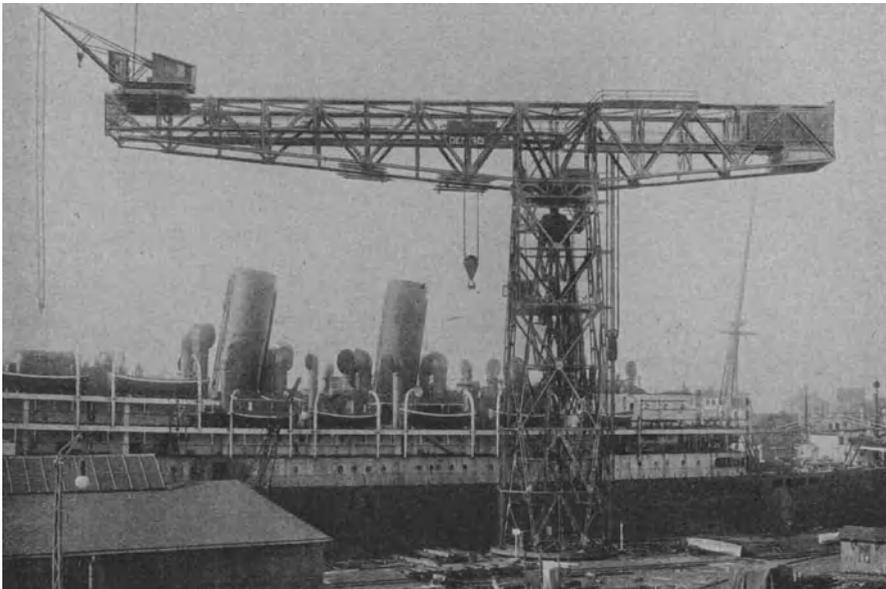


Abb. 201. Hammerturmkran mit Glockenunterbau.

Für einzelne größere Lasten werden an passenden Stellen der Kais feste Krane von etwas größerer Ausladung und von etwa 30 t Tragkraft aufgestellt. Sie sind als Scheibendrehkrane, Säulenkran (Säule dreht sich in festem Gestell), Glockenkrane (Untergestell dreht sich um feststehende Säule) oder als Derrikkrane ausgebildet. Zweckmäßigerweise wird der Ausleger auch in senkrechter Ebene verstellbar gemacht. Scherenkrane und Fairbairnkrane (mit Drehsäule in versenkter Grube) werden nur noch selten angewendet. Die Schiffe müssen nach Bedarf unter diese Krane verholten.

Für ganz schwere Lasten, z. B. zum Einsetzen von Schiffskesseln, Maschinenteilen, Geschützen und dergl., also hauptsächlich für Schiffbau- und Ausrüstungszwecke, sind sogenannte Schwerlastkrane im Gebrauch. Diese erhalten neuerdings riesenhafte Abmessungen, nämlich Ausladungen bis zu 50 m, größte Lasthakenhöhen bis zu 60 m und Tragfähigkeiten bis 250 t. Allerdings bleibt die größte Tragfähigkeit auf Ausladungen von 15–25 m beschränkt; bei den größten Ausladungen beträgt sie nur noch 10–20 t. Die Hubgeschwindigkeit

beträgt für die großen Lasten nur 1 bis 2 m in 1 Minute. Diese Krane werden sowohl fest am Kai als auch schwimmend auf Pontons aufgestellt. Abb. 201 stellt einen sogen. Hammerkran, mit turmartigem Aufbau und wagerechtem Balken, dar. Bei diesem Kran ist das Drehgestell in Glockenform ausgebildet. Der Schwerlasthaken hängt an einer Laufkatze. Für leichtere Lasten ist noch ein auf dem Kranbalken laufender Auslegerdrehkran vorhanden. Weil die Hubhöhen mit den wachsenden Schiffsabmessungen immer größer werden, wird der feste wagerechte Balken neuerdings oft durch einen Wippausleger ersetzt (Abb. 202). Diese Abbildung zeigt gleichzeitig links im Hintergrunde einen größeren Schwimmkran, der ebenfalls einen Wippausleger erhalten hat.¹⁾

Der Antrieb der Krane für das Heben, Auslegerdrehen und häufig auch für das Kranfahren erfolgt durch Dampf, Druckwasser oder Elektrizität. Explosionsmotoren sind dazu weniger geeignet. Handantrieb ist nur bei selten gebrauchten Anlagen zweckmäßig. Dampfkrane sind als Löschkranen an Schuppen nicht mehr üblich, teils wegen der Feuersgefahr, teils wegen der Unbequemlichkeit der Wartung zahlreicher Einzelkessel und ihrer umständ-

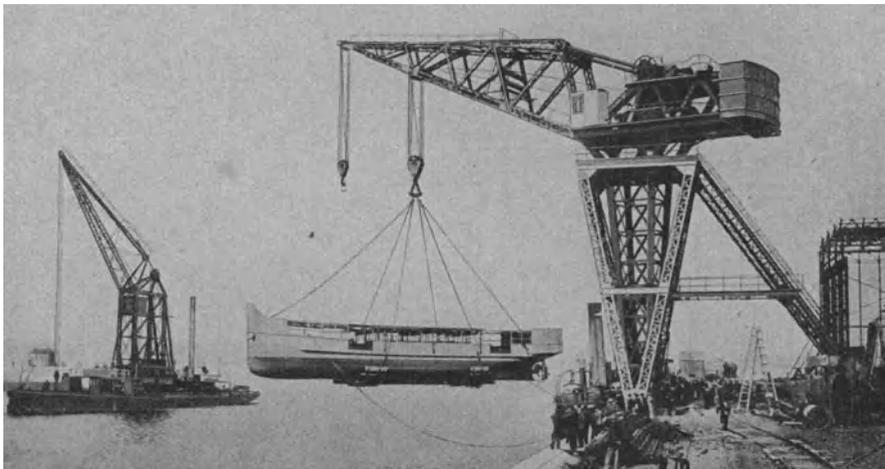


Abb. 202. Säulendrehkran mit Wippausleger.

lichen Versorgung mit Wasser und Kohlen. Einige Anlagen sind mit zentraler Dampfkesselanlage ausgerüstet. Dabei sind aber die Verluste infolge der langen Dampfleitung sehr groß. Außer rotierenden Dampfwinden wurden früher auch Brownsche Hubzylinder angewendet, bei denen die Kolbenbewegung durch umgekehrte Flaschenzüge direkt auf den Lasthaken übertragen wird.

Besser als Dampftrieb hat sich der Druckwasserantrieb bewährt. In einer zentralen Kraftanlage wird Preßwasser in sogenannten hydraulischen Akkumulatoren aufgespeichert; dies sind große Preßzylinder mit belastetem Tauchkolben. Durch frostsicher verlegte Rohre wird das bis zu 50 Atm. gepreßte Wasser zu den Kranen geführt. Der Hub erfolgt ähnlich wie beim Brownschen Dampfsystem durch Hubzylinder, deren Kolbenstange die beweglichen Rollen eines umgekehrten Flaschenzuges trägt. Zur Ersparung von Preßwasser ist der Kolben bisweilen so ausgebildet, daß je nach der zu hebenden Last 3 verschiedene Kraftstufen eingestellt werden können. Die Drehung des

¹⁾ Die Abbildungen 201 und 202 stellen Ausführungen der Deutschen Maschinenfabrik in Duisburg dar; die Bilder sind von dieser Firma freundlichst zur Verfügung gestellt worden.

Auslegers und manchmal auch das Verfahren des Krangestelles erfolgt ebenfalls durch Preßzylinder.

Die hydraulischen Krane sind einfach zu bedienen und betriebssicher, jedoch ist der Wirkungsgrad nicht befriedigend, daher bevorzugt man neuerdings den elektrischen Antrieb. Hierzu ist Drehstrom oder noch besser Gleichstrom geeignet; letzterer hat den Vorteil, daß die Anwendung von Sammlerbatterien zum Ausgleich wechselnder Beanspruchungen (Pufferbatterien) möglich ist, auch lassen sich mit den gut regulierbaren und überlastungsfähigen Gleichstrommotoren verschiedene Hubgeschwindigkeiten je nach der Last anwenden. Die verschiedenen Bewegungen, Lastheben und -senken, Auslegerdrehen und Kranfahren, werden entweder durch einen Motor mit Wechselgetriebe, besser aber durch besondere Motoren ausgeführt. Auch für die Mittellastkrane und die Schwerlastkrane wird jetzt fast ausschließlich elektrischer Antrieb gewählt, nur für Schwimmkrane benutzt man noch Dampfkraft.

Die Ausbildung der Krane ist außerordentlich mannigfaltig. Es empfiehlt sich, für Neuanlagen die Auswahl mit Sorgfalt zu treffen; insbesondere muß die Tragfähigkeit dem Bedarf möglichst angepaßt werden, denn zu starke Krane arbeiten für leichte Lasten unwirtschaftlich und schwerfällig, zu schwache Krane beeinträchtigen dagegen die Leistungsfähigkeit des Hafens empfindlich.

E. Lösch-, Lade- und Fördervorrichtungen für Massengüter.

1. Kohlenverladung. Die mit der Eisenbahn ankommenden Kohlen werden bei großem Verkehr in ganzen Wagenladungen in die Schiffe oder Leichter verürzt. Dabei muß ihre Zerbröckelung möglichst vermieden werden, weil die Kohle durch Grusbildung erheblich entwertet wird. Das Herabfallenlassen aus größerer Höhe ist daher unstatthaft, und es darf nur ein Herabgleiten zugelassen werden. Dazu dienen im wesentlichen vier Arten von Einrichtungen¹⁾, nämlich:

a) Schüttrinnen. Man läßt die Kohlen aus Bodenklappen oder Seitenklappen in eine geneigte Schüttrinne fallen, wodurch sie in die Luken der Seeschiffe geführt werden. Da zum Abrutschen der Kohlen eine Neigung der Rinnen von mindestens 35° erforderlich ist und da die Bordhöhe der Seeschiffe meistens die Kaihöhe weit übertrifft, so müssen die Wagen ziemlich hoch über dem Kai stehen; hierzu werden besondere Hochbahnen angelegt (Abb. 203). Wenn die Entladung aus Seitenklappen selbsttätig erfolgen soll, müssen besonders gebaute Wagen, wie in Abb. 203 angedeutet, verwendet werden.

b) Mechanische Kohlenkipper. Die Wagen werden auf eine um eine horizontale Achse drehbare Bühne gebracht und nach Öffnen der vorderen Stirnklappe soweit vornüber gekippt, daß der Inhalt sich selbsttätig entleert. Um an Arbeitsaufwand zu sparen, wird die Drehachse so angeordnet, daß sie ungefähr durch den gemeinsamen Schwerpunkt der Bühne und des Wagens geht; liegt dieser vor der Entleerung etwas seewärts von der Drehachse, nach der Entleerung aber etwas landwärts, so kippt die Bühne theoretisch von selbst nach Entriegelung vornüber und später wieder zurück. Die Bewegung wird in Wirklichkeit durch hydraulischen oder elektrischen Antrieb unterstützt. Die Kohlen fallen in eine Schüttrinne, die sie der Schiffs Luke zuführt. Die in Seehäfen auf-

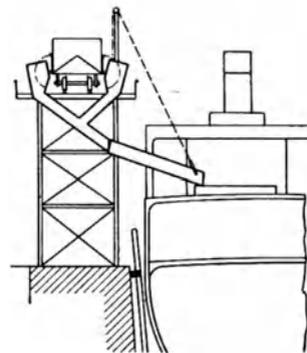


Abb. 203.
Schüttrinne mit Hochbahn.

¹⁾ Nach Ottmann und Loebell; vgl. Zeitschr. f. Bauwesen, Jahrg. 1910.

gestellten Kohlenkipper unterscheiden sich von denjenigen in Binnenhäfen meistens dadurch, daß sie noch mit einem Aufzug verbunden sind. Wegen der großen Bordhöhe der Seeschiffe müssen nämlich die Wagen, sofern sie nicht auf einer Hochbahn zugeführt werden, zunächst gehoben werden. Abb. 204 zeigt einen in Glasgow ausgeführten elektrischen Kipper mit Aufzug¹⁾. Damit die Anfuhr der vollen und die Abfuhr der entleerten Wagen durch das Gleis-

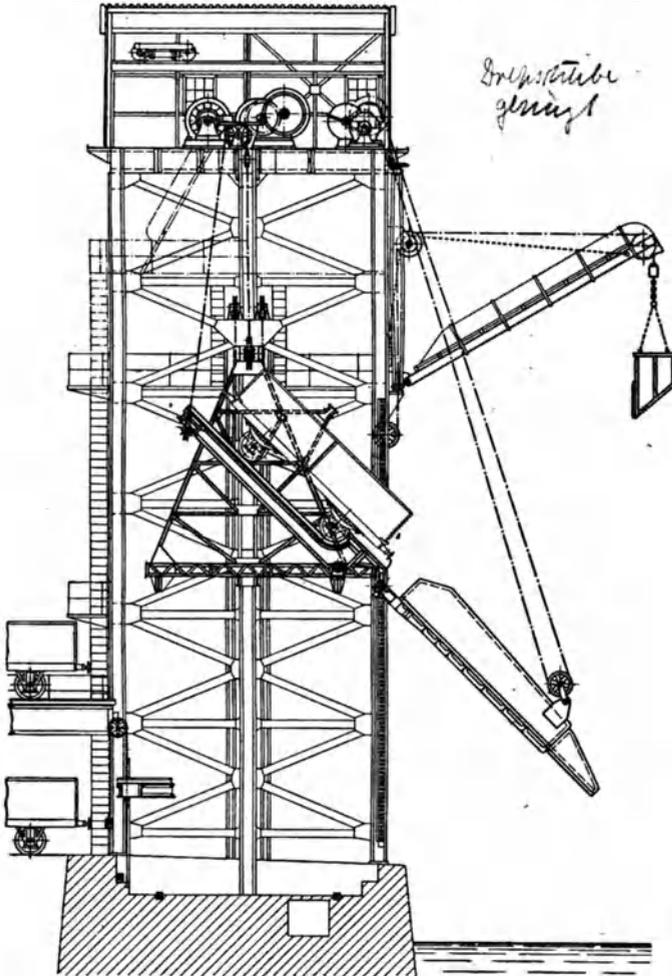


Abb. 204. Kohlenkipper mit Aufzug.

Abb. 204. Kohlenkipper mit Aufzug.

Wagen nur um ein ganz geringes Maß, und sie gleitet aus dem Trichter ganz allmählich in das Schiff, wenn das Teleskoprohr allmählich verkürzt wird (Abb. 205).¹⁾

c) Krankipper. Der Wagen wird durch einen Kran aus dem Gleis gehoben, über das Schiff geschwenkt und alsdann durch ein besonderes Kranseil gekippt, so daß die Kohle entweder direkt in die Schiffsluke oder in einen Trichter fällt.

¹⁾ Abb. 204 stellt eine Ausführung von Nagel & Kaemp in Hamburg, Abb. 205 eine solche der Deutschen Maschinenfabrik in Duisburg dar; die Bilder wurden von diesen Firmen zur Verfügung gestellt.

gefälle selbsttätig bewirkt werden kann, liegt das Ablaufgleis um eine Stockwerkshöhe über dem Anfuhrgleis. Zur möglichsten Schonung der Kohle wird die Schüttrinne bisweilen als geschlossener Behälter ausgeführt, der zur Verringerung der Fallhöhe stets gefüllt gehalten und durch Öffnen einer Bodenklappe allmählich entleert wird. Neuerdings werden auch sogenannte Schwingkipper ausgeführt; die Plattform nebst den Wagen wird dabei über das Schiff ausgeschwungen und alsdann in einen senkrecht in der Schiffsluke stehenden Trichter mit teleskopartig verkürzbarem Rohr entleert. Bei der Schwingbewegung wird die Vorderachse des Plattformwagens auf einer sinkenden, die Hinterachse auf einer steigenden Kurvenbahn geführt; die Kurven sind so bemessen, daß der Schwerpunkt aller bewegten Massen in einer Horizontalen verbleibt. Das Ausschwingen erfolgt also theoretisch ohne Arbeitsleistung. Da der Trichter stets gefüllt ist, fällt die Kohle aus dem

d) Das Kastensystem. Die Eisenbahnwagen entleeren zunächst in einen versenkt unter dem Gleise angebrachten Kasten, letzterer wird alsdann von einem Kran herausgehoben und in das Schiff hineingesenkt, wo die Entleerung nach Öffnen von Bodenklappen erfolgt. Bei diesem Verfahren werden größere Fallhöhen ganz vermieden, und die Kohle wird daher am meisten geschont, jedoch ist das Verfahren wenig leistungsfähig.

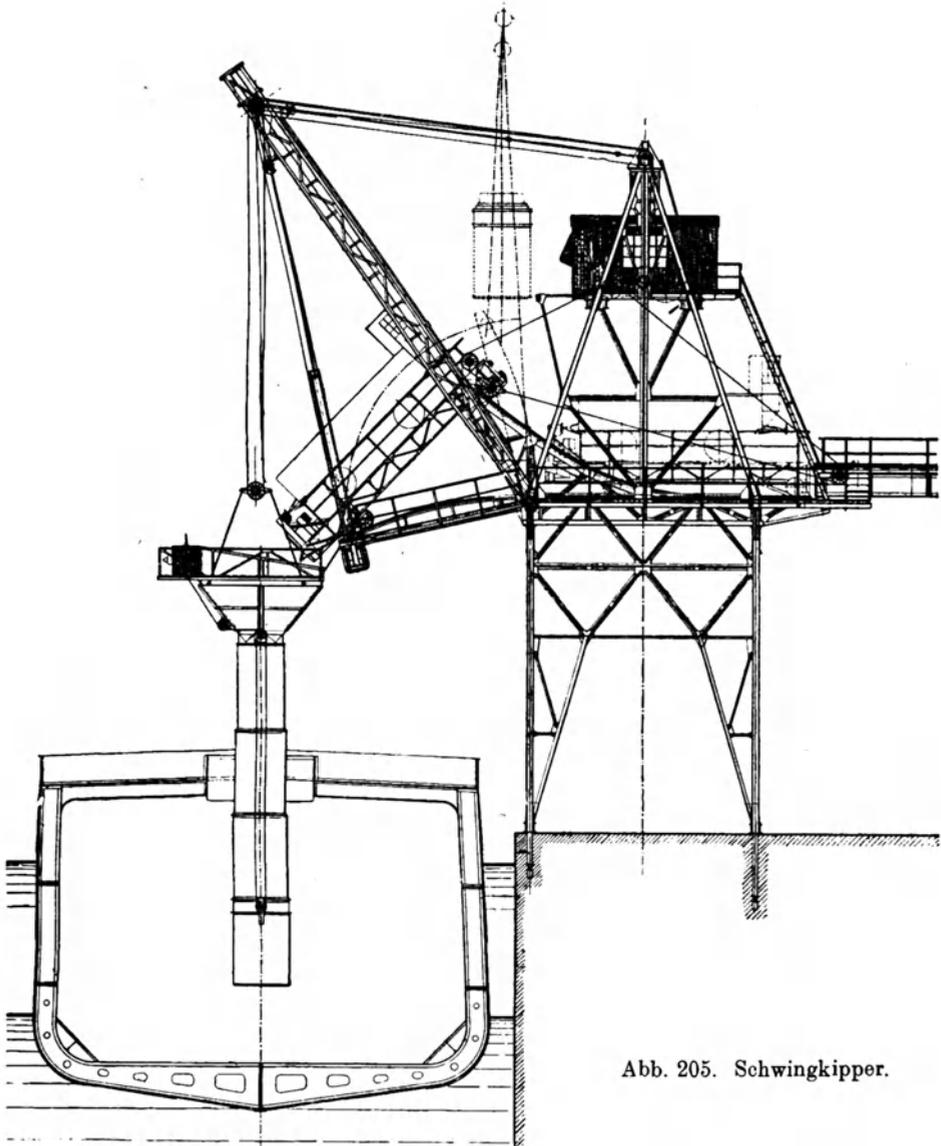


Abb. 205. Schwingkipper.

Von den vorbeschriebenen Anordnungen werden in Deutschland am häufigsten die beiden erstbenannten angewendet; die einfachen Schüttrinnen verdienen stets den Vorzug, wenn genügende Höhe zwischen dem Anfuhrgleis und der Schiffsluke geschaffen werden kann, andernfalls werden mit Aufzugvorrichtung vereinigte Kipper angewendet. Ein gut ausgebildeter Kipper entladet in einer Stunde etwa 30 Eisenbahnwagen zu je 15 t Ladung. Ähnliche Vorrichtungen dienen auch zum Verladen von Erzen.

2. Entladevorrichtungen für Kohle und Erz. Die Entladung aus dem Seeschiff in die Eisenbahn erfolgt bei mäßigem Verkehr durch die Kaikrane mittels eines sogenannten Kippkübels (Abb. 206)¹⁾. Das Kübel wird in das Schiff gesenkt, dort von Hand gefüllt und alsdann herausgehoben und über den Eisenbahnwagen geschwenkt. Dort erfolgt die Entleerung durch Umkippen.

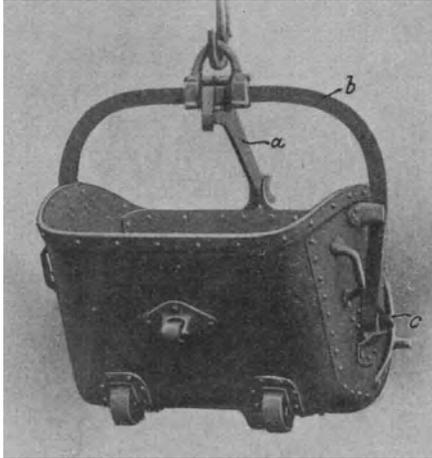


Abb. 206. Kippkübel.

Nach Lösung eines Sperrhebels *a* fällt das in seinem Hängebügel *b* um eine Achse *c* drehbare Kübel selbst um, weil die Drehachse *c* unter dem Schwerpunkt des gefüllten Kübels liegt. Nach Entleerung ist der Schwerpunkt tiefer gerückt, das Kübel richtet sich dann selbsttätig wieder auf und die Verriegelung springt von selbst wieder ein.

Wenn die Handarbeit des Füllens vermieden werden soll, verwendet man selbsttätige Greifer. Diese wirken ähnlich wie ein Priestmannscher Greifbagger; das Öffnen und Schließen wird in bekannter Weise entweder durch ein besonderes Steuerseil oder durch das Hubseil selbst besorgt. Abb. 207 zeigt

einen Einseilgreifer.¹⁾ Die Oberflasche *a* des Hubseiles ist im Greiferrahmen fest, die Unterflasche *b* in einem Gleitstück gelagert. Letzteres kann mit der am Verbindungsstück der Greiferschaufeln sitzenden Stange *c* gekuppelt werden. Ist diese Kupplung gelöst, so sind die Schaufeln nur durch die beiden kurzen Verbindungsglieder am Greiferrahmen aufgehängt; sie öffnen sich daher unter dem Einflusse der Schwerkraft. Wird nun der geöffnete Greifer auf das zu fördernde Gut gesenkt, so sinkt bei weiterem Nachlassen des Hubseiles die Unterflasche *b* so tief, bis eine an ihrem Gehäuse befestigte Öse in die Stange *c* einschnappt. Wenn jetzt das Hubseil angezogen wird, so schließen sich die Schaufeln durch die Zugkraft in der Stange *c*.

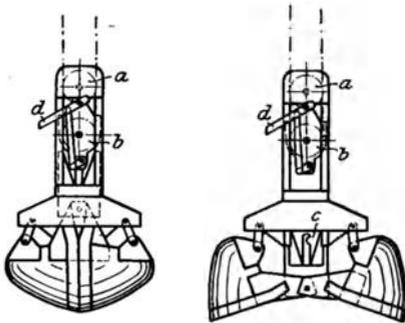


Abb. 207. Selbsttätiger Greifer.

Das Öffnen des gehobenen Greifers kann erfolgen, sobald der Hebel *d* einen Anschlag oder „Entleerungsring“ überschritten hat; wird nämlich der Greifer dann etwas gesenkt, so setzt sich der Hebel *d* hinter den Anschlag, hebt sich und entriegelt mittels eines Getriebes die Stange *c*. Für die Schonung der Kohle ist es wichtig, daß der Greifer nicht mit Stoß auf die Ladung fällt, sondern langsam aufgesetzt wird und sich durch sein Gewicht in die Kohle einräbt. Die Greifer werden für Nutzlasten bis zu 5 t für Kohle und Erze gebaut.

Wenn das zu entladende Gut bis zu einiger Entfernung vom Kai gebracht oder in großen Haufen gelagert werden soll, so verwendet man sogenannte

¹⁾ Abb. 206 und 207, die Erzeugnisse der Firma J. Pohlig in Köln darstellen, sind von letzterer zur Verfügung gestellt worden.

Hochbahnentlader in Verbindung mit Förderkübeln oder Selbstgreifern. Diese werden in zahlreichen Bauarten ausgeführt, von denen nur die bekanntesten hier kurz erwähnt seien.

Die Huntsche Förderung (Abb. 208) besteht aus einem Portalturm, von dem aus ein beweglicher Ausleger mit schräger Fahrbahn für eine Laufkatze über die Schiffsluke ausgebracht werden kann; dazu kommt nach Bedarf noch eine feste oder parallel zur Kaikante verschiebbare Hochbahnbrücke. Die Katze trägt einen Greifer. Wenn letzterer nach erfolgter Füllung angehoben wird, stößt er schließlich an die Katze; nun kann das Hubseil nicht weiter durch die Katze hindurchgezogen werden, es nimmt sie also mit, und ihr folgt der Greifer bis zum höchsten Punkt der schräg gestellten Fahrbahn, wo er sich selbsttätig in einen geschlossenen Trichter entleert. Von letzterem aus können entweder Eisenbahnwagen, die unter dem Portalturm stehen, gefüllt werden, oder die Weiterbeförderung erfolgt auf einer an den Portalturm anschließenden, in Abb. 208 nicht dargestellten Hochbahnbrücke. Dazu können nach Hunts Vorschlag selbsttätig wirkende Wagen benutzt werden, die auf leicht geneigter Bahn ablaufen und nach Entleerung von einem stark federnden Prellbock wieder zurückgeschnellt werden.

Die Entladevorrichtung von Brown (Abb. 209)¹⁾ vermeidet den Trichterbehälter und läßt dafür die den Greifer tragende Laufkatze selbst über die Hochbahnbrücke fahren. Die Steuerung der Katze erfolgt vom Führerstande aus durch Seile.

An jeder beliebigen Stelle kann die Katze halten, das Kübel gesenkt und entleert werden. Die Vorrichtung kann daher auch umgekehrt zur Beförderung der Güter vom Lagerplatz in das Schiff oder in Eisenbahnwagen benutzt werden.

Neuerdings bevorzugt man große verschiebbare Hochbahnbrücken mit elektrisch angetriebener freifahrender Katze. Letztere erhält einen besonderen Fahrmotor und Hubmotor; beide können von dem gleichfalls an der Katze befindlichen Führerstande aus unabhängig gesteuert werden (Abb. 210, S. 158). Das über das Schiff vorkragende Ende der Hochbahnbrücke wird auch in diesem Falle oft zurückklappbar ausgebildet. Bisweilen wird an Stelle der Katze ein auf der Hochbahn fahrbarer Auslegerdrehkran angewendet.

3. Aus- und Einladen von Getreide. Zum Fördern von Getreide kann man ebenfalls selbsttätige Greifer der vorbeschriebenen Art benutzen. Für größeren Verkehr sind jedoch Becherwerke in Verbindung mit Schnecken und Transportbändern nach Abb. 211, S. 159, vorzuziehen.²⁾ Das senkrechte Becherwerk wird in den Schiffsraum hineingestellt; es arbeitet wie ein kleiner Vertikalbagger und wirft das Getreide einer Schnecke zu, die es in den Wiegeraum befördert. Dort wird es gesackt und dann in den Eisenbahnwagen verladen. Werden

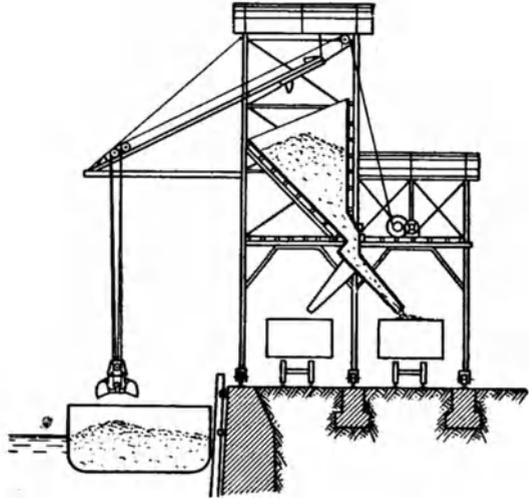


Abb. 208. Huntsche Förderung.

¹⁾ Nach Buhle, Technische Hilfsmittel zur Förderung und Lagerung von Kohlen und Eisenerzen. Zeitschr. d. V. deutsch. Ingenieure 1899.

²⁾ Abb. 211 ist entnommen aus Zeitschr. d. V. deutsch. Ingenieure 1911, S. 1548.

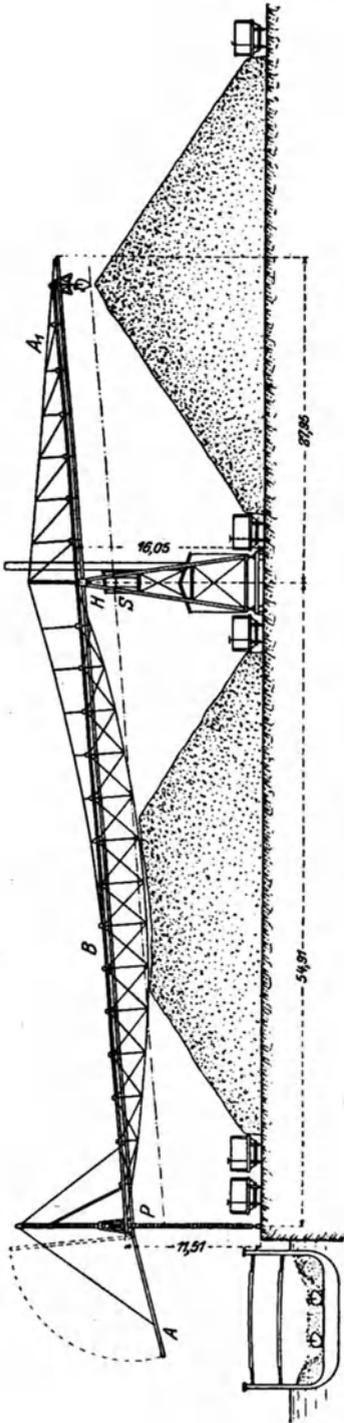


Abb. 209. Entladevorrichtung von Brown.

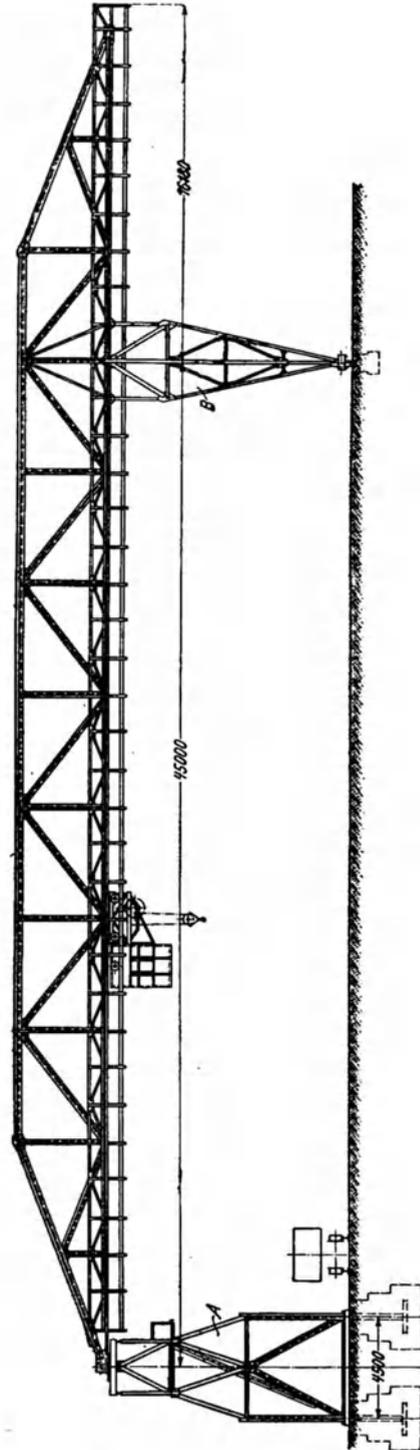


Abb. 210. Neuere Hochbahnbrücke mit frei fahrender Laufkatze.

Becherwerke mit Förderbändern vereinigt, so kann das Getreide auf weite Strecken an jeden beliebigen Ort gebracht werden, wie das beim Silospeicher, S. 149, beschrieben wurde.

In neuerer Zeit ist auch die Duckhamsche Förderung mittels Saug- und Preßluft mit Erfolg angewendet worden; hierbei gleicht die Wirkungs-

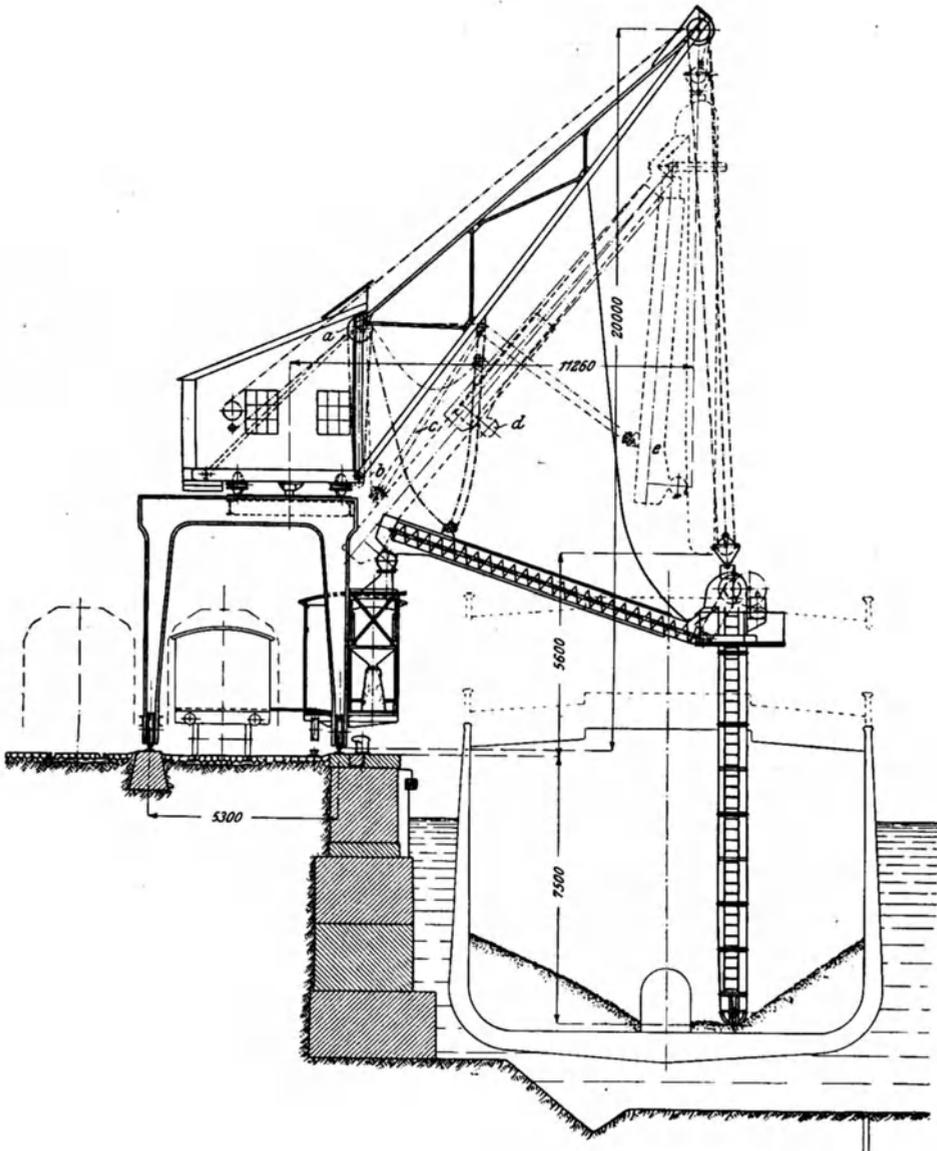


Abb. 211. Becherwerk für Getreideentladung.

weise derjenigen eines Saugbaggers, nur daß an Stelle des Wassers ein heftiger Luftstrom die Getreidekörner mit sich fortreißt. Abb. 212 zeigt eine auf einem Ponton aufgestellte pneumatische Förderanlage zum Überladen des Getreides aus dem Seeschiff in das Binnenschiff. In dem oberen Behälter a wird eine Luftverdünnung erzeugt, die äußere Luft strömt durch die Saugköpfe c und die

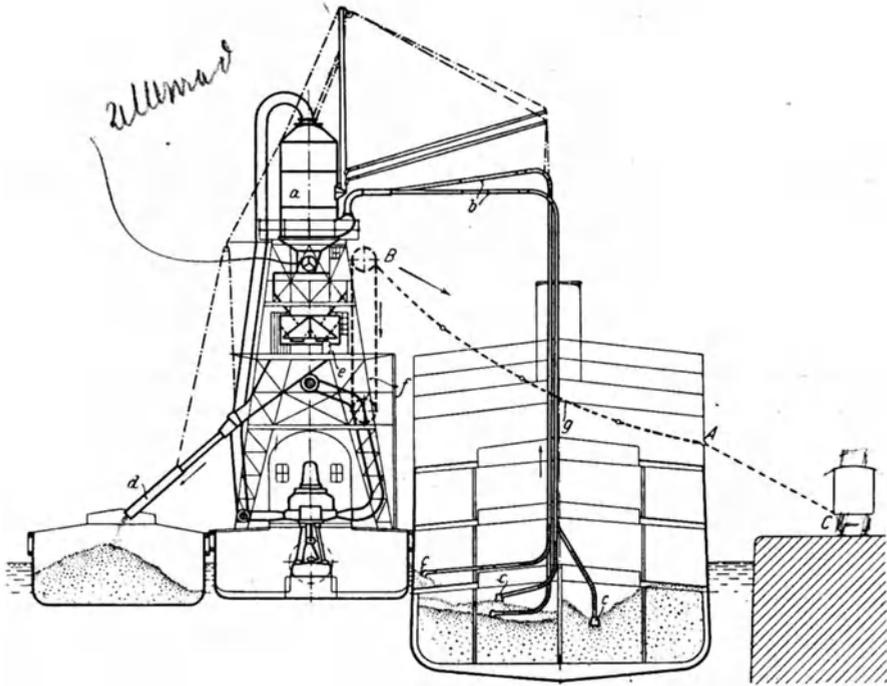


Abb. 212. Pneumatische Getreideförderung.

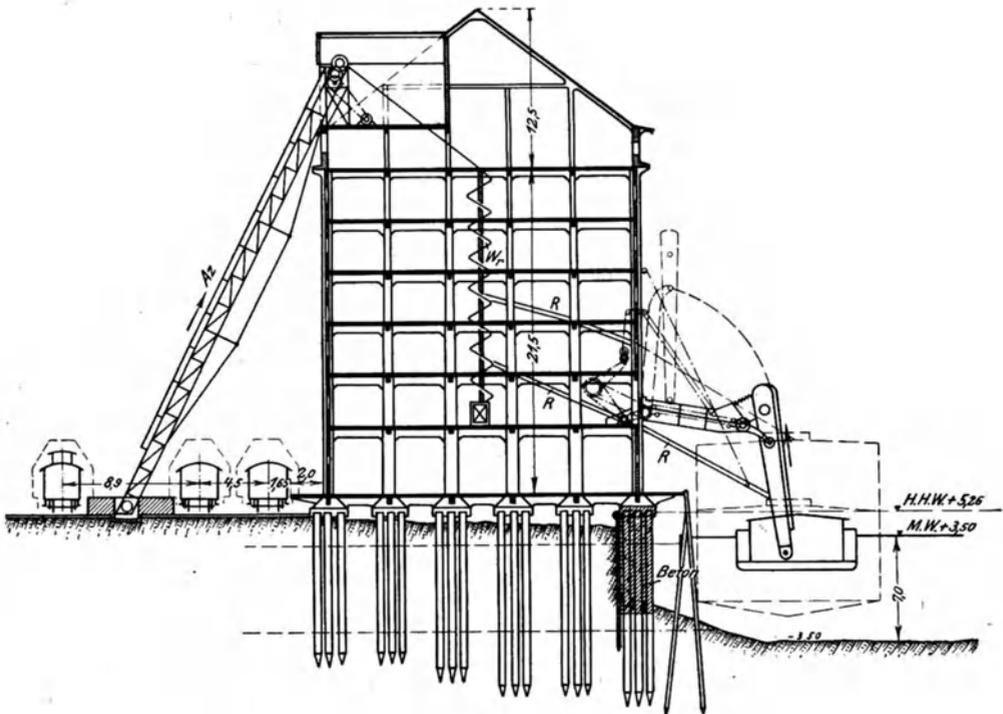


Abb. 213. Zuckerspeicher in Danzig mit mechanischer Sackförderung.

Rohre *b* in den Behälter *a* und reißt das Getreide mit sich. Bei älteren Anlagen wurde letzteres von Zeit zu Zeit mittels schleusenartig wirkender Zwischenkammern aus dem Gefäß *a* abgelassen; bei der dargestellten in Antwerpen verwendeten Anlage¹⁾ erfolgt der Abfluß ununterbrochen mittels einer sogenannten Zellenradschleuse. Aus dieser fällt das Getreide durch eine Schüttrinne in das binnenscm. Es kann auch, wie die Abbildung zeigt, nochmals durch ein Becherwerk *B* gehoben und dann durch einen Schlauch über das Seeschiff hinweg in den Eisenbahnwagen geleitet werden. Bei anderen Anlagen fällt das Getreide aus dem Gefäß *a* in ein Druckluftgefäß und wird dann durch ein Rohr an den gewünschten Ort geblasen. Mit ähnlichen Einrichtungen sind auch einige Silos ausgerüstet worden, indessen hat das bewährte Förderverfahren mittels Becherwerk und Förderband noch nicht verdrängt werden können.

Für die mechanische Förderung gesackter Güter wendet man neuerdings Sackaufzüge in Verbindung mit Wendelrutschen an. Abb. 213 stellt den Querschnitt eines der neuen Zuckerspeicher der Firma Wieler & Hardtmann in Danzig dar²⁾. Die Zuckersäcke, die mit der Eisenbahn ankommen, werden einem Aufzuge *Az* zugeführt und von diesem bis in den Dachraum gehoben. Von dort gleiten sie über eine Schüttrinne zu den spiralförmig gebogenen Gleitbahnen (Wendelrutschen) *Wr* und können dann in jedem beliebigen Stockwerk des Speichers abgenommen werden. Sie können auch ohne Aufenthalt mittels der Rinnen *R* sogleich in ein Schiffsgefäß geleitet werden. Jeder Speicher hat 2 Sackaufzüge und 5 Wendelrutschen; von letzteren liegen drei dicht an der wasserseitigen Wand und dienen nur zum Ablassen der Säcke vom Speicher zum Schiff. Für die seltener vorkommende Förderung vom Schiff zum Speicher ist ein besonderer Aufzug vorhanden.

19. Abschnitt. Hafendämme.

A. Allgemeines.

Lage und Zweck der Hafendämme wurden bereits in Abschnitt 17 B. erläutert. Diese Bauwerke sind je nach der Lage des Hafens dem heftigsten Angriff der Wellen ausgesetzt, sie müssen daher sehr widerstandsfähig sein; ihre Herstellung wird durch den Wellenschlag oft sehr erschwert.

Der Angriff der Wellen ist verschieden, je nach den örtlichen Verhältnissen und der Form des Dammes. Er wirkt als wagerechter Stoß, wenn sich ihm eine senkrechte Wand entgegenstellt, als schiebende Kraft, wenn die Welle brandet und an einer schrägen Böschung emporläuft oder über die Dammkrone hinüberschlägt, als ziehende oder saugende Kraft, wenn die in etwaige Hohlräume des Dammes eingedrungene Welle wieder zurückflutet, und als Druck nach oben oder Sturz nach unten, wenn die Wassermassen bei der Brandung in die Höhe geschleudert werden oder herabfallen. Über die beim Wellenschlag beobachteten Kräfte sind auf Seite 31 Angaben gemacht worden. Hat der Damm in der Nähe der Wasserlinie Hohlräume, so wird die darin eingeschlossene Luft durch den Stoß der Brandung plötzlich verdichtet und wirkt dann explosionsartig auf den Dammkörper ein. Ein Hafendamm wird also in allen Teilen und nach den verschiedensten Richtungen beansprucht. Nach Art der wirkenden Kräfte sind im allgemeinen Dämme mit steiler und dichter Vorderfläche zweckmäßig, weil dann die schiebende

¹⁾ Nach Michenfelder, Fortschritte und Bestrebungen auf dem Gebiete der Förder-technik in Häfen. Zeitschr. d. V. deutsch. Ingenieure 1913.

²⁾ Abb. 213 wurde von dem Erbauer der Speicher, Herrn Professor Kohnke in Danzig, freundlichst zur Verfügung gestellt.

und saugende Wirkung fortfällt; sie sind jedoch schwer herzustellen, und bei geringer Wassertiefe liegt die Gefahr der Unterwaschung vor, weil der Absturz der hochgeschleuderten Wassermassen den Seegrund angreift.

Die Hafendämme werden hergestellt

- a) aus Erde, Busch oder Holz in Verbindung mit Steinpackung;
- b) aus reiner Steinschüttung;
- c) aus gepackten Blöcken;
- d) aus Beton oder Mauerwerk.

Häufig kommen auch Verbindungen dieser Bauweisen vor. Die zu wählende Bauart richtet sich nach den Baugrundverhältnissen, der Wassertiefe, dem Vorkommen von Holzschädlingen und nach den Kosten der Baustoffe; die Abmessungen des Bauwerkes hängen ab von dem zu erwartenden Wellenangriff, der Wassertiefe und der Festigkeit der Bauart. Die Masse des Dammes muß so groß sein, daß sie von der Kraft der Wellen nicht bewegt werden kann. Unter mittleren Verhältnissen sind überwiegend massive Dämme in der Ostsee 6 bis 8 m in der Mittelwasserlinie, in der Nordsee 10 bis 12 m in der Hochwasserlinie breit. Bei steilen Dämmen ist dieses Maß je nach der Wassertiefe zu ändern, bei geböschten bewirkt schon die Neigung der Böschungen eine der Tiefe angemessene Querschnittsvergrößerung. Die Kronenbreite der Molen bestimmt sich oft nach den Verkehrsbedürfnissen; beispielsweise sind Teile der Molen in Marseille (Abb. 221, S. 165) 32 m, in Seebrücke (Abb. 224, S. 167) sogar 75 m breit; im letzteren Falle sind sie mit Schuppen und Gleisen ausgerüstet. Die Höhe der Krone reicht bei reinen Wellenbrechern mindestens bis zur Hochwasserhöhe, bei Molen 1 bis 3 m darüber, außerdem erhalten letztere an der Seeseite je nach den Brandungsverhältnissen noch eine 1,5 bis 6 m hohe Brüstungsmauer zum Schutze der auf der Mole befindlichen Personen gegen überstürzende Wellen.

Am meisten wird das freie Ende, der Kopf, eines Hafendamms beansprucht, deshalb ist dort eine Verstärkung erforderlich. In vielen Fällen wird er als sehr großer Mauerklotz mittels der auf S. 167 beschriebenen Sinkkastenbauweise hergestellt.

B. Hafendämme aus Erde, Busch oder Holz in Verbindung mit Steinpackung.

Einen im wesentlichen als Erddamm hergestellten Wellenbrecher in Stavoren (Holland) zeigt Abb. 214. Unter Niedrigwasser ist der Erdkern an beiden Seiten durch Sinkstücke und Steinpackung, über Niedrigwasser durch 0,5 m starkes Steinpflaster geschützt. Letzteres ist auf einer 20 cm starken Schicht von Ziegel-

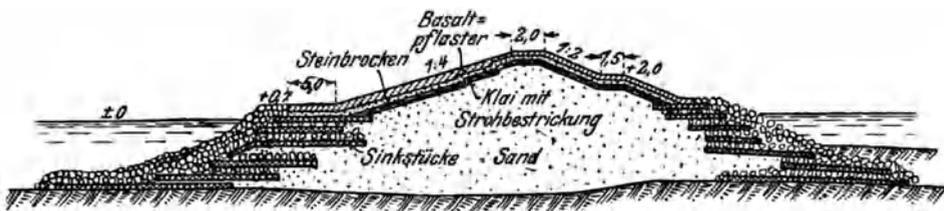


Abb. 214. Wellenbrecher in Stavoren.

brocken verlegt, unter der sich eine 0,5 bis 1 m starke, mit Strohbestückung befestigte Schicht von Klaiboden befindet. Die Sicherung an beiden Seiten war notwendig, weil die Wellen über den Damm hinwegschlagen.

Derartige Anordnungen sind geeignet für schlechten oder beweglichen Baugrund, sie sind aber nur bei mäßigem Wellenangriff widerstandsfähig. Ist

starker Seegang zu erwarten, so muß der Erdkern viel besser geschützt werden; so ist bei dem auf S. 167 beschriebenen Damm von Seebrügge der Erdkern durch Massivwerke eingefaßt.

Als Beispiel eines im wesentlichen aus Faschinen mit Steinpackung hergestellten Dammes sei der in Abb. 215 dargestellte Leitdamm am Südpasse des Mississippi angeführt. Diese Bauart würde für schweren Seegang zu leicht sein, außerdem hat sie den Nachteil jahrelanger starker Sackungen, so daß die massiven Teile über Wasser schwer zu unter halten sind.

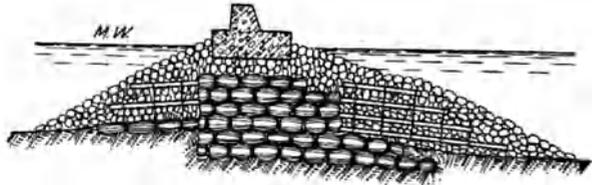


Abb. 215. Leitdamm an der Mississippi-Mündung.

Zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Buschdämme hat man bisweilen die Packung mit Reihen von eingerammten Pfählen eingefaßt; dadurch entsteht eine zu den steilen Dämmen gehörige Form. Abb. 216 zeigt ein an der holländischen Insel Voorne ausgeführtes Bauwerk, das aus Senkfaschinen zwischen gegenseitig verankerten Pfahlreihen besteht.

Wird die Buschpackung ganz oder überwiegend durch Steinpackung ersetzt, so erhält man ein Bauwerk, das auch stärkerem Wellenangriff widerstehen kann. In dieser Weise sind zahlreiche Molen der Ostseehäfen ausgeführt worden. Abb. 217 stellt die neue Ostmole in Saßnitz dar. Der Unterbau besteht aus dichten Pfahlreihen, die durch eiserne zwecks Auswechslung in Holzkästen verlegte Anker gegeneinander ver-spannt sind. Die Füllung besteht aus Bruchsteinen; an den Pfahlreihen sind größere Stücke ver-

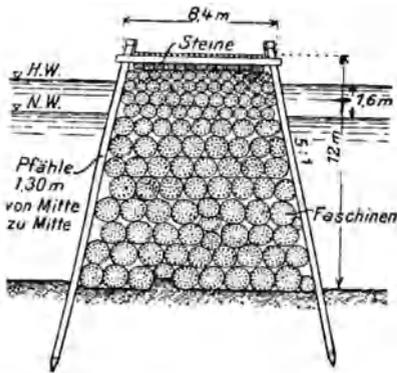


Abb. 216. Wellenbrecher bei Voorne.

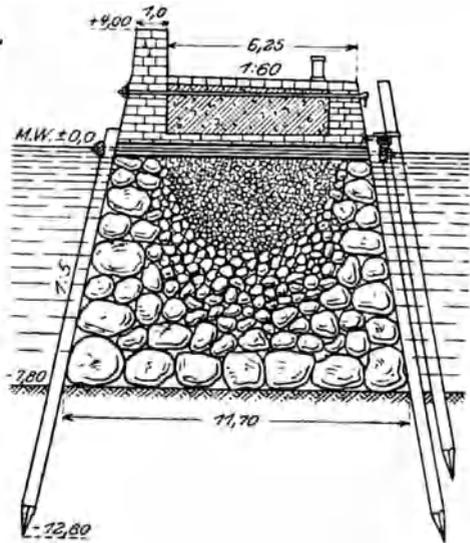


Abb. 217. Mole in Saßnitz.

wendet, die nicht durch die Zwischenräume zwischen den Pfählen hindurchfallen können, in der Mitte sind dagegen kleinere, möglichst dicht gelagerte Steine eingebracht worden, damit die Zwischenräume, die das Durchschlagen der Wellen ermöglichen könnten, tunlichst eingeschränkt werden. Nach gehöriger Ablagerung des Unterbaues ist der über Wasser liegende Teil der Mole bis 2,5 m über Mittelwasser aus Bruchsteinmauerwerk mit Sparbetoneinlagen hergestellt worden. An der Seeseite befindet sich eine 1,5 m hohe Schutzmauer¹⁾.

¹⁾ Vgl. „Die neuen Hafen- und Fähranlagen in Saßnitz“. Vom Verfasser. Zeitschr. f. Bauwes. 1913.

In solchen Fällen, wo die Mole nur als Wellenbrecher dienen soll, also nur wenig über Wasser zu reichen braucht, kann der massive Oberbau fortfallen. Im Bohrwurmgebiet ist diese verhältnismäßig billige und standhafte Bauart nicht anwendbar.

Wenn das Einrammen der Pfähle wegen felsigen oder steinigen Bodens nicht möglich ist, so kann eine der vorbeschriebenen ähnliche Form von Hafendämmen mittels des Steinkistenunterbaues ausgeführt werden. Zu diesem Zweck wird eine aus Baumstämmen nach Art der Blockhäuser gezimmerte offene Kiste hergestellt, die zur Aussteifung bei großer Länge noch Zwischenwände erhalten muß. Die Außenwände brauchen nur so dicht zu sein, daß die Steine nicht durch die Zwischenräume hindurchfallen können. Die Kiste wird schwimmend herangebracht und durch Anfüllen mit Steinen versenkt; bei großer Tiefe erfolgt die Beschwerung allmählich, während die Wände noch erhöht werden. Eine Reihe solcher Kisten werden hintereinander versenkt und bilden den Unterbau des Dammes. Nach gehöriger Ablagerung der Steinfüllung kann, wie bei den durch Pfahlreihen begrenzten Molen, ein massiver Oberbau daraufgesetzt werden.

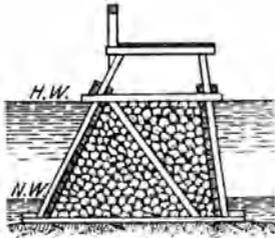


Abb. 218.
Wellenbrecher in Blyth.

Abb. 218 zeigt den nach dieser Art hergestellten Wellenbrecher von Blyth in England. Die Oberkante der Kisten reicht dort bis Hochwasser, ein massiver Aufbau ist nicht vorhanden, dafür ist ein hölzerner Begehungssteg angebracht.

Molen mit Steinkistenunterbau sind in holzreichen Gegenden, insbesondere in Skandinavien, Rußland und Nordamerika, häufig ausgeführt worden. Die Kisten sind bis 30 m lang, 10 m breit und 10 m hoch. Wenn jedoch der Untergrund das Einrammen von Pfählen zuläßt, so sind die aus verankerten Pfahlreihen mit Steinfüllung gebildeten Dämme vorzuziehen.

C. Geböschte Hafendämme aus Steinschüttung.

In vielen Fällen, z. B. im Bohrwurmgebiet und bei sehr großen Wassertiefen, sind hölzerne Einfassungen der Hafendämme nicht anwendbar. Ist gleichzeitig der Baugrund nachgiebig, so empfiehlt es sich, die Dämme aus Steinschüttung herzustellen. Als Beispiel dieser Bauart sei der durch seine Baugeschichte berühmte Wellenbrecher von Cherbourg angeführt (Abb. 219).

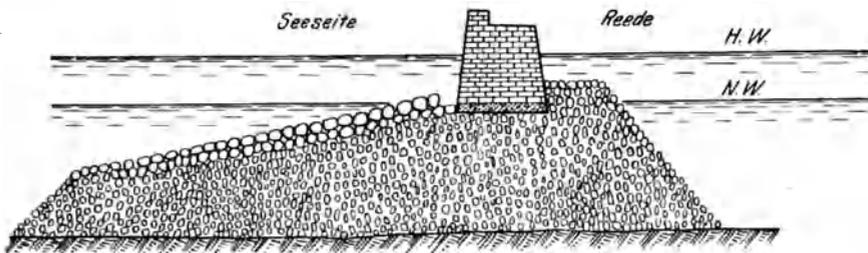


Abb. 219. Wellenbrecher in Cherbourg.

Mit dem Bau wurde bereits Ende des 18. Jahrhunderts begonnen, indem man eine Schüttung aus etwa kopfgroßen Steinen bis zur Niedrigwasserhöhe ausführte. Durch die Brandung wurde die ursprünglich steile Böschung an der Seeseite im oberen Teile auf etwa 1 : 8 abgefacht, während sie in größerer Tiefe, wo die Wellenwirkung nachläßt, sich steil erhielt. Außerdem wurden fortwährend Steine von der Außenböschung über den Damm hinweggeschleudert, die sich

an der Innenböschung ablagerten; dadurch wanderte der Damm landwärts, ähnlich wie eine Wanderdüne. Um dies zu verhindern, bedeckte man die Außenböschung mit immer größeren Steinen, bis zu 3 cbm Inhalt, gleichzeitig wurde die Krone bis 3 m über Hochwasser erhöht. Trotzdem erlitt bei einem schweren Sturm im Jahre 1808 die äußere Böschung starke Beschädigungen. Dabei wurde beobachtet, daß von einem auf dem Damm angelegten hölzernen Fort sich die massive Zisterne am besten gehalten hatte, weil sie verhinderte, daß die Steine über die Dammkrone hinweggeschleudert wurden. Deshalb begann man eine massive Brustmauer auf dem Damm zu errichten. Es zeigte sich, daß die großen Steine auf der Böschung am sichersten gegen Verschiebung geschützt waren, wenn sie steil aufeinander lagerten. Nach dem Vorschlage des Ingenieurs Duparc wurde daher künftig die Steinpackung schon von der Niedrigwasserlinie an durch eine massive Mauer ersetzt. Seitdem der Mauerfuß noch durch 3 Reihen von künstlichen Blöcken von 5 bis 20 t Gewicht geschützt worden ist, hat der Wellenbrecher sich gut gehalten.

Nach den in Cherbourg gesammelten Erfahrungen sind zahlreiche andere Hafendämme entworfen und ausgeführt worden. Die flache Außenböschung kann vermieden und damit eine erhebliche Ersparnis an Steinmaterial erzielt werden, wenn sogleich beim Bau eine Abdeckung durch sehr große künstliche Blöcke vorgenommen wird. Abb. 220 zeigt den Wellenbrecher von Boulogne-sur-mer. Dieser hat einen Kern von kleineren Steinen von 40 bis 1000 kg Gewicht; zu beiden Seiten ist dann eine Schicht von größeren Steinen von 1000 bis 5000 kg und an der Außenseite außerdem noch eine Abdeckung mit unregelmäßig geschütteten künstlichen Blöcken von 36 t Gewicht angewendet. Die größeren Steine an der Innenseite verhüten Auskolkungen durch überschlagende Wellen. Der Überbau ist bis 12,3 m über N.W. geführt. Bei sehr großen Wassertiefen brauchen die großen Blöcke nicht bis auf den Grund, sondern nur etwa 6 bis 10 m unter N.W. zu reichen. Abb. 221 zeigt den in dieser Weise hergestellten Damm von Marseille. Dieser ist als Mole ausgebildet und trägt daher an der Binnenseite eine Kaimauer zum Anlegen von Schiffen; die Brustmauer ist zum Schutze gegen überschlagende Wellen 6,9 m über das Molenbankett hinaufgeführt.

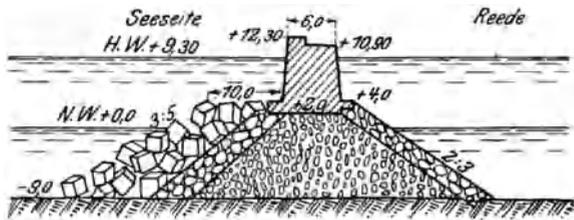


Abb. 220. Wellenbrecher in Boulogne.

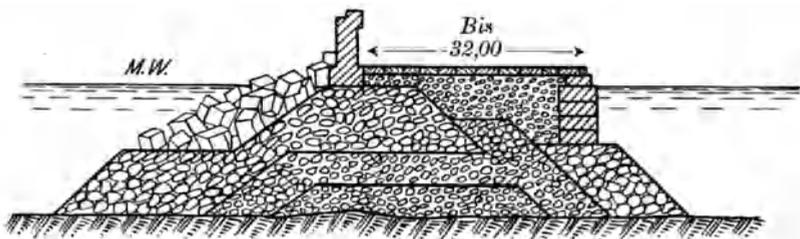


Abb. 221. Mole in Marseille.

Die Dämme durchweg aus sehr großen Steinen zu schütten, empfiehlt sich nicht, weil dabei zu große Zwischenräume entstehen, durch welche die Wellen hindurchschlagen. An einigen italienischen Dämmen sind die schweren Blöcke an der Seeseite regelmäßig gepackt worden. Dies ist bei geböschten Dämmen

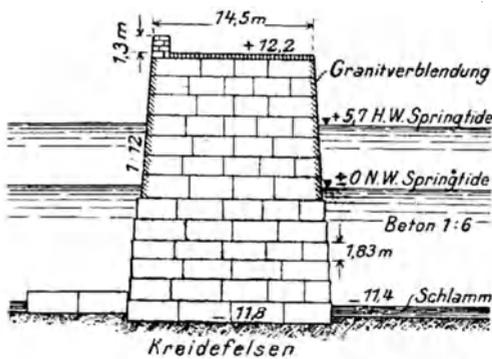
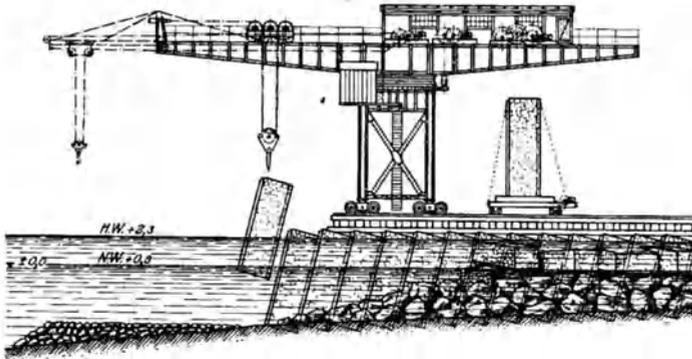


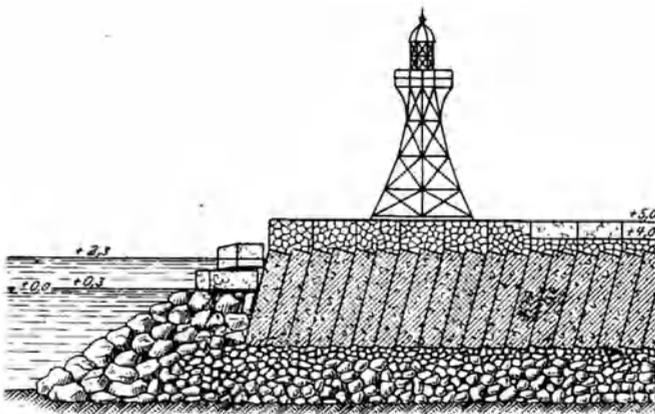
Abb. 222. Mole in Dover.

D. Steile Hafendämme aus gepackten Blöcken.

Auf anderen Grundsätzen als bei den mit Böschung geschütteten Dämmen beruht die Bauart der steilen Dämme, die aus gepackten Blöcken aufgebaut sind. Während bei jenen die Wellen gebrochen werden sollen, werden sie bei diesen in der Hauptsache nach dem Reflektionsgesetz zurückgeworfen,



a) Bauausführung.



b) Fertiger Molenkopf.

Abb. 223 a und b. Mole in Larraoch.

auf nachgiebigem Boden nicht ratsam, weil durch unvermeidliche Sackungen des Damms der Verband sich doch bald löst und Ausbesserungen unmöglich sind; die kostspielige Arbeit des regelmäßigen Versetzens der Blöcke war also umsonst. Die französische Bauart der sog. pèle-mêle-Schüttung ist in diesem Falle vorzuziehen, auch schon deshalb, weil dabei die Wellen besser gebrochen werden als bei glatter Packung, wo sie sehr hoch an der Böschung auflaufen.

daher muß die Außenfläche steil und glatt sein, um die Brandungserscheinungen nach Möglichkeit einzuschränken. Die geschütteten Dämme sind auch bei schlechtem Baugrund ausfuhrbar, diesteilen bleiben dagegen auf unnachgiebigen Boden beschränkt.

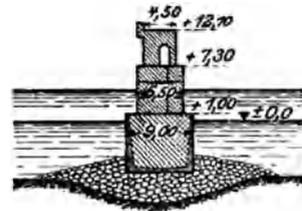
Abb. 222 zeigt die neue Mole von Dover. Der Untergrund ist fester Kreidefelsen. Die Mole ist aus 10 bis 42 t schweren Betonblöcken aufgebaut, die an Land hergestellt und nach Erhärtung von einem Gerüst aus mittels eines Laufkranes versetzt worden sind. Um einen guten Verband zu erzielen, war Taucherhilfe erforderlich. Zur besseren Verbindung

sind benachbarte Blöcke mit aneinanderliegenden Aussparungen versehen, in welche nachträglich Dübel aus Beton in Säcken eingebracht wurden. Über N.W. sind die Außenflächen der Mole mit Granit verblendet; die Verblendsteine wurden schon beim Herstellen der Blöcke mit eingestampft.

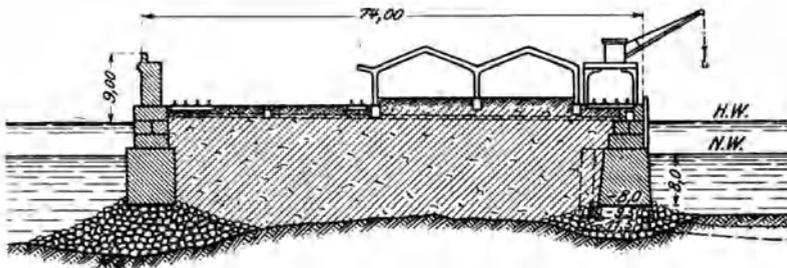
Ist die Wassertiefe groß, so kann man im unteren Teile des Dammes eine Steinschüttung anwenden und erst auf diese die Blöcke versetzen. Ein bemerkenswertes Beispiel dieser Art ist die neue Mole in dem marokkanischen Hafen Larrasch (Abb. 223)¹⁾. Die Blöcke wurden in der Längsrichtung schräg gestellt, sie sind so groß, daß sie von der Schüttung bis über Hochwasser reichen. Zur besseren Verbindung sind sie mit ineinandergreifenden Vorsprüngen und Nischen versehen. Von dem fertigen Teile der Mole aus wird die Verlängerung mittels eines Laufkranes hergestellt, ein Baugerüst ist also nicht erforderlich.

E. Hafendämme aus Beton oder Mauerwerk.

Hafendämme dieser Art werden meistens mit Sinkkastengründung, ähnlich wie die auf S. 164 beschriebene Steinkistengründung, hergestellt. Der Kasten besteht in diesem Falle aus Eisenblech oder Eisenbeton und ist wasserdicht; er wird schwimmend an die Verwendungsstelle gebracht und durch Ausmauerung so belastet, daß er sich schließlich auf die Meeressohle oder auf eine vorher eingebrachte Steinschüttung aufsetzt. Durch Ausgießen der Zwischenräume zwischen den Kästen mit Mörtel kann ein fast monolithisches Bauwerk hergestellt werden. Als Beispiel dieser Bauart ist in Abb. 224a die Mole zu Seebrügge dargestellt. An den Stellen, wo Schiffe anlegen sollen, ist die Mole kaizungenartig verbreitert und mit Schuppen und Gleisen ausgestattet. Dort wurde mittels der Sinkkastenbauart an beiden Seiten ein massiver Mauerkörper hergestellt, während die Zwischenräume mit Erde ausgefüllt worden sind (Abb. 224b).



a) Gewöhnlicher Molenquerschnitt.



b) Schiffsanlegestelle.

Abb. 224 a und b. Mole in Seebrügge.

Bei geringen Wassertiefen hat man auch zwei Pfahlreihen hergestellt und an diesen Schalungen befestigt, um dazwischen die Mole aus Beton zu stampfen. Auf diese Weise ist ein Teil der Molen für den Kriegshafen bei Helgoland hergestellt worden. Auch aus Beton in Säcken hat man ohne jede Schalung den Unterbau von Hafendämmen bis zur Niedrigwasserlinie gebildet und alsdann den weiteren Aufbau im Trocknen gemauert. — Zahlreiche üble Erfahrungen, die in letzter Zeit betreffs der Zersetzung von Beton in Seewasser gemacht worden

¹⁾ Die Abbildung verdankt der Verfasser dem Herrn Oberingenieur Hansen von der beim Bau beteiligten Firma N. C. Monberg, Kopenhagen.

sind, sprechen jedoch dafür, daß an Stelle der unsicheren Naßbetonierung lieber ein Verfahren anzuwenden ist, bei welchem der Beton im Trocknen ordnungsmäßig hergestellt werden kann. Man wendet zu diesem Zweck die Sinkkasten-gründung, bisweilen auch die Druckluftgründung an.

20. Abschnitt. Kaieinfassungen.

A. Anlegebrücken.

Die einfachsten Landevorrichtungen für Schiffe sind die Anlegebrücken. Sie werden meistens senkrecht zur Uferlinie in das See- oder Hafenbecken hineingebaut und bis zu solchen Tiefen verlängert, daß mindestens eine Schiffslänge an jeder Seite zum Anlegen nutzbar ist. Abb. 225 zeigt eine hölzerne Brücke im Hafen zu Saßnitz. Ähnliche Anlagen werden am offenen Strande als Landungs- und Promenadenstege in Seebädern ausgeführt. Wenn die Brücke dem Seegang ausgesetzt ist, muß die Anzahl der Pfähle möglichst eingeschränkt werden, damit der Unterbau den Wellen wenig Widerstand bietet. Der Jochabstand ist dann auf mindestens 5 m zu vergrößern, und die Höhe der Brückenplattform ist so zu bemessen, daß sie von der Brandung nicht erreicht wird; zum Anlegen niedriger Schiffe werden einzelne in Bordhöhe liegende kleine Podeste angeordnet. Von ähnlicher Bauart sind auch die in Lome (Togo) und in Swakopmund (Südwestafrika) ausgeführten Brücken, jedoch hat man dort wegen der Bohrwurmgefahr eiserne Pfähle mit Betonfüllung verwendet und den Jochabstand erheblich vergrößert. Die Brücke in Lome ist mit einem Schmalspurgleis und am Kopfe mit einem Dampfkran ausgerüstet. Größere Seedampfer können allerdings nicht direkt anlegen, sondern sie löschen in Leichterfahrzeuge, die die Waren an die Brücke heranzubringen. Landungsbrücken am ungeschützten Strande sind natürlich nur bei ruhiger See benutzbar.

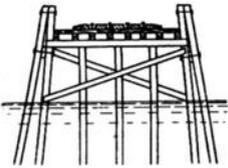


Abb. 225.
Hölzerne Anlegebrücke
in Saßnitz.

In Hafenbecken werden bisweilen zur Ersparung von Kaimauern brückenartige Landebühnen parallel zu dem durch ein Deckwerk gesicherten Ufer hergestellt. Für vorläufige Anlagen wird zweckmäßigerweise Holz verwendet, für dauernde Eisen oder Eisenbeton.

B. Bollwerke.

Zur wohlfeilen Herstellung einer steilen, zum direkten Anlegen von Schiffen geeigneten Uferbegrenzung wendet man für nicht zu stark belastete Kais, bei nicht übermäßigen Wassertiefen und nicht zu großem Wasserstandswechsel mit Vorteil Bollwerke an.

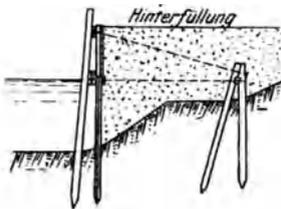


Abb. 226.
Einfaches Bollwerk.

Sie bestehen in einfachster Form aus einer verankerten Spundwand mit aufgesetzter Bohlwand und davorgesetzten Streichpfählen (Abb. 226). Die hölzerne Spundwand bis zur Geländehöhe zu führen, ist nicht empfehlenswert, weil der über Wasser liegende Teil schnell vergeht und öfter erneuert werden muß. Eine dauerhafte Anordnung wird erzielt, wenn der aufgesetzte Teil aus Eisenbetonplatten oder aus Eisenständern mit zwischengespannten Ziegelkappen gebildet wird. Neuerdings werden auch häufig eiserne oder Eisenbeton-Spundwände benutzt, von ersteren ist besonders die Bauart Larssen sehr verbreitet. In diesem Falle können die Spundbohlen bis zur

Geländehöhe reichen. Eiserne Spundwände sind leicht zu rammen, weil sie wenig Boden verdrängen.

Bei größeren Tiefen wird bisweilen ein fachwerkartiger Aufbau des Bollwerks angewendet; Abb. 227 zeigt eine derartige in Geestemünde ausgeführte Anlage. Die Spundwand wird wesentlich entlastet, weil vor ihr noch nicht die volle Hafentiefe vorhanden ist.

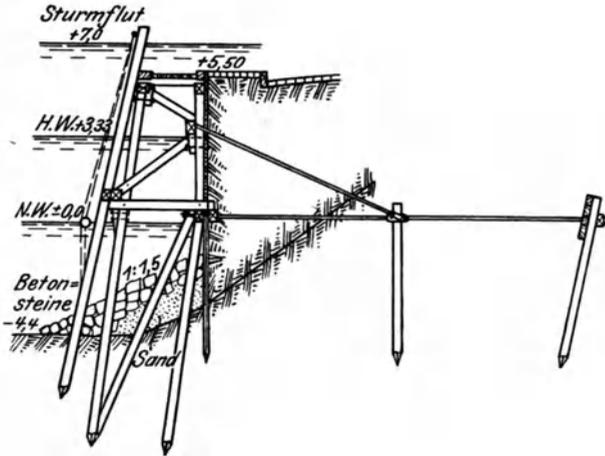


Abb. 227. Bollwerk in Geestemünde.

C. Kaimauern.

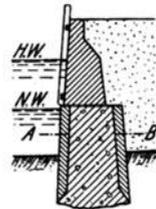
In allen Fällen, wo eine für große Tiefen und schwere Belastung durch Gleise und Krane geeignete dauerhafte Anlage erforderlich ist, empfiehlt sich die Herstellung massiver Kaimauern. Diese erreichen in Seehäfen, besonders in offenen Hafenbecken, oft eine beträchtliche Höhe, die außer von der Wassertiefe auch von der Bordhöhe der Schiffe und dem Wasserstandswechsel abhängig ist. Da der Baugrund häufig schlecht ist, muß die Gründung sehr sorgfältig ausgeführt werden; Ausweichungen und Einstürze von Kaimauern sind keineswegs seltene Erscheinungen. Die statische Berechnung wird nach bekanntem graphischen Verfahren ausgeführt.

Die wichtigsten Arten von Kaimauern hinsichtlich der Gründung sind:

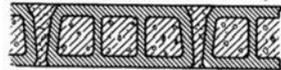
- a) Kaimauern auf Beton zwischen Spundwänden;
- b) Kaimauern auf Brunnen;
- c) Kaimauern auf Pfahlrost;
- d) Kaimauern aus großen fertig versetzten Blöcken;
- e) Kaimauern auf Sinkkästen;

Kaimauern auf einem Betonbett zwischen Spundwänden sind nur zweckmäßig, wenn der tragfähige Baugrund fast bis zur Hafensohle ansteht und wenn die Mauer im Trocknen, z. B. in neu ausgegrabenen noch nicht gefüllten Hafenbecken, oder nur in geringer Wassertiefe herzustellen ist. Bei größeren Tiefen muß die Baugrube von einem Fangedamm umschlossen und trockengelegt werden; in diesem Falle werden meistens die Kosten so groß, daß eine der folgenden Bauweisen vorzuziehen ist.

Kaimauern auf offen versenkten Brunnen sind im Bohrwurmgebiet angebracht, wenn der tragfähige Baugrund bis etwa 15 m unter Wasser liegt; bei noch größeren Tiefen müssen in der Regel die Brunnen mittels Luftdruckgründung abgesenkt werden. Die Form der Brunnen ist am besten quadratisch mit abgestumpften Ecken, bisweilen werden auch mehrere Brunnen zu einem längeren im wagerechten Schnitt rechteckigen Hohlkörper mit versteifenden Zwischenwänden vereinigt (Abb. 228). Die einzelnen Brunnen werden dicht über dem Niedrigwasser durch gemauerte Bögen



a) Querschnitt.



b) Grundriß.

Abb. 228.
Kaimauer auf Brunnen.

verbunden und alsdann wird über dem Ganzen der obere Mauerteil im Trocknen hochgeführt. Wenn die Mauer dem Seegang ausgesetzt ist, kann in den überwölbten Öffnungen zwischen zwei Brunnen Luft eingeschlossen und verdichtet werden, die dann sehr schädlich auf das Mauerwerk einwirkt. Man füllt daher die Öffnungen mit Beton aus, nachdem man sie vor und hinter der Mauer durch Holzverschalungen geschlossen hat. Die Betonpfropfen haften genügend, wenn die Zwischenräume im Grundriß keilförmig, nach der Hafenseite verjüngt, gestaltet sind, wie dies in der Abb. 228 angedeutet ist.

Wenn der tragfähige Baugrund durch Ramppfähle zu erreichen ist, so ist meistens Pfahlrostgründung am billigsten. Die Pfähle werden entweder dicht über der Hafensohle abgeschnitten (tiefer Pfahlrost), oder sie erhalten in Höhe des Niedrigwassers einen Belag, auf welchem die Mauer errichtet wird (hoher Pfahlrost). Die Abdichtung des Bodens erfolgt durch eine Spundwand, die am besten hinter die Mauer zu setzen ist, weil sie dort wegen des unter der Mauer verbleibenden Böschungskegels am kürzesten sein kann. Die Rostpfähle sind, damit sie nicht auf Biegung beansprucht werden, in die Richtung der Resultierenden aus Mauergewicht und Erddruck zu stellen; besser ist es jedoch, sie zu regelrechten Böcken zu verzimmern. Die Mauer ist dann gegen alle Seitenkräfte, auch gegen die unvermeidlichen Stöße beim Anlegen der Schiffe, gesichert. Der Pfahlrost wird mit Vorteil nach hinten breiter als die Mauer gemacht, alsdann erzeugt das Gewicht der auf der Verbreiterung lastenden Erde ein Moment, welches dem Momente des auf die Mauer wirkenden Erddruckes entgegenwirkt. Nach diesen Gesichtspunkten ist die in Abb. 229 dargestellte Kaimauer in Saßnitz entworfen worden.

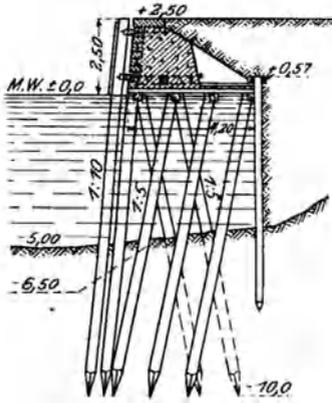


Abb. 229. Kaimauer in Saßnitz.

Der Pfahlrost wird mit Vorteil nach hinten breiter als die Mauer gemacht, alsdann erzeugt das Gewicht der auf der Verbreiterung lastenden Erde ein Moment, welches dem Momente des auf die Mauer wirkenden Erddruckes entgegenwirkt. Nach diesen Gesichtspunkten ist die in Abb. 229 dargestellte Kaimauer in Saßnitz entworfen worden.

Die gleiche Wirkung betreffs Aufhebung des Erddruckmomentes wird erzielt, wenn die Mauer als Winkelstützmauer gebildet wird, was mittels des Eisenbetonbaues leicht ausführbar ist (Abb. 230). Im allgemeinen sind jedoch massige Kaimauern den dünnwandigen vorzuziehen, weil sie den Schiffsstößen und der Verwitterung besser widerstehen.

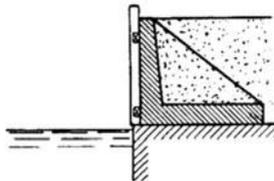


Abb. 230. Winkelstützmauer.

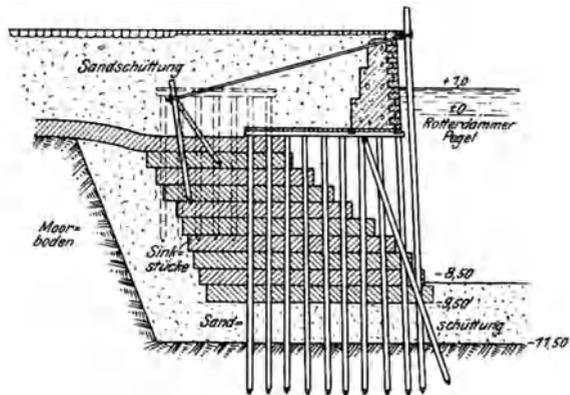


Abb. 231. Kaimauer in tiefem Moor zu Rotterdam.

Um die Gründung mittels hohen Pfahlrostes auch im Bohrwurmgebiet anwenden zu können, hat man den Rost durch eine davorgesetzte Betonschürze, die zwischen zwei Spundwänden gestampft wird, vom Hafenbecken abgeschlossen. In Kuxhaven ist die vorderste Reihe der Pfahlrostpfähle noch mit einbetoniert. In Tsingtau hat man vor dem Roste eine Spundwand aus Eisenbetonbohlengeschlagen.

Pfahlrostgründung wird auch mit Erfolg angewandt, wenn fester Baugrund überhaupt nicht zu erreichen ist. Abb. 231 stellt eine in sehr tiefem Moor errichtete Kaimauer in Rotterdamm dar. Das Moor ist stellenweise bis 16 m unter N.W. ausgebaggert worden. In die Rinne wurde eine druckverteilende Sandschicht von mindestens 2 m Stärke eingebracht. Auf diese wurden Sinkstücklagen so verlegt, daß sie nach dem Hafenbecken etwa mit 1:1 geböscht sind. Nachdem das Ganze sich gehörig gesetzt hatte, wurde ein hoher breiter Pfahlrost mit zahlreichen Pfählen hergestellt, der auf seiner Vorderkante die Mauer trägt. Die Rostverbreiterung und die Sinkstücke dienen gleichzeitig zur Befestigung des durch Gleise, Kranschienen u. dgl. belasteten Hafengeländes. Eine ähnliche Anordnung mit stark verbreitertem Rost ist u. a. auch in Geestemünde angewendet worden.

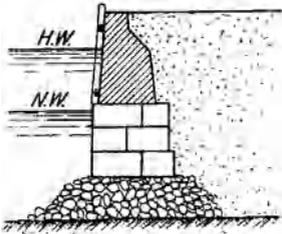


Abb. 232. Kaimauer aus gepackten Blöcken.

Die Gründung mittels künstlicher gepackter Blöcke (Abb. 232) wird ausgeführt, wie es bei den Hafendämmen auf S. 166 beschrieben wurde. Zweckmäßig werden die Blöcke auf eine Steinschüttung gestellt und so groß gewählt, daß schon mit wenigen Lagen der N.W.-Spiegel erreicht wird. Der obere Mauer- teil wird dann im Trocknen gemauert. Bei sehr großen Wasser-

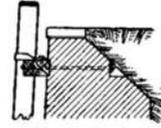
tiefen ist diese Bauart in Verbindung mit Steinschüttung am zweckmäßigsten.

Auch die Sinkkastengründung entspricht der bei den Hafendämmen üblichen Ausführungsweise. Bei Kaimauern muß hierbei stets die Bausohle durch Steinschüttung sorgfältig abgeglichen werden, bisweilen läßt man die Sinkkasten auch auf tiefen Pfahlrost aufsitzen. Auch Steinkistengründungen sind für Kaimauern ausgeführt worden, unter anderem in New York.

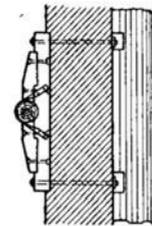
Die Kaimauern sind sorgfältig gegen das Ufer abzudichten, da sonst leicht Ausspülungen der Hinterfüllung durch den Wellenschlag und Bodendurchbrüche vorkommen. Man nimmt zweckmäßigerweise zur Hinterfüllung Steinschlag, Kies oder groben Sand, nicht aber Tonboden, der sich leicht ausschlämmen läßt. An der Wasserseite wird die Mauer mit eingerammten Streichpfählen oder mit bis zur Niedrigwasserlinie reichenden Streichbalken bekleidet, damit die Schiffe nicht auf das harte Mauerwerk stoßen können. Die Holzbekleidung muß von Zeit zu Zeit erneuert werden, sie wird daher mit Steinschrauben, Bügeln und Knaggen lösbar am Mauerwerk befestigt (Abb. 233).

D. Festmachevorrichtungen.

Zum Festmachen der Schiffe dienen Dalben, Poller und Schiffsringe. Dalben, auch Ducdalben¹⁾ genannt, sind Pfahlgruppen, die den Schiffen einen Stützpunkt zum Anlehnen geben und außerdem zum Befestigen der Schiffstrossen benutzt werden. Sie dienen auch zum Abhalten der Schiffe von geböschten Uferbefestigungen und von vorspringenden Bauwerksteilen. Sie müssen also starken, teils dicht über der Wasserlinie, teils am oberen Dalbenende angreifenden Horizontalkräften widerstehen, die bei großen Schiffen 200 t und mehr betragen können. Die Dalben werden stets aus Holz gefertigt und entweder als elastische Pfahlbündel oder als steife Bockkonstruk-



a) Ansicht.



b) Grundriß.

Abb. 233 a und b. Streichpfahlbefestigung.

¹⁾ Das Wort Ducdalbe ist wahrscheinlich aus dem niederdeutschen Dykdalle = Deichpfahl entstanden.

tionen ausgeführt. Im ersteren Falle wird eine Anzahl von Pfählen senkrecht oder mit geringer Steigung nebeneinander eingerammt und durch Ketten so verbunden, daß die Ausbiegung der Pfähle nur gemeinsam erfolgen kann (Abb. 234). Derartige Dalben sind zum Vorteil der sich anlehenden Schiffe sehr nachgiebig, aber nicht so widerstandsfähig wie starre Dalben mit gleicher Pfahlanzahl.

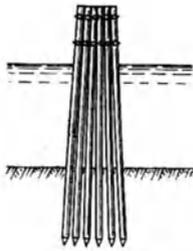


Abb. 234.
Pfahlbündel.

Letztere bestehen aus mindestens 3 Pfählen, die zu einem starren räumlichen Bock verzimmert sind. Für größere Schiffe müssen erheblich mehr Pfähle angewendet werden. Die Verbindung muß wirklich widerstandsfähig durch Einkämmung und durch Verdübelung gebildet werden (Abb. 235 a), wenn der Dalben als starres Raumfachwerk wirken soll; häufig sieht man Ausführungen, bei denen

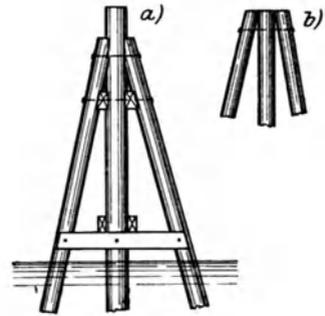


Abb. 235.
Verbindung der Dalbenpfähle.

die Pfähle nur durch eiserne Bolzen zusammengezogen sind (Abb. 235 b); solche sind wirkungslos, weil die Bolzen bald ausreißen. Bei größeren, namentlich bei höheren Dalben werden auch noch horizontale Verbände durch hölzerne Laschen angewendet (Abb. 236), außerdem wird das ganze Pfahlbündel von

starken Ketten umspannt. Hohe Dalben sind auch bei starker Verzimierung noch elastisch genug, so daß Beschädigungen der anstoßenden Schiffe nicht so leicht vorkommen können.

Abb. 236 zeigt einen der im Saßnitzer Hafen ausgeführten 35pfähligen Dalben, die zur Einfassung der Fährbetten dienen; sie mußten besonders kräftig ausgebildet werden, weil sie dem Stoß der in die Fährbetten einfahrenden 4200 t schweren Fährschiffe ausgesetzt sind. Den Mittelpfahl, Königspfahl genannt, läßt man gewöhnlich um 50 bis 60 cm aus dem

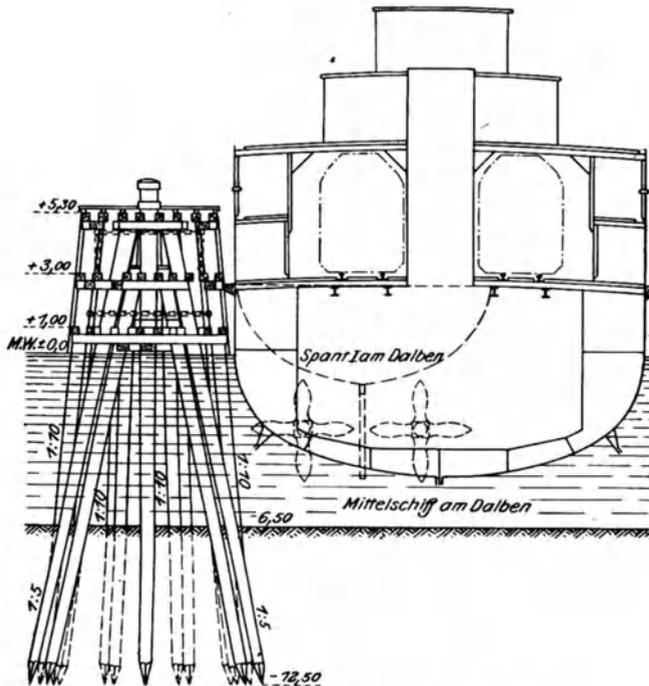


Abb. 236. 35pfähliger Dalben in Saßnitz.

Pfahlbündel hervorragen; er dient dann als Poller zum Befestigen der Schiffstrossen. Zu diesem Zwecke versieht man auch die Befestigungsketten mit Haken. Für sehr große Schiffe wird oftmals eine Reihe starker Dalben zu einem Leitwerk verbunden.

Poller werden auf den Kais zum Festlegen der Schiffe angeordnet. Größere Schiffe machen fest mittels schräg nach vorn und hinten ausgebrachter Schiffstrossen, sogenannter Springtrossen, gemäß Abb. 237. Die Trossen müssen eine genügende von der Bordhöhe und dem Wasserstandswechsel abhängige Länge haben, damit sie den senkrechten Lagenänderungen des Schiffes folgen können. Aus diesem Grunde ist es vorteilhaft, wenn die Poller etwa 10 m hinter der Kai-kante liegen. Wenn der Kai jedoch mit Gleisen, besonders Krangleisen, ausgerüstet ist, so bilden die vom Poller nach dem hohen Schiffsbord schräg aufwärts verlaufenden Trossen ein lästiges Hindernis für den Verkehr, und deshalb ist man manchmal genötigt, die Poller dicht an die Kai-kante zu legen. Dies ist aber nur zulässig in Hafenbecken, die vor der Wellenbewegung vollkommen geschützt sind, so daß die Schiffe ihre Trossen je nach dem Wasserstand verkürzen können. Die Poller bestehen jetzt meistens aus einem gußeisernen Ober-¹⁾teil, der in einem genügend großen Betonklotz verankert ist (vgl. Abb. 238 u. 239).

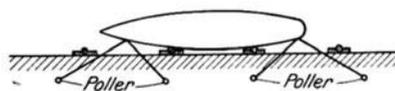
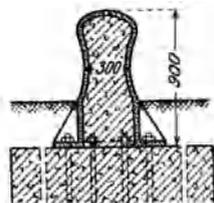
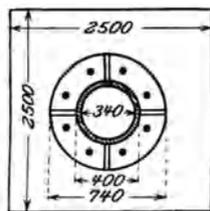


Abb. 237. Festmachen eines Schiffes.



a) Querschnitt.



b) Grundriß.

Abb. 238 a und b.
Abnehmbarer Poller.

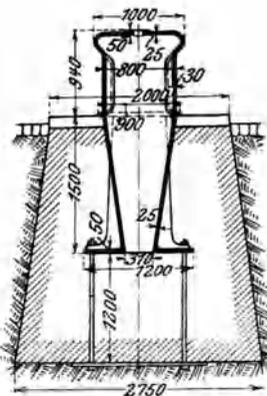
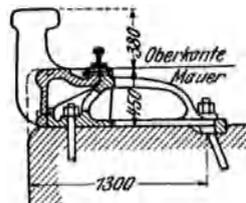
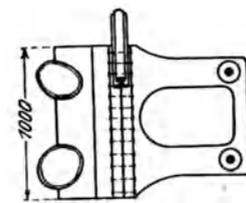


Abb. 239.
Fester Poller.



a) Querschnitt.



b) Grundriß.

Abb. 240 a und b.
Poller auf einer Kai-kante.

Bisweilen wendet man dafür auch hölzerne Pfähle an, die durch im Boden stehende Schrägpfähle gestützt werden. Steinpoller sind für große Seeschiffe nicht fest genug; sie werden auch von den Schiffen nicht gern benutzt, weil sich die Trossen auf ihnen zu schnell abnutzen.

Die von den Schiffstrossen auf die Poller ausgeübten Kräfte sind außerordentlich groß und kaum zu berechnen, namentlich wenn die Schiffe durch Wellenbewegung in die Trossen stoßen¹⁾. Der Sicherheit der Poller ist daher größte Beachtung zu widmen. Sie sind in den meisten Fällen besonders zu fundieren, nicht aber in die Kaimauer einzulassen, weil der Zug der Schiffstrossen die Mauer zum Überkippen bringen kann. Abb. 238 zeigt einen Poller mit abnehmbarem Oberteil in Saßnitz, Abb. 239 einen fest eingemauerten in Kiel.

¹⁾ In Saßnitz wurde in einer Sturmnacht im Winter 1910 ein 15 cbm großes Betonfundament durch den Pollerzug zersprengt, ein anderes umgekatet. In Cuxhaven geriet im Jahre 1908 der Schnelldampfer „Deutschland“ infolge Pollerbruchs ins Treiben, stieß dabei gegen eine Kaimauer und wurde beschädigt.

In Abb. 240 ist endlich ein dicht an der Kaikante aufgestellter Poller in Bremen dargestellt; die Kranschiene ist darüber verlegt worden, der Poller ist ebenfalls nach rückwärts unabhängig von der Kaimauer verankert.

Poller mit drehbarem Oberteil nennt man Spills; sie dienen zum Anziehen herumgelegter Schiffstrossen zwecks Verholung großer Schiffe ohne Mitwirkung der Schiffswinden. Wenn die Drehung mittels eingesteckter Spaken durch im Kreise gehende Menschen wie bei einem Göpelwerk erfolgt, so nennt man das Spill ein Gangspill (Abb. 241). Neuerdings wendet man meist hydraulisch oder elektrisch angetriebene Spills an.

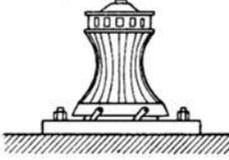


Abb. 241. Gangspill.

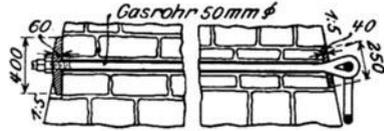


Abb. 242. Schiffsring.

Schiffsringe werden zum Festmachen kleinerer Schiffe in Molen und Kaimauern verankert. Meistens werden die Anker durch den Mauerkörper ganz hindurchgeführt und durch starke Unterlagsplatten und Splinte oder Schrauben gesichert (Abb. 242). Der lichte Ringdurchmesser beträgt 30 bis 40 cm, die Ringstärke 6 bis 8 cm. Müssen auch große Schiffe an den Ringen festmachen, wie es an Kais, die mit Kränen und Gleisen dicht besetzt sind, oft nicht zu vermeiden ist, so werden die Ankerstangen der Ringe noch an besonderen, von der Mauer unabhängigen und genügend sicheren Ankerböcken befestigt.

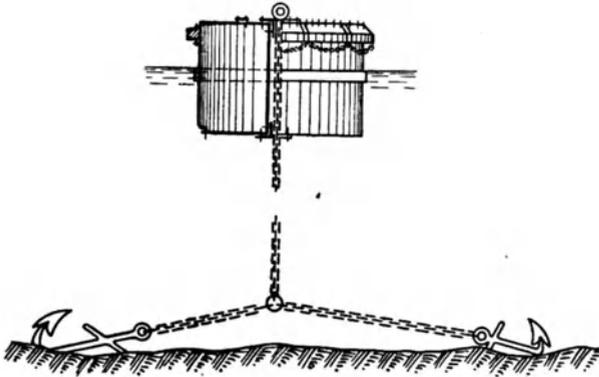


Abb. 243. Ankerboje.

Ankerbojen dienen zum Festmachen der Schiffe ohne Poller und Dalben an solchen Stellen, wo nicht Anker geworfen werden darf. Die Kette muß die Stärke einer Schiffsankerkette haben, sie wird am Boden an einem oder mehreren Ankern oder an in den Boden eingelassenen Betonklötzen oder Ankerschrauben befestigt (Abb. 243). Damit der Bojenkörper durch den Schiffszug nicht verzogen und undicht gemacht wird, ist die Kette durch eine zylindrische Öffnung in der Boje hindurchgeführt und endigt oben mit einem starken Ring zum Einschlingen der Schiffstrosse.

21. Abschnitt. Landvorrichtungen für besondere Zwecke.

A. Landebühnen in verschiedener Höhe.

Wenn Schiffe mit verschiedener Bordhöhe anlegen sollen oder wenn der Wasserstand stark wechselt, muß der Kai mit verschieden hohen Landebühnen ausgestattet werden. In einfachster Weise vermitteln Steigeleitern den Verkehr für einzelne Personen aus niedrigen Fahrzeugen zu hohen Kais. Die Leitern werden aus Eisen hergestellt und in Nischen der Kaimauer eingesetzt, damit sie von den Schiffen nicht angestoßen werden können; zum sicheren Austritt von der Leiter sind Handgriffe in die Kaikrone eingelassen. Schiffsringe in der Nähe der Leiter dienen zum Festhalten des anlegenden Bootes mittels Bootshaken. Wenn der Personenverkehr größer ist, wird ein tiefliegendes Podest

hergestellt und mit dem Kai durch eine der Kaiflucht parallel laufende Treppe verbunden (Abb. 244). Podest und Treppe dürfen nicht vor die Kaiflucht hervortreten. Bei starkem Flutwechsel werden bisweilen mehrere Landebühnen übereinander angeordnet. Abb. 245 zeigt eine in Calais ausgeführte Anlage mit 3 Podesten¹⁾. Dort müssen die den Verkehr nach England vermittelnden Personendampfer trotz des bei gewöhnlicher Springflut 6,2 m betragenden Flutwechsels zu jeder Zeit im offenen Vorbecken anlegen können; je nach dem Stande der Tide benutzt man das obere, mittlere oder untere Podest. Ähnliche Anlagen sind auch in verschiedenen englischen Häfen ausgeführt worden. Wenn auch Vieh verladen werden soll, sind die Podeste durch Rampen mit der Kaifläche zu verbinden.

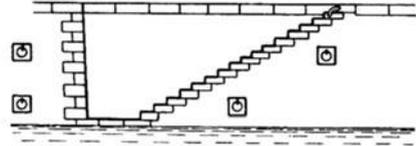


Abb. 244. Kaitreppe.

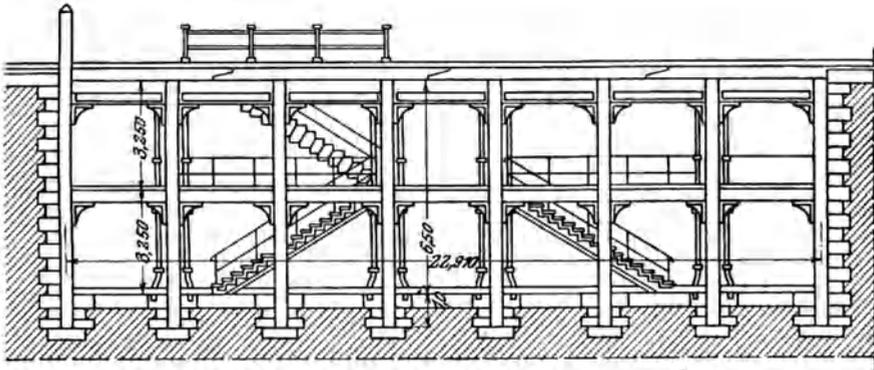


Abb. 245. Mehrstöckige Landebühne in Calais.

B. Bewegliche Landebrücken.

In vielen Fällen, namentlich wenn auch Wagen vom Schiffe zum Lande und umgekehrt verkehren sollen, wendet man bewegliche Rampen zur Ausgleichung des Höhenunterschiedes an. Ihre Neigung darf für Menschen und Vieh höchstens 1 : 5, für beladene Wagen nur 1 : 20 betragen. Sie werden als Brücken-

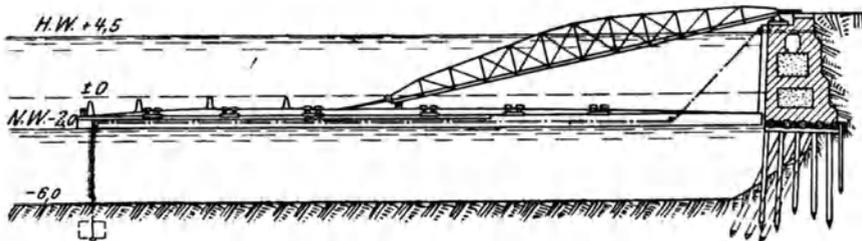


Abb. 246. Bewegliche Landebrücke in Bremen.

tafeln ausgebildet, die mit einem Ende drehbar an Land befestigt sind und sich mit dem andern Ende auf das Schiff (Abb. 249, S. 178) oder auf ein besonderes Ponton (Abb. 246) auflegen. Im ersteren Falle muß das wasserseitige Brückende an einem Portal aufgehängt und je nach dem Wasserstand gehoben und gesenkt werden, wobei das Eigengewicht meistens durch Gegengewichte ausgeglichen wird; im

¹⁾ Nach Esselborn, Lehrbuch des Tiefbaues, Bd. Seebau.

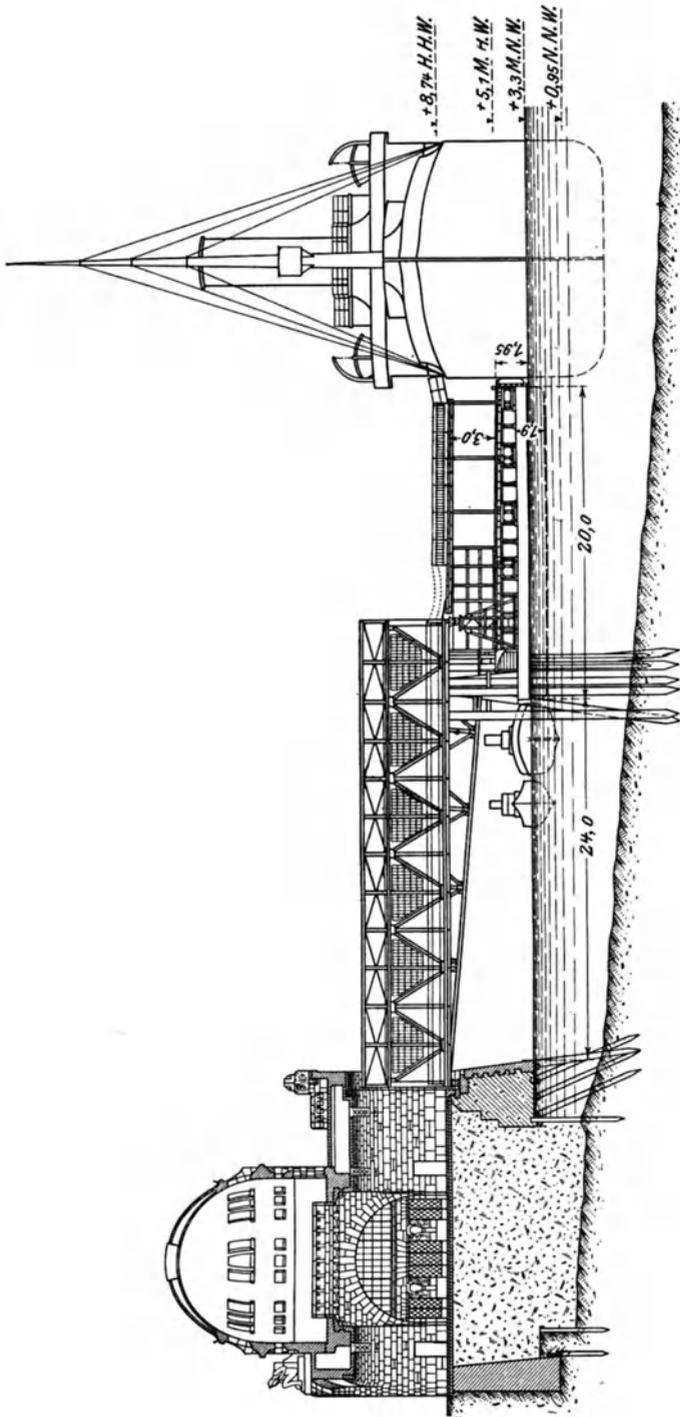


Abb. 247. St. Pauli-Landebrücken in Hamburg.

andern Falle stellt die Brücke sich selbsttätig ein. Das Ponton nimmt entweder nur die Brückenlast auf, dann reicht das wasserseitige Brückende über das Ponton hinweg und legt sich auf das Schiff auf, sobald das Ponton durch Belastung tiefer sinkt, oder es wird auch für die Verkehrslast eingerichtet und ist dann gleichsam ein schwimmender Kai. Abb. 246 zeigt eine nach der letztbenannten Anordnung ausgeführte Anlage in Bremen. Das Ponton ist in sinnreicher Weise so an Ketten verankert, daß es sich wohl heben und senken, aber nicht wesentlich seitlich verschieben kann.

Als hervorragendes Beispiel einer schwimmenden Kaianlage seien die St. Pauli-Landebrücken in Hamburg¹⁾ erwähnt (Abb. 247). Die Plattform ist 420 m lang und 20 m breit; sie ruht auf 109 auswechselbaren flußeisernen Pontons. 7 bewegliche Brücken verbinden sie mit dem Kaigelände, außerdem führen noch zwei gleichartige Brücken zu um 3 m erhöhten Plattformen, die den Verkehr zu hochbordigen Schiffen vermitteln. Die Pontons werden durch Schwimmbalken, die mittels Ketten an Pfahlbündeln geführt sind, in ihrer Lage gehalten. Die Brücken sind nur an einem Landaufleger in festem Gelenk gelagert, die übrigen drei Auflager sind Rollenlager, so daß die Brücken nicht

nur Hebungen und Senkungen, sondern auch geringe Drehungen um den festen Lagerpunkt ausführen können. Die Anlage hat 5,5 Millionen Mark gekostet.

¹⁾ Vgl. Deutsche Bauzeitung 1909, S. 8.

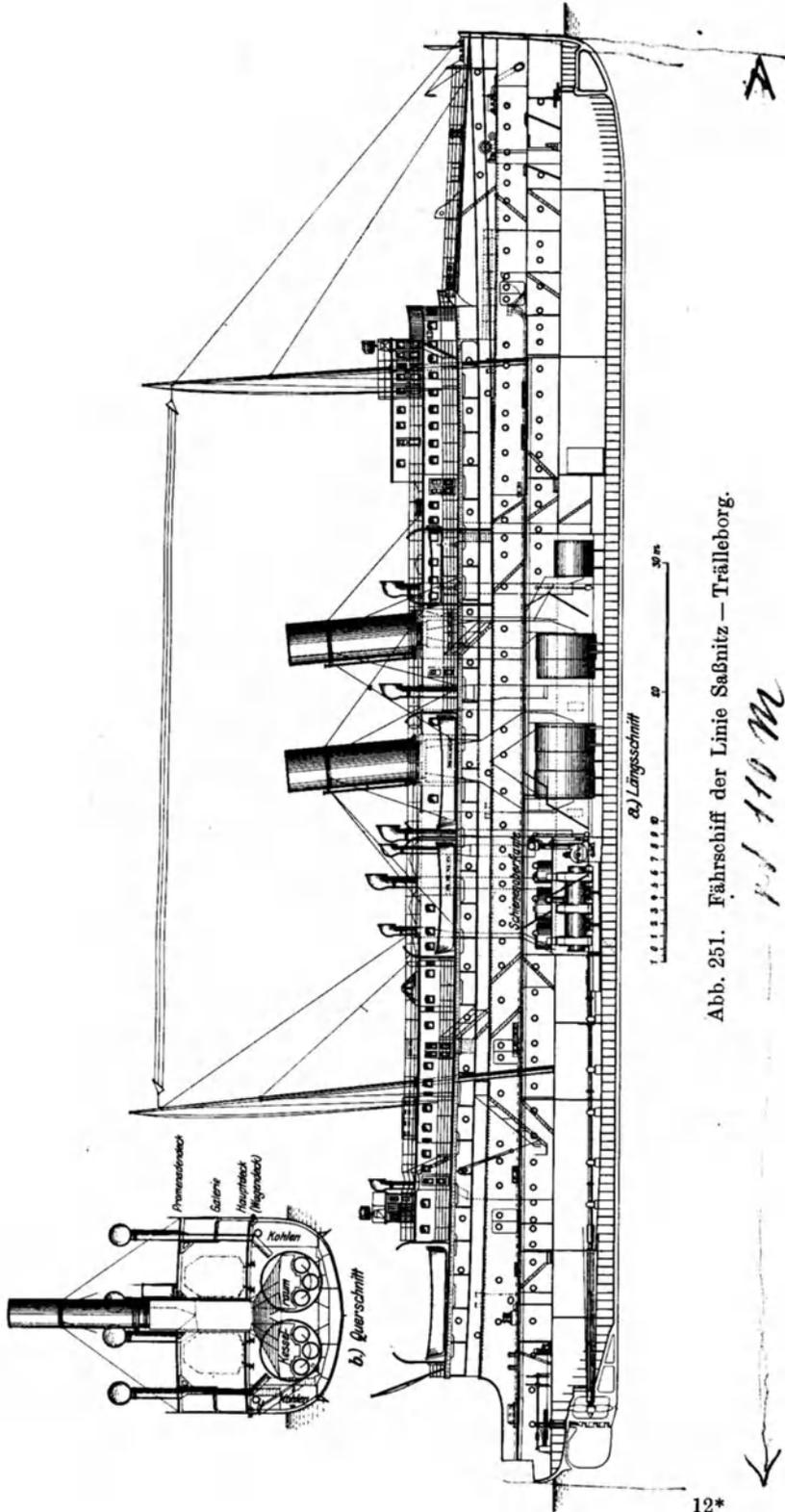


Abb. 251. Fährschiff der Linie Saßnitz — Trälleborg.

Bei der Hafenfähre über den Köhlbrand in Hamburg fehlt der Raum zur Unterbringung langer Landungsbrücken, deshalb wird die Höhe der die Gleise tragenden Plattform auf dem Schiffe je nach dem Wasserstande verstellt.

Die Fährschiffe wurden früher als flache Prähme gebaut, die an Deck ein Gleis trugen und an beiden Enden gleichmäßig breit und flach waren, um die Wagen von beiden Seiten aufbringen zu können. Diese für Binnengewässer zweckmäßige Form ist auf See unzulänglich. Bei den zwischen Warnemünde und Gjedser verkehrenden Schiffen hat man wenigstens das Vorderschiff eingedeckt und, um die Besetzung auch von vorn zu ermöglichen, die Back aufklappbar eingerichtet. Die in Abb. 251 dargestellten Saßnitzer Schiffe sind 113 m lang, verdrängen 4200 cbm Wasser und laufen 16 Knoten. Sie sind vollkommen seetüchtig gebaut; um ein für große Fahrgeschwindigkeit geeignetes Vorderschiff ausbilden zu können, wurde nur das Heckende zum Anschluß an die beiden Gleise der Landebrücken eingerichtet. Die Wagen stehen in einem nur nach hinten offenen Tunnel und sind daher gegen Witterung und Sturzseen vollständig geschützt; damit sie nicht bei Schwankungen des Schiffes „übergehen“ können, wird jeder einzelne zwischen den Schienen und bei schlechtem Wetter auch an der Decke des Tunnels mit Kettenhaken fest verspannt. Über dem Wagendeck liegt ein Promenadendeck, auf dem die Salons eingerichtet sind, und darüber das Kommandodeck. Die Schiffe erreichen bis Oberkante Kommandobrücke die bedeutende Höhe von 12 m, bis zu den Mastspitzen 32 m über dem Wasserspiegel.

22. Abschnitt. Seeschleusen.

A. Schleusenkörper.

Die Seeschleusen entsprechen in ihrer Anordnung und in ihrer Wirkungsweise den Schleusen für die Binnenschifffahrt, deshalb kann hier von einer eingehenden Beschreibung, insbesondere auch von theoretischen Untersuchungen, abgesehen werden. Es sollen vielmehr nur die den Seeschleusen eigentümlichen und daher besonders zu beachtenden Verhältnisse kurz erläutert werden.

Seeschleusen sind erforderlich in Seehäfen zum Abschluß von Dockbecken gegen die äußeren Hafenbecken und in Seekanälen als Endverschlüsse oder zur Verbindung verschiedener Haltungen. Sie werden gewöhnlich als Kammerschleusen ausgebildet; nur bei Dockhäfen, vor welchen das Hochwasser längere



Abb. 252. Dockschleusen.

Zeit mit ziemlich gleichbleibender Höhe andauert (vgl. Abb. 41 auf S. 37), findet man noch einfache Dockschleusen. Diese bestehen nur aus einem Schleusenhaupt, das gewöhnlich mit einfachem Stemmtorpaar ausgestattet ist (Abb. 252 a). Wenn jedoch Sturmfluten von den Hafenbecken ferngehalten werden sollen, so ist noch ein Gegentorpaar erforderlich (Abb. 252 b). Die Dockschleusen bedürfen keiner Füllvorrichtungen; zu Spülzwecken sind aber doch bisweilen Umläufe oder Tor-schützen vorhanden. Die Tore können nur geöffnet werden, wenn Hochwasser eingetreten ist, die Ein- und Ausfahrt der Schiffe ist daher auf wenige Stunden beschränkt. Neuerdings werden Dockschleusen, trotzdem sie sehr viel billiger als Kammerschleusen sind, nur noch selten neu hergestellt, weil meistens verlangt wird, daß die Dockbecken bei jedem Stande der Tide zugänglich sind.

Spülschleusen haben gleichfalls nur ein Haupt; die Tore sind so eingerichtet, daß sie bei N.W. plötzlich geöffnet werden können, damit das Wasser des Spülbeckens ausströmt. Das Öffnen muß also gegen den Druck des Ober-

wassers erfolgen; man wendet deshalb Drehtore an, die ähnlich wie ein Trommelwehr wirken, jedoch meist senkrechte Drehachsen haben.

Kammerschleusen werden so groß gewählt, daß eins der größten verkehrenden Schiffe aufgenommen werden kann. Die Häupter müssen wie bei den Dockschleusen oft mit Gegentoren ausgerüstet werden oder solche Einzelverschlüsse erhalten, die nach beiden Seiten zu kehren geeignet sind. Die Drempttiefe unter N.W. ist so zu bemessen, daß unter dem Kiel des tiefstgehenden Schiffes noch eine Tiefe von etwa 0,5 m verbleibt; bei Kriegshäfen ist der Spielraum noch größer zu wählen, damit auch havarierte Schiffe mit vergrößertem Tiefgang durchgeschleust werden können. Als Spielraum in der Breite sind 1,0 bis 2,0 m, in der Länge 5 bis 10 m erforderlich. Je flotter die Schleusungen vor sich gehen sollen, um so größer sind die Spielräume zu wählen, andererseits ist jedoch zu berücksichtigen, daß nur wenige Schiffe die größten der Berechnung zugrunde gelegten Abmessungen haben, während die weit überwiegende Anzahl erheblich kleiner ist (vgl. auch S. 97 u. 98). Über die Abmessungen einiger neuerer Seeschleusen gibt nachstehende Tabelle Aufschluß.

Benennung	Nutzbare Länge m	Nutzbare Breite m	Drempttiefe m	Torart
Kaiser Wilhelm-Kanal, alte Schleusen	150	25	9,8 unter M.W.	Stemmtore
Antwerpen, neue Nordschleuse . .	180	22	10,1 unter Hafenwasserstand	Schiebetore
Bremerhaven, Kaiserschleuse . .	200	28	10,56 unter M.H.W.	auß. Stemmtore, binnen Schiebeter
Devonport, Kriegshafen	222	29	14,4 unter H.W. Springtide	Schiebetore
Le Havre, neue Seeschleuse . .	241	30	10,65 unter Hafenwasserstand	Stemmtore
Cardiff, neuer Südhafen	259	27,4	12,7 unter H.W. Springtide	Stemmtore
Portsmouth, neue Schleuse . . .	260	33,5	10,0 unter N.W. Springtide	Schiebetore
Emden, neue Seeschleuse	260	40	13,0 unter M.H.W.	Schiebetore
Panama-Kanal	304	33,5	12,2 unter N.W.	Stemmtore
Kaiser Wilhelm-Kanal, neue Schleusen	330	45	13,8 unter M.W.	Schiebetore

Die Schleusen müssen mit Pollern, Schiffsringen und Drehspills reichlich versehen sein; das Einfahren der Schiffe mit eigener Kraft ist unzulässig, weil dabei die Tore zu leicht eingerammt werden können. Die Zufahrten sind durch Dalbenreihen oder Flügelmauern trichterförmig zu gestalten, damit die Schiffe die erforderliche Seitenführung erhalten.

Die Schleusenkörper werden jetzt meistens aus Schütt- oder Stampfbeton hergestellt; Eiseneinlagen werden zur Sicherung einzelner auf Zug beanspruchter Teile angewendet, eigentliche Eisenbetonkonstruktionen sind jedoch bisher vermieden worden. Als Bindemittel scheint sich Portlandzement am besten bewährt zu haben. Kalktraßmörtel wurde bei dem auf S. 15 beschriebenen Fall in Kiel stark zersetzt. Oberhalb des tiefsten Wasserstandes empfiehlt sich eine Verblendung der Seitenmauern mit Klinkern oder Granitquadern. Die Sohlen werden meistens unverkleidet gelassen; wenn eine Übermauerung ausgeführt wird, so empfiehlt es sich, diese mittels starker Eisenanker mit dem Beton der Sohle zu verbinden, denn es ist öfter beobachtet worden, daß die Verblendschicht durch den Druck des durch die Betonporen dringenden Wassers abgesprengt wurde.

Die Berechnung der Schleusenkörper ist dadurch erschwert, daß die Verteilung der Bodendrucke nur annähernd bekannt ist. Auf die Theorie kann

hier nicht eingegangen werden; ein praktisches Rechnungsverfahren ist von Brennecke im „Grundbau“ und im „Handbuch der Ingenieurwissenschaften“ angegeben worden¹⁾. Die statischen Verhältnisse sind im wesentlichen davon abhängig, ob man die Sohle als einheitliche Platte zuerst herstellt und die Seitenmauern alsdann daraufsetzt, oder ob die Seitenmauern zuerst ausgeführt werden und dann die Sohle als umgekehrtes Gewölbe dazwischengespannt wird. Im letzteren Falle sind die Standsicherheitsverhältnisse klarer, jedoch ist meistens die Ausführung schwieriger. Mit besonderer Sorgfalt ist die Sicherheit des Dremfels und der Anschlagnischen zu untersuchen; es gilt hier dasselbe, was auf S. 192 über die Dremfel der Trockendocks gesagt ist.

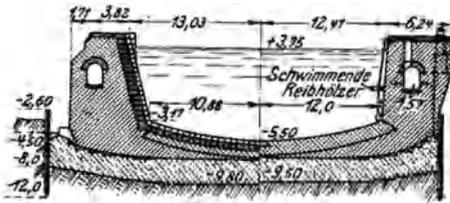


Abb. 253. Schleuse mit durchgehender Sohle in Wilhelmshaven.

Als Beispiel der Bauart mit durchgehender Sohle sei eine der Schleusen in Wilhelmshaven angeführt (Abb. 253).²⁾ Die Baugrube wurde durch einen Fangedamm und Schutzdeich von der Jade abgeschlossen. Nachdem die Spundwände geschlagen waren und der Bodenaushub beendet war, wurde

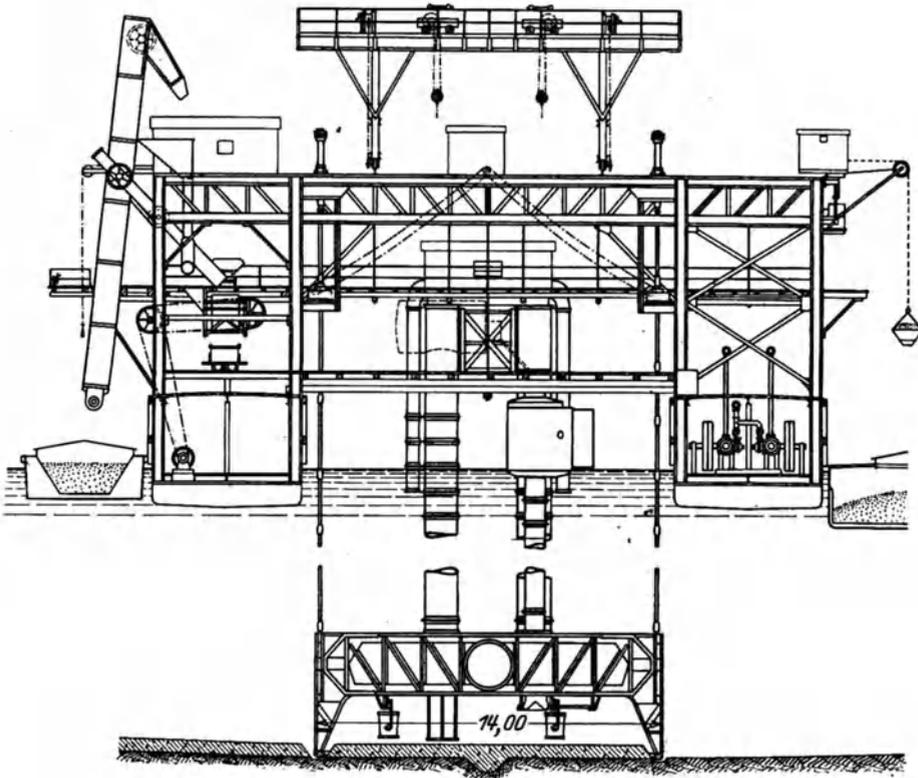


Abb. 254. Herstellung einer Seeschleuse mittels Taucherglocke.

¹⁾ Über ein weiteres Rechnungsverfahren, das die Abhängigkeit des Bodendruckes von den elastischen Formveränderungen des Schleusenkörpers berücksichtigt, vgl. O. Franzius, Über die Berechnung von Trockendocks, Zeitschr. für Bauwesen 1908.

²⁾ Vgl. Zeitschrift für Bauwesen, Jahrgang 1912.

die Sohle mittels Kastenbetonierung im Wasser geschüttet. Nach gehöriger Erhärtung des Sohlenbetons wurde die Baugrube trockengelegt, und alsdann konnten die Seitenmauern aus Stampfbeton zwischen Schalung hergestellt werden.

Wenn die Bauausführung in tiefem Wasser und gleichzeitig bei bedeutendem Flutwechsel erfolgen muß, so können zur Umschließung der Baugrube Fangedämme von 20 m Höhe und mehr erforderlich werden, die kaum noch ausführbar sind. In diesem Falle ist man oft zur Preßluftgründung genötigt. Bei der Herstellung der dritten Hafeneinfahrt in Wilhelmshaven und beim Bau der Trockendocks Nr. 5 und 6 in Kiel wurden Taucherglocken verwendet, die an einem schwimmenden Gerüst aufgehängt waren¹⁾; die Höhenlage konnte je nach der Wassertiefe mittels Schraubenspindeln eingestellt werden (Abb. 254). Die Schleusensohle wurde unter der im Grundriß recht-

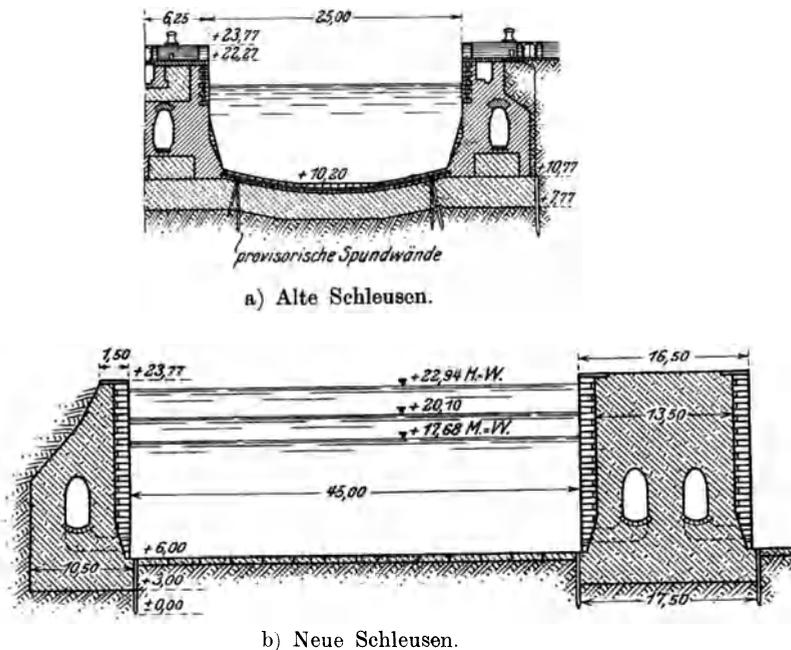


Abb. 255 a und b. Querschnitt der alten und neuen Schleusen des Kaiser Wilhelm-Kanals.

eckigen Glocke in einzelnen Schichten hergestellt; für die Ränder der Glocke wurden in jeder Lage Vertiefungen freigelassen, die bei der nächsten Lage, wobei die Glockenstellung um eine halbe Glockenbreite versetzt war, ausbetoniert wurden. Dadurch entstand eine Art von Verzahnung, die zur besseren Verbindung der einzelnen Schichten dienen soll. Nach Fertigstellung der Sohle wurden die Seitenmauern ebenfalls unter der Taucherglocke hochgeführt. Diese Bauweise darf jedoch nur mit Vorsicht nachgeahmt werden. Nach neueren Erfahrungen ist auf gleichmäßige Festigkeit von Stampfbeton nicht zu rechnen. Selbst wenn das Stampfen in freier Luft erfolgt, bilden die Stampfschichten stets Fugen mit geringerer Haftfestigkeit; beim Arbeiten mit der Taucherglocke, wo beim Versetzen der Glocke die in den Beton gedrungene Preßluft entweicht, tritt die trennende Wirkung noch mehr hervor. Dadurch und durch die Zersetzung des Kalktraßbetons im Seewasser wurde das Trockendock Nr. 5

¹⁾ Vgl. Zeitschr. für Bauwesen, Jahrgang 1903.

in Kiel schon nach kurzer Betriebszeit so schadhafte, daß es einer sehr schwierigen und kostspieligen Ausbesserung unterzogen werden mußte¹⁾.

Schleusen mit zwischen die Seitenmauern gespannter Sohle sind die alten Schleusen des Kaiser Wilhelm-Kanals (Abb. 255a). Die Ausführung konnte im Trocken erfolgen, und zwar unter künstlicher Grundwasserabsenkung. Durch

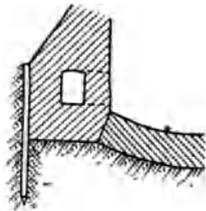


Abb. 256.
Anschluß der Sohle
an die Seitenmauern.

den erst nach Erhärtung der Seitenmauern ausgeführten Anschluß der Sohle entstehen zwischen letzterer und den beiden Mauern Fugen, welche gestatten, daß die drei Bauteile sich in gewissem Maße einzeln verbiegen können. Bei den neuen Schleusen (Abb. 255b) ist keine biegegeste Sohle vorhanden, sondern der feste Tonboden ist nur mit einer dünnen Plattenlage abgedeckt worden.²⁾ Bei der im tiefen Wasser ausgeführten Schleuse zu Le Havre wurden die Seitenmauern als große Caissons mit Luftdruckgründung abgesenkt, und die Sohle wurde später unabhängig dazwischengeschüttet. Dieses Verfahren ist der

Herstellungsweise in Einzellamellen, mittels Taucherglocke, wie sie vorstehend beschrieben wurde, vorzuziehen. Durch geringe Unterschneidung der Seitenmauern kann für eine gegen Unterdruck völlig sichere Auflagerung der Sohle gesorgt werden (Abb. 256).

B. Verschlüßvorrichtungen.

Als Verschlüßvorrichtungen für Seeschleusen werden Stemmtore, Schiebepontons und Schwimmpontons verwendet; Klapptore, Hubtore und einflügelige Drehtore sind nicht üblich. Ältere Seeschleusen haben fast ausschließlich Stemmtore, die häufig aus Holz gefertigt sind. Den hölzernen Toren rühmt man große Elastizität nach, die besonders angebracht ist, wenn das Tor dem Seegang ausgesetzt ist. Neuerdings gibt man jedoch wegen der immer größer werdenden Torabmessungen meistens dem Eisen den Vorzug; zur Verriegerung des auf die Lager wirkenden Momentes infolge des Eigengewichtes werden die Tore in bekannter Weise mit Schwimmkästen ausgerüstet. Die Tore der Schleusen des Panamakanals haben zur Vermeidung des Durchhängens Stützrollen an den schwebenden Enden erhalten, die auf Bogenschienen laufen. Da der auf die Tore wirkende Wasserdruck wegen der großen Torabmessungen sehr bedeutend ist, so ist es meistens zweckmäßig, den größten Teil des Druckes nicht auf den Dremmel, sondern auf die Wendenischen zu übertragen; daher sind Riegelttore den Ständertoren vorzuziehen.

Die Pontontore haben vor den Stemmtoren den Vorzug, daß sie einteilig sind und dabei nach beiden Seiten kehren können. Es genügt also ein Verschlüßkörper mit einer Antriebsvorrichtung, wo sonst 4 Torflügel und 4 Antriebe erforderlich wären. Auch die Anlage-, Betriebs- und Unterhaltungskosten sind für Pontons meistens geringer als für Stemmtore, außerdem kann das Schleusenhaupt wesentlich verkürzt werden; bei einer 30 m breiten Schleuse mit beiderseitig kehrenden Verschlüssen werden durch Anwendung von Pontontoren etwa 50 m an Schleusenlänge gespart. Schiebepontontore dürfen dann nicht gewählt werden, wenn das Schleusenhaupt dem Seegang ausgesetzt ist, weil sie dann nicht völlig sicher geführt werden können. Daher findet man sie bei nahe an offener See liegenden Schleusen nur am Binnenhaupt. Sie haben ferner den Nachteil, daß sie einer seitlich an die Schleuse angebauten Pontonkammer bedürfen, die je nach der Füllung der Schleusenkammer bald mit dieser, bald mit dem Ober-

¹⁾ Vgl. Behrendt und O. Franzius, Der Unfall und die Wiederherstellung von Dock V auf der Kaiserlichen Werft in Kiel. Zeitschr. für Bauwesen 1912.

²⁾ Vgl. Zeitschr. für Bauwesen 1913, Heft IV—VI.

wasser in offener Verbindung steht und daher wasserdicht ausgeführt werden muß, was manchmal schwierig ist. Wenn die Pontonkammer mit dem Schleusenmauerwerk ein Ganzes bildet, so bricht sie leicht ab, weil sie die elastischen Bewegungen der Seitenmauern nicht mitmachen kann; daher sollte

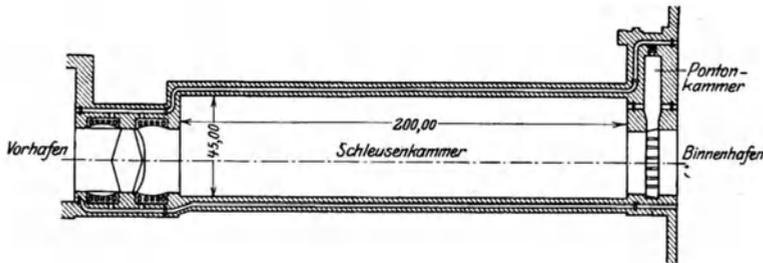


Abb. 257. Grundriß der Kaiserschleuse in Bremerhaven.

man bei ihr auf sichere Fundierung und gute Verbindung die größte Sorgfalt verwenden. Ein Beispiel eines Schleusenverschlusses mittels Schiebepontons bietet die Kaiserschleuse in Bremerhaven¹⁾. Abb. 257 zeigt den Grundriß der ganzen Schleuse, aus dem die Pontonkammer am Binnenhaupt und die doppelten Stemmtore am Außenhaupt zu erkennen sind. Abb. 258 zeigt einen Querschnitt des Schiebepontons, dessen Gerippe aus einem dicht unter N.W. liegenden, als Schwimmkammer ausgestalteten wagerechten Riegel und senkrechten aus Gitterwerk gebildeten Ständern besteht; bei sehr erheblichem Wasserdruck würde auch ein unterer Riegel erforderlich werden. Das Ponton hat an beiden Seiten Beplattung, ist aber unten offen; es bewegt sich auf Stützrollen, die in die Pontonkammer fest eingebaut sind, während die Laufschiene sich am Ponton befinden. Der größte Teil des Eigengewichtes wird durch die Schwimmkammer aufgehoben. Anderwärts hat man die Stützrollen am Ponton und die Laufschiene an der Kammersohle befestigt; dabei können sich aber leichter Hindernisse festsetzen. Bisweilen läßt man die Pontons wie Schlitten auf Kufen gleiten, oder man wendet versenkbare Stützrollen an, die man erst bei Beginn der Bewegung aus dem Ponton hervortreten läßt.

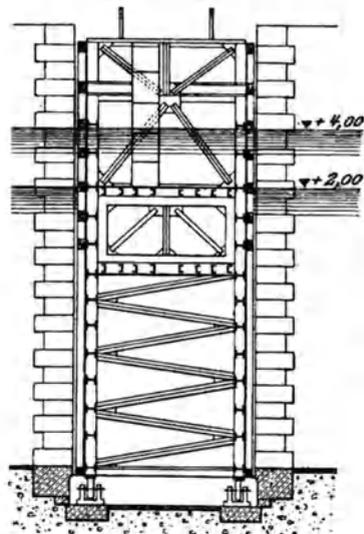


Abb. 258. Querschnitt durch den Schiebeponton.

Freischwimmende Pontontore bedürfen keiner Seitenkammer; das Ein- und Ausfahren der Pontons ist jedoch ziemlich zeitraubend, deshalb findet man sie weniger häufig bei Schleusen als bei Trockendocks.

C. Füllvorrichtungen.

Zum Füllen und Leeren der Schleusen dienen Umläufe, die manchmal in ganzer Länge der Seitenmauern vorhanden sind und durch zahlreiche Stichkanäle mit der Schleusenammer in Verbindung stehen. Das Füllen und Leeren nur durch Torschützen würde bei der Größe der Schleusenammern zu viel Zeit in Anspruch

¹⁾ Nach Esselborn, Lehrbuch des Tiefbaues, Bd. Seebau.

nehmen. Als Verschlüsse dienen Roll- oder Keilschützen und Zylinder- oder Glockenventile; Heber sind nicht gebräuchlich. Die Füllkanäle werden gleichzeitig zum Spülen der Torkammern gegen Verschlickung benutzt. Aus Abb. 257 ist ersichtlich, wie zahlreiche Zweigkanäle in die Torkammern am Oberhaupt und in die Pontonkammer am Unterhaupt einmünden. Letztere kann auch direkt aus der Schleusenkammer in den Binnenhafen und umgekehrt gespült werden. Die Lage der Schützen ist durch Doppelstriche angedeutet.

23. Abschnitt. Schiffbau- und Ausbesserungsanstalten.

A. Hellinge.

Hellinge, auch Helgen genannt, sind schräge Ebenen, auf denen Schiffe erbaut werden und von denen man sie nach Fertigstellung des Rumpfes durch die Wirkung der Schwerkraft ins Wasser gleiten läßt. (Stapellauf.) Die vollständige Fertigstellung der Schiffe, insbesondere der innere Ausbau einschl. der Maschinen- und Kesselanlagen, erfolgt erst nach Ablauf von der Helling im Ausrüstungsbecken. Die Neigung der Hellinge beträgt 1 : 8 bis 1 : 20, und zwar kann sie um so geringer sein, je größer die zu erbauenden Schiffe sind. Die Ablaufebene sollte in das Wasser hinein bis zu solcher Tiefe fortgesetzt werden, daß das Schiff sich durch Aufschwimmen von der Helling löst. Wegen der kostspieligen Ausführung und Instandhaltung des unter Wasser liegenden Teiles begnügt man sich aber meistens mit einer bis zu 2 oder 3 m unter Wasser reichenden Ablaufbahn; der Vordersteven springt dann plötzlich ab, und es ist für genügende Wassertiefe vor dem Ende der Helling Sorge zu tragen. Den unter Wasser liegenden Teil der Ablaufebene nennt man die Vorhelling, den über Wasser liegenden Teil die Stapelhelling.

Das Schiff wird mit dem Hintersteven dem Wasser zugekehrt, weil die Hinterspante völliger gestaltet sind als die vorderen Spante, so daß infolge des Eintauchens beim Ablauf schnell eine große Entlastung eintritt. Wenn möglich, legt man die Hellingachse in die Nord-Südrichtung, damit beim Bau eiserner Schiffe der sich bildende Eigenmagnetismus eine mit der Schiffsachse zusammenfallende magnetische Achse erhält; die Kompensation des Kompasses wird dadurch erleichtert (vgl. S. 101).

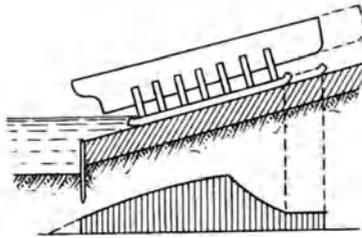


Abb. 259. Darstellung des Druckverlaufes beim Stapellauf.

Der Kiel wird durch einzelne in etwa 1,5 m Abstand aufgestellte Stapelklötze unterstützt, die einen Arbeitsraum von mindestens 1 m Höhe zwischen Hellingsohle und

Kielunterkante freilassen. Mit dem Fortschreiten des Baues werden noch seitliche Kreuzlager und Steifen angebracht. Soll das Schiff nach Fertigstellung ablaufen, so wird zunächst ein besonderes Ablaufgerüst hergestellt. Dieses ruht auf einem großen der Schiffsform angepaßten Schlitten¹⁾, der mit seinen Kufen an beiden Seiten auf einer Ablaufbahn ruht. (Abb. 259.) Die Länge

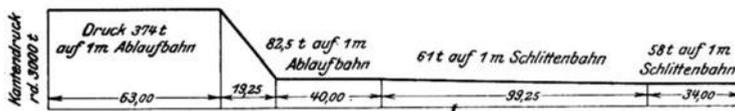
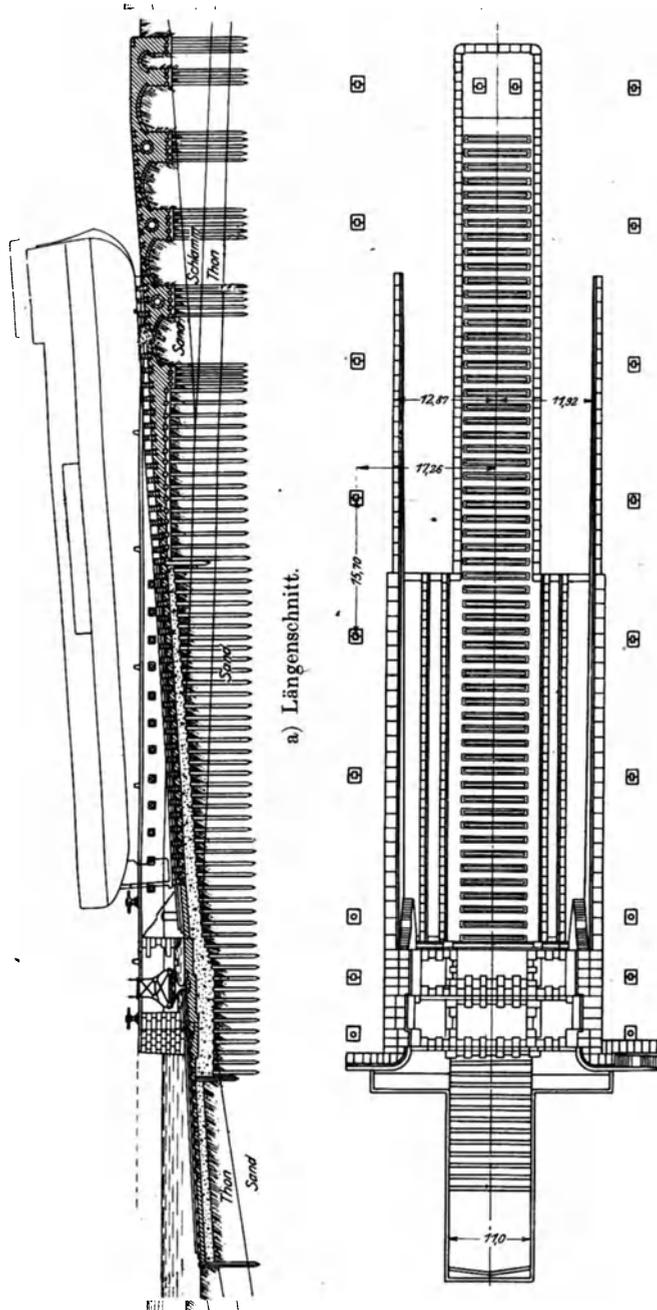


Abb. 260. Druckschaubild für die Berechnung der Hellinge der Vulkanwerft in Hamburg.

¹⁾ Schlitten und Ablaufgerüst sind in den Abb. 259 u. 262 nur schematisch dargestellt.

des Schlittens ist so bemessen, daß der mittlere vollere Teil des Schiffes sicher unterstützt wird, während die beiden Enden frei überstehen. Die Schlittenquerträger werden durch die Zwischenräume zwischen den Stapelklötzen hindurchgesteckt, und die erforderliche Seitenunterstützung wird dann angebracht.



b) Grundriß.

Abb. 261a und b. Helling der Reichswerft in Kiel.

Hierauf muß das Schiffsgewicht von den Stapeln auf den Schlitten übertragen werden. Dies geschieht entweder durch Ankeilen des Schlittenoberteiles gegen das Schiff, wodurch die Stapel so entlastet werden, daß sie fortgenommen werden können, oder durch Senken der Stapel mittels vorher eingebauter

Topfschrauben oder Sandtöpfe, wobei das Schiff sich auf den Schlitten aufsetzt. Der Schlitten wird natürlich zunächst mit der Helling durch eine geeignete Vorrichtung verbunden; wenn diese gelöst wird, erfolgt der Ablauf, indem die Schlittenkufen auf den vorher gehörig geschmierten Ablaufbahnen gleiten.

Sobald das Schiffshinterteil in das Wasser eintaucht, beginnt der Auftrieb zu wirken; dadurch wird die Gesamtbelastung der Helling zwar verringert, aber der Druck des Schlittenvorderteiles wird dadurch, daß das Schiff gleichsam um das Vorderende des Schlittens gekantet wird, vermehrt; letzterer erreicht seinen Größtwert, wenn das Schiff beginnt, sich von dem Schlitten abzuheben. Theoretisch nimmt dieser Druck dann bei weiterem Vorrücken des Schiffes ab; er

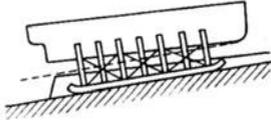


Abb. 262.
Helling mit schwach geneigter Bauplattform.

wird zu Null, sobald das Schiff vollständig schwimmt, und er bricht plötzlich ab, wenn das Schiff bei verkürzter Vorhelling abspringt. Das die größten Drücke auf die einzelnen Hellingteile darstellende Schaubild würde also die in Abb. 259, S. 186, angegebene Gestalt erhalten, die im einzelnen von der Form des Schiffes und von der Länge und Gestaltung der Auflagerflächen des Schlittens abhängt. Die genaue Ermittlung des Druckverlaufes ist oft schwierig, so daß

man sich mit Annahmen begnügt. Bei der neuen Vulkanwerft in Hamburg ist der in Abb. 260, S. 186, dargestellte Druckverlauf für die Berechnung der für Schiffe bis zu 25 500 t Ablaufgewicht bestimmten Helling angenommen worden¹⁾.

Außer der senkrechten Ablaufbelastung ist bei Berechnung einer Helling auch die parallel zur Hellingoberfläche wirkende Reibung der Schlittenkufen zu berücksichtigen. Um den hohen Druck des dem Vorderstevan zugekehrten Schlittendes auf eine längere Strecke der Helling zu verteilen, wird bei sehr langen Schiffen bisweilen der Ablaufschlitten geteilt und das Vorderschiff wird in einem sog. Vorschlitten gelagert; da dessen Länge aber aus konstruktiven

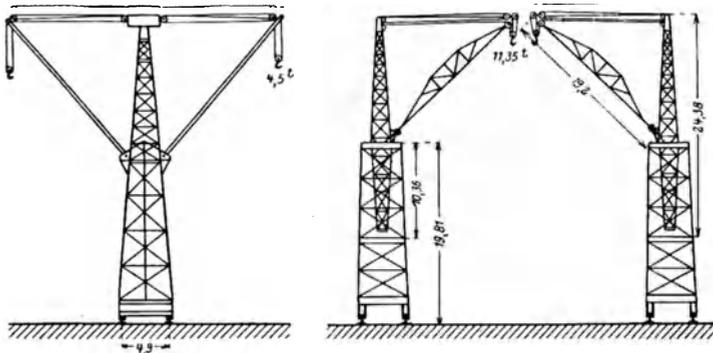


Abb. 263. Helling mit Auslegerkränen.

Gründen begrenzt ist, bleibt der Flächendruck beim Ablauf auch dann noch sehr groß. Damit bei verkürzten Vorhellingen beim Abspringen des Schlittens nicht das überstehende Vorderschiff auf die Vorhelling aufschlägt, ist das Ende der letzteren auf genügende Länge mit einem keilförmigen Einschnitt zu versehen, in den das Vorderschiff einfallen kann.

Helling werden noch häufig aus Holz hergestellt. Auf den Strecken, wo die Hellingsole in den tragfähigen Boden eingeschnitten ist, genügt ein festverbundener Schwellrost mit Bohlenabdeckung; liegt aber der tragfähige Bau-

¹⁾ Vgl. „Die neue Werft der Stettiner Maschinenbau-Aktiengesellschaft Vulkan in Hamburg“; Zeitschr. des Vereins deutsch. Ingenieure 1909.

grund, wie es meistens der Fall ist, tiefer, so werden die Schwellen durch Pfahlrost getragen. Meistens wird die Hellingsohle aus einer sorgfältig gegründeten Betonplatte gebildet, die mit Vertiefungen für die sichere Aufstellung der Lagerhölzer und Seitenstapel zu versehen ist. Die Ablaufbahnen, die allein der ungünstigen Beanspruchung beim Stapellauf ausgesetzt sind, werden bisweilen von der übrigen Hellingsohle getrennt und besonders sorgfältig gegründet. Bei den neueren Marinehelling in Kiel ist die Betonplatte der Vorhelling direkt auf dem Boden verlegt; der untere Teil der Stapelhelling ruht auf durchgehendem Pfahlrost, der obere höhere Teil ist wie eine Brücke auf einzelne pfahlrostgegründete Pfeiler gesetzt worden (Abb. 261, S. 187)¹⁾. An andern Orten sind auch Gründungen mittels Steinschüttung sowie mittels Senkkästen oder Brunnen ausgeführt worden.

Bei langen Hellinggen kommt das obere Ende wegen des erforderlichen Ablaufgefälles ziemlich hoch über das Gelände zu liegen. Dadurch wird nicht allein die Gründung sehr verteuert, sondern die für das Vorderschiff bestimmten Baustoffe müssen auch sehr hoch gehoben werden. Deshalb ist man bemüht, die Neigung der Helling möglichst einzuschränken. Man legt häufig die Bauplattform so viel flacher als die Ablaufbahnen, daß der Vorderstevan, der ursprünglich um die Höhe des erforderlichen Arbeitsraumes von der Hellingsohle entfernt ist, beim Stapellauf gerade noch von dem unteren Ende der Stapelhelling frei geht; das Gerüst des Ablaufschlittens muß dann keilförmig gestaltet sein (Abb. 262). In anderen Fällen legt man den unteren Teil der Stapelhelling unter den Wasserspiegel des Hafenbeckens. Dann muß dieser Teil mit Seitenmauern eingefast und durch ein Ponton abgeschlossen werden. Die Hellinge der Reichswerft in Kiel sind in dieser Weise ausgeführt (Abb. 261, S. 187).

Die Helling ist mit zweckmäßigen Einrichtungen zur Beförderung der Schiffbaustoffe zu versehen. Wenn irgend möglich, sind letztere zu beiden Seiten längs der Helling auf Gleisen bis zu der Stelle zu fördern, wo sie gebraucht werden. Der Quertransport und das Heben und Senken geschieht durch Krane.

Über die zweckmäßigste Einrichtung der Krananlagen hat jede Werft ihre eigenen Anschauungen. Man findet bald einzelne längslaufende Turmdrehkrane nach dem Hammersystem (vgl. S. 151 u. 152), bald zahlreiche feste oder einzelne ver-

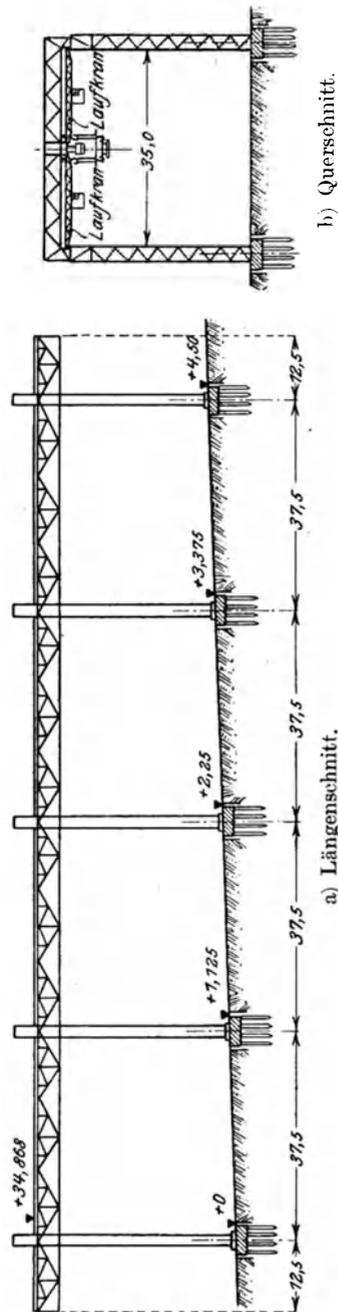


Abb. 264a und b. Helling mit darübergespanntem Gerüst für Laufkrane.

¹⁾ Nach Esselborn, Lehrbuch des Tiefbaues, Bd. Seebau.

schiebbare Auslegerkräne gemäß Abb. 263¹⁾, bald Drehkräne, die auf seitlichen Hochbahnen laufen, manchmal auch Seilbahnen, die längs über die Helling gespannt sind.²⁾ Letztere sind besonders dann zweckmäßig, wenn die Anfuhrgleise nur bis zur Stirnseite der Helling geführt werden können. Neuerdings wird die Helling bisweilen mit einem Eisengerüst überspannt, welches mit Kranbahnen für Laufkatzensträger versehen ist. Diese Anordnung gilt für zweckmäßig, ist aber teuer in Anlage und Unterhaltung. Ein Beispiel einer solchen Helling ist in Abb. 264 gegeben, die eine neuere Anlage der Howaldwerft darstellt³⁾. Für Hellingkräne wird eine Hubkraft von 5 bis 6 t verlangt, größere Lasten werden von zwei benachbarten Kränen gemeinsam gehoben. Bisweilen werden Hellinge auch überdacht, die Schiffe können dann im Schutze vor den Unbilden der Witterung wie in einer Werkstatt hergestellt werden; indessen hat diese Anordnung, abgesehen von den hohen Anlagekosten, auch die Nachteile, daß die Austrocknung der Schiffe gehindert, die natürliche Beleuchtung beeinträchtigt, und der Lärm des Arbeitens, namentlich des Nietens mit Preßluftschlämmern, unangenehm verstärkt wird.

An Orten, wo die für den Ablauf der Schiffe erforderliche Wasserfläche sehr beschränkt ist, hat man anstatt der gewöhnlichen Anordnung der Hellinge mit Längsablauf solche mit Querablauf ausgeführt. Die Schwierigkeiten der Herstellung eines genügend steifen Ablaufgerüsts, um schädliche Verbiegungen des Schiffes zu verhindern, sind dann aber sehr groß, und die unter Wasser liegende schwer herzustellende Vorhelling ist verhältnismäßig umfangreich; daher wendet man in solchen Fällen lieber Baudocks an. Dies sind ähnliche Bauwerke wie die nachstehend beschriebenen Trockendocks, sie brauchen jedoch wegen des geringen Tiefganges der im unfertigen Zustande bereits dem Wasser zu übergebenden Schiffe nur halb so tief zu sein, ihre Ausrüstung hat den Anforderungen des Schiffsneubaues zu entsprechen.

B. Aufschleppen.

Die Aufschleppen (Slips) sind in ihrer Anordnung den Hellingungen ähnlich, sie müssen jedoch stets so weit unter Wasser geführt werden, daß das Schiff frei schwimmend über das an Stelle des Ablaufschlittens tretende Aufzugsgestell gebracht werden kann. Letzteres wird bisweilen noch mit Kufen, die auf Schmierplanken gleiten, versehen; weitaus häufiger wird jetzt jedoch die sogenannte Patentslip ausgeführt, bei der nach dem Vorschlage von Morton auf Schienen laufende Aufzugswagen benutzt werden. Die Schiffe werden genau über die herabgelassenen Wagen gebracht und mit ihnen gleichzeitig landwärts gezogen. Wenn die Schleppe wiederholt zum Aufziehen bestimmter, namentlich kleinerer Schiffe gebraucht wird, so werden die Wagen mit Lagerhölzern versehen, die der Schiffsform genau entsprechen; andernfalls erfolgt die Abstützung durch Kielstapel, Kimmschlitten und Seitenstreben, wie dies bei den Trockendocks nachstehend beschrieben wird.

Die Aufschleppen werden nicht nur als Längsaufschleppen, sondern mit Vorteil auch als Queraufschleppen ausgebildet. Im ersteren Falle wird ein einheitlicher Wagen angewendet, der gewöhnlich aus 2 bis 4 unten liegenden Längs- und zahlreichen oben liegenden Querträgern besteht. In Abb. 265 ist eine Längs-

¹⁾ Hellinge der Maryland Steel Co., Sparrows Point (Amerika); vgl. Zeitschr. d. V. deutsch. Ingenieure 1908, S. 1629. In Deutschland ist die Schichauwerft in Danzig ähnlich ausgerüstet.

²⁾ Seilbahnen findet man häufig bei englischen Werften, in Deutschland bei der Reiherstieg-Werft in Hamburg.

³⁾ Nach O. Franzius, Zeitschr. des Verbandes deutsch. Architekten- u. Ingenieur-Vereine 1912, S. 369. Vgl. auch die Abhandlungen über die Hellinge der Hamburger Vulkan-Werft in der Zeitschr. d. V. deutsch. Ingenieure 1904 u. 1909.

schleppe in Dünkirchen mit 3 Längsträgern dargestellt; der mittlere hat den bei weitem größten Teil des Druckes aufzunehmen, er ist daher mittels zwei Reihen von Rollen auf zwei nebeneinander liegende Schienen gelagert, während für die beiden seitlichen Rollen nur je eine Schiene vorhanden ist. Die Anzahl der Rollen jedes Trägers ist ziemlich groß, sie richtet sich nach der zu erstrebenden Druckverteilung.

Bei Queraufschleppen wird das Aufzugsgestell gewöhnlich in eine große Anzahl von schmalen nebeneinander laufenden Einzelwagen zerlegt, die auf je einem Schienenpaar geführt sind. Die Wagen sind in der Regel sehr einfach gebaut (Abb. 266); die sehr kräftigen Längsträger, auf denen nach Bedarf Kielstapel und Kimmschlitten angeordnet werden, sind jeder mit einer Reihe von Laufrollen ausgerüstet. Jeder Wagen hat ein besonderes Zugorgan, das seinen Antrieb von einer gemeinsamen Welle erhält.

Die Neigung der Längsschleppen beträgt 1 : 12 bis 1 : 20; diejenige der Querschleppen kann bis 1 : 5 gesteigert werden. Damit das Schiff in senkrechter Lage der Mittelebene aufgezogen wird, ist bei Querschleppen entweder der Wagen keilförmig gestaltet, oder man läßt die vorderen Laufräder sich auf tiefer liegenden Bahnen bewegen als die hinteren Laufräder, dann müssen die einzelnen Achsen natürlich verschiedene Spurweite haben.

Die Aufzugskraft wurde früher durch Gangspills geliefert, wobei oft mehr als 100 Menschen gleichzeitig tätig waren. Jetzt werden in der Regel durch Dampf oder Elektrizität getriebene Windwerke benutzt. Aufschleppen sind für Schiffe bis zu 5000 t Gewicht ausgeführt worden; da jedoch Ungleichmäßigkeiten in der Unterstützung und namentlich in der Lage der Aufzugsbahn nicht zu vermeiden sind, so werden die Schiffsverbände beim Aufziehen mehr oder weniger stark gezerrt, besonders bei Queraufschleppen. Man sollte daher die Aufschleppen nur für Schiffe bis etwa 1500 t anwenden und für größere Fahrzeuge Docks vorziehen.

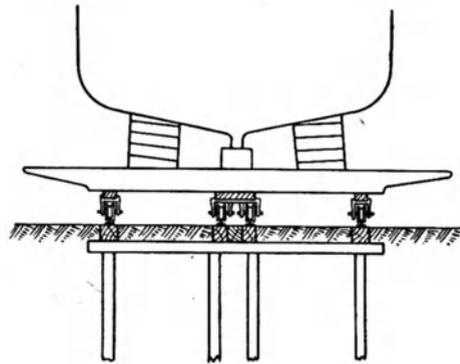


Abb. 265. Längsaufschleppe.

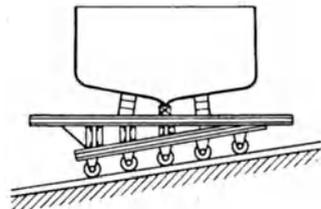


Abb. 266. Queraufschleppe.

C. Trockendocks.

Trockendocks sind zur Ausbesserung von Schiffen bestimmte Kammern, in die das Schiff schwimmend einfahren kann und die alsdann, nachdem ein Abschluß gegen das Hafenbecken hergestellt ist, vom Wasser entleert werden (Abb. 267). Die Bauart gleicht in vieler Hinsicht derjenigen der Seeschleusen, jedoch erfolgt die Ein- und Ausfahrt der Schiffe gewöhnlich nur von einer Stirnseite aus durch ein verschließbares Haupt. Die Abmessungen eines Trockendocks müssen größer als diejenigen einer für gleichgroße Schiffe bestimmten Seeschleuse sein, weil an allen Seiten ein ausreichender Arbeitsraum verbleiben muß. Insbesondere muß die Kammerlänge 20 bis 25 m mehr betragen als die Schiffslänge, damit die Schraubenwellen ausgezogen werden können. Die Dockwände sind mit zahlreichen Galerien zur Auflagerung der Seitenstapel und zur bequemen Anbringung von Ausbesserungsgerüsten zu versehen. Mehrere Treppen-

läufe von mindestens 1 m Breite, die am besten parallel zur Dockachse verlaufen und in der Dockmauer versenkt angeordnet sind, vermitteln den Verkehr für Menschen. Zur Materialbeförderung sind geeignete Krananlagen vorzusehen. Außerdem gehören zur Dockausrüstung Spills und Poller zum Verholen und zum Festlegen der Schiffe.

Die Berechnung und Ausführung der Dockkammern entspricht derjenigen für Seeschleusenkörper (vgl. S. 181 u. 182); jedoch ist der Wasserdruck meistens viel erheblicher, weil die Dockkammern ganz trocken gelegt werden müssen. Die Drenptiefe ist so zu bestimmen, daß auch havarierte Schiffe mit vermehrtem Tiefgange noch aufgenommen werden können. Die Docksohle muß etwa 1,5 m tiefer liegen als der tiefstliegende Schiffskiel, weil Raum für die Stapelung und Arbeitsraum unter dem Schiffsboden verbleiben muß.

Im Tidegebiet kann die Tiefe wesentlich eingeschränkt werden, wenn man den Betrieb darauf beschränkt, daß das Ein- und Ausdocken nur bei Hochwasser erfolgt. Oft wird jedoch verlangt, namentlich bei Kriegshäfen, daß das Dock zu jeder Zeit zugänglich sein muß.

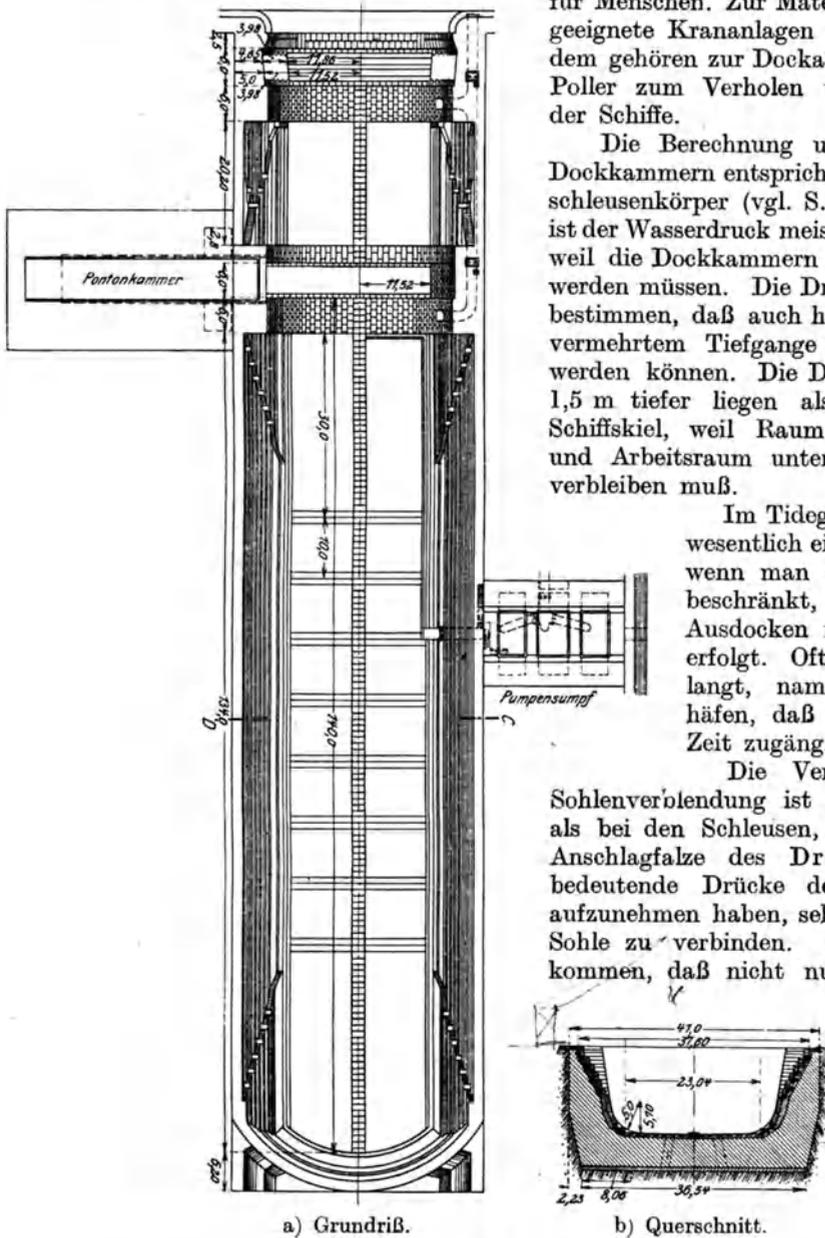
Die Verankerung etwaiger Sohlenverblendung ist hier noch wichtiger als bei den Schleusen, besonders sind die Anschlagfalze des Drenpels, die ganz bedeutende Drücke des Verschlusskörpers aufzunehmen haben, sehr sorgfältig mit der Sohle zu verbinden. Es ist öfter vorgekommen, daß nicht nur die Verblendung,

sondern auch die einzelnen Stampfschichten des Sohlenbetons durch das von unten eindringende Wasser voneinander ge-

trennt und emporgedrückt wurden; die An-

schlagquadern des Drenpels verloren dadurch ihr Auflager, und verhängnisvolle Drenpelbrüche waren die Folge. Neuerdings werden bisweilen dünne Rohre in den Drenpel eingemauert, damit das Sickerwasser in die Dockkammer abfließen kann und die Bildung des vollen hydrostatischen Wasserdruckes verhindert wird.

Zum Abschluß von Docks werden Stemmtore, Schiebepontons und



a) Grundriß.

b) Querschnitt.

Abb. 267 a und b. Trockendock in Kiel.

namentlich freischwimmende Pontons benutzt; letztere bedürfen keiner auf die Standsicherheit des Dockkörpers ungünstig einwirkender Seitenkammer (vgl. S. 185), da sie nach Öffnung des Docks an eine beliebige Stelle verfahren werden können. Damit sie bis über den Falz des Dockhauptes eingefahren und durch einfaches Senken zum Schluß gebracht werden können, werden sie häufig trapezförmig ausgebildet (Abb. 268). Das Senken und Heben geschieht durch Ein- und Auslassen von Wasserballast in besondere Ballastkammern.

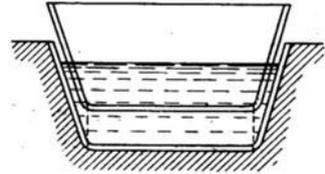


Abb. 268. Dockverschluss durch Schwimmponton.

Die Entleerung der Dockkammer erfolgt jetzt meistens durch Kreiselpumpen, die durch Dampfmaschinen oder Elektromotoren angetrieben werden. Die größte Förderhöhe ist fast immer größer als die Saughöhe der Pumpen. Deshalb sind letztere bei den meisten Docks zum Saugen und Drücken eingerichtet und auf halber Höhe der Dockwände aufgestellt. Die Maschinenkammer liegt alsdann unter dem Außenwasserstand und muß sorgfältig dicht gehalten werden. Neuerdings verwendet man zweckmäßig Kreisel mit senkrechter Achse, dann kann man den ganzen Antrieb über Wasser und doch den Kreisel tiefer als die Docksohle legen, so daß kein Ansaugen erforderlich ist.

Gewöhnlich wird verlangt, daß die Pumpen in höchstens drei Stunden das Dock vollständig entleeren müssen, wonach die Maschinenstärke zu bemessen ist. Im Tidegebiet kann die Pumpenleistung ermäßigt werden, wenn man nach erfolgter Eindockung bei Hochwasser das Niedrigwasser zur Entleerung abwarten kann. Meistens ist jedoch dieser Zeitaufwand unwirtschaftlich, weil die Kosten der Pumarbeit gegenüber der Verzinsung der sehr kostspieligen Dockanlage kaum in Betracht kommen.

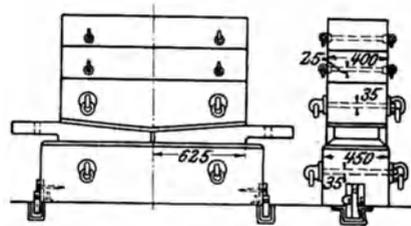


Abb. 269. Kielstapel.

Außer den Hauptpumpen sind noch kleinere Lenzpumpen zur Entfernung des ständig zulaufenden und oft nicht unbedeutenden Sickerwassers erforderlich.

Das Füllen der Dockkammer erfolgt durch die Tore hindurch, manchmal auch durch besondere Umläufe. Der Abschluß wird durch Gleitschütze oder Zylinderschütze bewirkt, die so einzurichten sind, daß die Füllung jederzeit unterbrochen werden kann. Heber sind dazu ungeeignet. Vereinfacht werden die Füllvorrichtungen dadurch, daß sie bei weitem nicht einen so großen Querschnitt wie bei den Seeschleusen zu haben brauchen, denn die zum Füllen verfügbare Zeit ist hier viel reichlicher. Auch brauchen die Schütze nur wenig unter dem niedrigsten beim Docken zu erwartenden Außenwasserstand zu liegen, keso nur geringem Druck zu widerstehen, weil auf den Wiederausfluß des Wassers keine Rücksicht zu nehmen ist.

Zur Festlegung der Schiffe ist eine sichere Stapelung erforderlich. Zunächst werden in der Kiellinie in etwa 1 m Abstand 1,2 bis 1,5 m hohe Stapelklötze, sog. Kielstapel, verlegt. Diese werden aus Holz oder Gußeisen hergestellt. Zur Einstellung einer bestimmten Höhe sowie zur leichteren Auswechslung ist der Oberteil auf zwei Gegenkeile gelagert (Abb. 269). Sobald das Schiff sich auf die Kielstapel aufgesetzt hat, werden zur seitlichen Stützung sogenannte Kimmschlitten zu beiden Seiten unter den Schiffsboden gezogen. Dies sind aus Holz oder Eisen gefertigte Unterstützungskörper, die im oberen Teile einen der Schiffsförm möglichst genau angepaßten Aufsatz erhalten und auf einer eisernen Bahn quer zur Dockachse beweglich sind (Abb. 270). Der

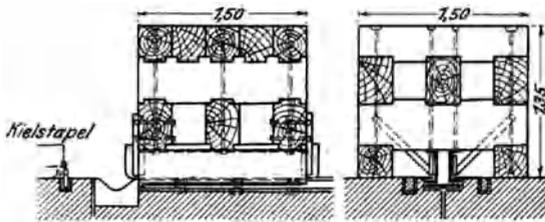
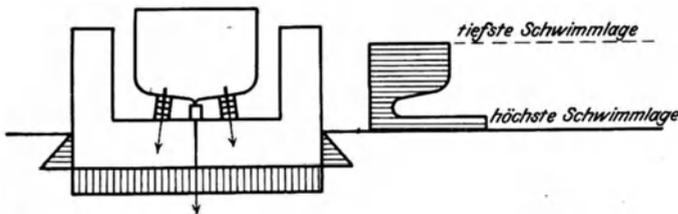


Abb. 270. Kimmsschlitten.

lendem Wasser von oben beginnend nach und nach angebracht werden. Beim Ausdocken werden zuerst die unteren, dann die oberen Seitenstreben und zuletzt die Kimmsschlitten entfernt; von den Kielstapeln hebt das Schiff sich von selbst ab.

D. Schwimmdocks.

Bei den Schwimmdocks besteht die Kammer aus einem beiderseitig offenen Trog mit hohlem Boden und Seitenwänden. Der Trog wird durch Einlassen von Wasserballast in die hohlen Wände so tief versenkt, daß das Schiff hineinfahren kann; wird das eingelassene Wasser dann entfernt, so hebt sich der Trog mit dem Schiff, bis letzteres beim Auftauchen der Oberfläche der Bodenkammer ganz aus dem Wasser herausgehoben ist.

Abb. 271. U-förmiges Schwimmdock
(mit Belastungs- und Standsicherheitsschaubild).

u. 272). Im letzteren Falle ist eine besondere Senkrechtführung erforderlich, weil die Schwimmstabilität quer zur Längsachse nicht ausreicht.

Als Beispiel eines größeren Schwimmdocks ist in Abb. 273 Längenschnitt und Querschnitt eines U-Docks von 22500 t Tragfähigkeit für die ehemalige österreichisch-ungarische Marine dargestellt.¹⁾

Beim Entwerfen von Schwimmdocks ist einerseits die Festigkeit, andererseits die Schwimmsicherheit genau zu untersuchen. Der Dockkörper wird am ungünstigsten bei gehobenem Dock mit Schiff beansprucht; da die auf Kielstapel und Kimmsschlitten ruhende Schiffslast größtenteils in der Mitte des Decks der Bodenkammer wirkt, der Wasserdruck dagegen über die unteren Seiten- und Bodenflächen des Docks verteilt ist (Abb. 271), so erfährt das Dock erhebliche Biegebungsbeanspruchungen in der Querrichtung.

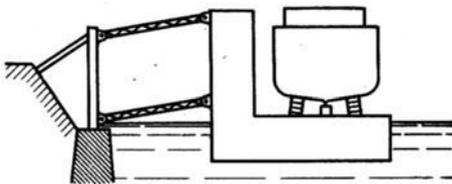


Abb. 272. L-förmiges Schwimmdock.

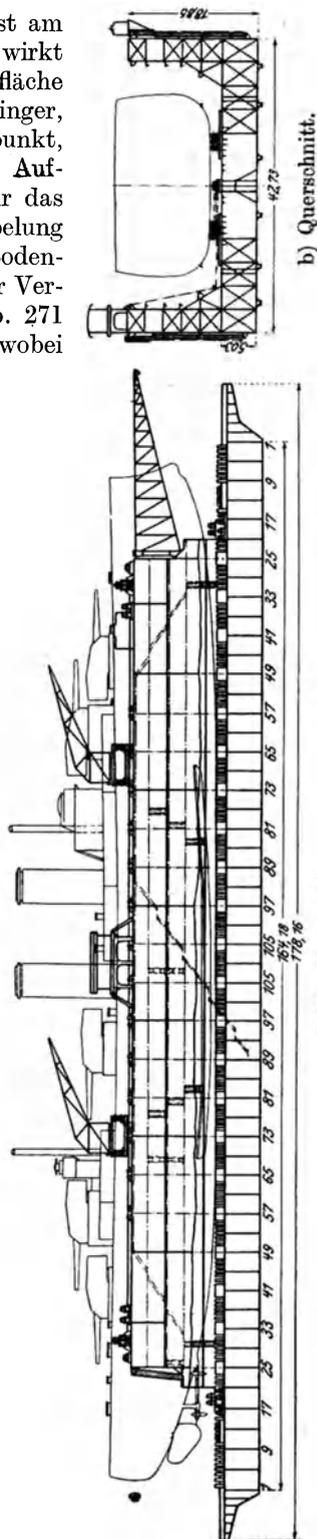
Aber auch in der Längsrichtung sind solche vorhanden, weil die Schiffslast nicht gleichmäßig auf die Kiellänge verteilt ist, und weil überdies das Dock meistens länger sein muß als das Schiff²⁾.

¹⁾ Nach Zeitschr. d. V. Deutsch. Ingenieure 1912, S. 1222.

²⁾ Betreffs der Berechnung der Schwimmdockkörper sei hingewiesen auf die Arbeiten von Forchheimer, Zeitschr. für Bauwesen 1892, und P. Moeller, Zentralblatt der Bauverwaltung 1896.

Die Standsicherheit beim Schwimmen ist am größten bei gesenktem Dock. Bei der Hebung wirkt anfangs das Trägheitsmoment der Schwimmfläche des Schiffes noch mit; es wird aber immer geringer, je weiter das Schiff auftaucht. Von dem Zeitpunkt, wo letzteres ganz aufgetaucht ist, bis zum Auftauchen des Decks der Bodenkammer wirkt nur das Moment der Seitenkammern und der Stapelung (kritische Zeit); erst mit dem Auftauchen der Bodenkammer wächst die Stabilität plötzlich an. Der Verlauf der Standsicherheitsmomente ist in Abb. 271 rechts neben dem Dockquerschnitt dargestellt, wobei die für jede Stellung des Docks vorhandenen Momente als wagerechte Ordinaten senkrecht zur Dockmittelebene eingetragen sind. Das Standsicherheitsmoment muß hinreichend sein, um den Einfluß etwaiger unsymmetrischer Aufstellung des Schiffes und der Arbeitsstoffe, ungleichmäßiger Lenzung sowie des Seitenwindes auszugleichen. Durch Anordnung von Ballasttanks in der Bodenkammer des Docks, die nach Bedarf einzeln gefüllt und geleert werden können, läßt sich die Standsicherheit in jedem Augenblick regeln¹⁾.

Würden Schwimmdocks aus einem einheitlichen Trogkörper bestehen, so wäre es ohne Abbruch des Docks nicht möglich, an die unter Wasser liegenden Außenflächen heranzukommen; diese könnten nicht in dauernd gutem Anstrich gehalten werden und würden daher bald durchrosten. Deshalb wird die wichtige Forderung erhoben, daß Schwimmdocks „selstdockend“ sein müssen, d. h. sie müssen in einzelne Teile zerlegbar sein, von denen jeder in den übrigen gedockt werden kann. Am einfachsten wird dieser Zweck von den Sektionsdocks erfüllt, bei denen der Trogkörper durch senkrechte Schnitte in mehrere U-förmige Abteilungen zerlegt ist. Jeder Teil darf nicht länger sein als die Lichtweite des Docks beträgt, damit er nach Drehung um 180° in das verkürzte Dock eingebracht werden kann. Diese Einrichtung hat aber den Nachteil, daß der Längsverband des zusammengesetzten Docks nicht sicher hergestellt werden kann. Die Durchbiegungen müssen daher durch den Schiffsverband selbst aufgenommen werden, was nicht günstig ist. Eine andere Ausführungsform stellen die Pontondocks mit durch-



a) Längenschnitt.

b) Querschnitt.

Abb. 273 a und b. Schwimmdock von 22500 t Tragfähigkeit der ehemaligen österreichisch-ungarischen Marine.

¹⁾ Über die Stabilität von Schwimmdocks vgl. Dietzius, Schwimmdockanlagen, Schiffbau 1904/05 und 1905/06; ferner Fla mm, Zur Frage der Schwimmdocks, Schiffbau 1907/08 und 1908/09.

gehenden Seitenwänden dar (Abb. 274). Der Boden besteht aus mehreren Pontons, die einzeln hervorgeholt und gedockt werden können, während die Seitenkammern bei höchster Dockstellung ganz aus dem Wasser hervorkommen. Diese Ausführung ist für viele Fälle sehr zweckmäßig, jedoch kann

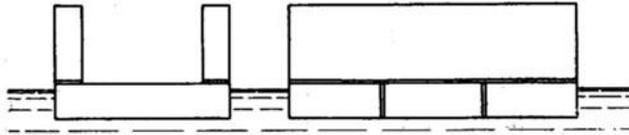


Abb. 274. Pontondock.

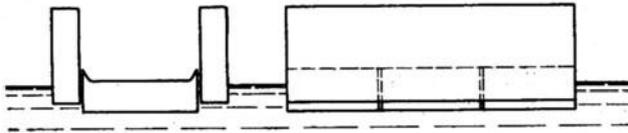


Abb. 275. Havannaform.

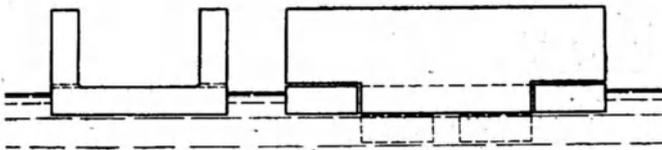


Abb. 276. Devey-Dock.

wände gehängt (Abb. 275). Erstere können ohne weiteres einzeln gedockt werden, letztere sind aber an ihren Unterflächen nur zugänglich, wenn das Dock „getrimmt“, d. h. schräg geholt wird. Das von Hansson erbaute sogenannte Devey-Dock (Abb. 276), das nach Manila gebracht worden ist, hat in seinem Mittelteil eine feste Trogform, an den Enden sind die Seitenwände ausgekragt. Unter die Kragarme sind zwei Bodenpontons gesetzt. Letztere können im Mittelteil gedockt werden; sie können auch, wie punktiert angedeutet, unter

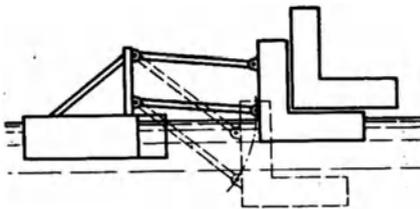


Abb. 277. Selbstdocken der L-Docks.

den Mittelteil gebracht werden und heben dann letzteren so hoch, daß die Bodenfläche etwa 75 cm über Wasser kommt. Die sogenannten starren Sektionsdocks sind wie die gewöhnlichen Sektionsdocks eingerichtet, jedoch können die Einzelteile fest miteinander verschraubt werden. Zur Selbstdocking wird die Lösung der Verbindungen erforderlich, die jedoch, namentlich soweit sie unter Wasser liegen, umständlich ist.

Die L-Docks sind ohne weiteres selbstdockend, wenn sie der Länge nach aus mindestens 2 Teilen bestehen (Abb. 277). Die oben erwähnte Senkrechtführung erfolgt durch ein Parallelogrammgetriebe, das aus Abb. 272 und 277 ersichtlich ist. Wenn das Dock nicht am Ufer liegt, so kann es auch gegen ein Standsicherheitsponton abgestützt werden, das zugleich als Werkstatt ausgebildet werden kann (Abb. 277). Zur Fahrt über See sind die L-Docks nicht geeignet.

Die Ausrüstung der Schwimmdocks mit Kielstapeln, Kimmschlitten, Seitenstreben, Krananlagen und dgl. ist wie bei den Trockendocks; auch die Einrich-

der Längsverband wegen der immerhin beschränkten Höhe der Seitenkammern nicht so steif hergestellt werden wie bei einem einheitlichen Trogkörper. Daher sind diese Docks namentlich für Transporte über See zu „weich“. Zur Erzielung eines starren Längsverbandes sind eine Reihe von Vorschlägen gemacht worden. Bei der von Clark angegebenen Havannaform wird der aus einzelnen Pontons bestehende Boden zwischen die tiefreichenden Seiten-

tung der Schöpfwerke ist ähnlich. Damit das Dock nie versinken kann, muß ein Teil des Hohlraumes gegen die Ballasträume abgedichtet sein und lediglich als Schwimmraum benutzt werden. Die Schwimmdocks haben gegenüber den Trockendocks den Vorteil, daß sie zumeist billiger und schneller hergestellt werden können. Auch die Möglichkeit der Ortsveränderung ist ein Vorzug. Sie sind jedoch viel teurer in der Unterhaltung und unsicherer im Betriebe; namentlich bei zusammengesetzten Docks muß die gleichmäßige Entleerung und Füllung der Einzelkammern sehr genau überwacht werden, wenn schädliche Krängungen und Verbiegungen, die auch auf das Schiff höchst nachteilig wirken, vermieden werden sollen. Wiederholt sind schon schwere Unfälle durch Versagen der Anzeigevorrichtungen entstanden¹⁾. Außerdem erfordern sie einschließlich der Verankerung eine viel größere Grundfläche als die Trockendocks und eine erhebliche Wassertiefe, die in Häfen mit großem Schlickfall oft kaum zu halten ist.

Von geringerer Bedeutung sind die Absetzdocks, das sind L-Docks mit fingerförmig geteilter Bodenkammer, die ein Schiff heben und auf ein entsprechend gestaltetes Pfahlgerüst absetzen können. Dies geschieht dadurch, daß das Dock, nachdem es das Schiff über Wasser gehoben hat, zum Gerüst verholt wird und seine fingerförmigen Kammern zwischen die Gerüstjoche steckt; durch Senken des Docks setzt sich das Schiff dann auf das Gerüst auf. Die Längsteifigkeit der Absetzdocks ist naturgemäß nur gering.

Außerdem sind Schraubendocks und hydraulische Docks zu erwähnen. Dies sind an Portalen oder Säulen aufgehängte Hebebühnen, auf die das Schiff schwimmend gelangt, und die dann durch Schraubenspindeln oder hydraulische Hubkolben nebst dem Schiffe aus dem Wasser gehoben werden.

24. Abschnitt. Beispiele von Seehäfen.

A. An offener See gelegene Häfen mit Wellenbrechern.

1. Häfen an wenig veränderlichen Küsten. a) Saßnitz. Als Beispiel eines kleineren Hafens an offener See sei Saßnitz angeführt (Abb. 278)²⁾. Der Hafen liegt an der Südseite der Rügenschens Halbinsel Jasmund. Er hat nur ein durch Molen von der See abgetrenntes Becken; als Reede dient die halbkreisförmige Prorer Wiek, die gegen Winde von Süd über West bis Nord geschützt ist. Zuerst wurde, um einen Zufluchtsort für Fischerboote zu schaffen, in den Jahren 1889 und 1890 das Molenstück AB hergestellt. Um die von Nordosten nach Südwesten stattfindende Wanderung gröberer, aus der Kreideformation stammender Geschiebe nicht zu unterbrechen, wurde an der Molenwurzel ein Freipaß offen gelassen; der Erfolg war, wie auch an anderen Orten, ungünstig, so daß die Öffnung wieder geschlossen werden mußte. In den Jahren 1891 bis 1895 wurden die Molenstrecken BC und DE hergestellt, letztere als Inselmole; die Einfahrt sollte zwischen den Punkten C und D erfolgen. Weil es sich jedoch bald zeigte, daß zu viele Wellen in das Hafenbecken eindringen, entschloß man sich schon im Jahre 1896, die Öffnung zwischen C und D zu schließen und dafür durch Baggerung eine neue Einfahrt westlich um den Molenkopf E herum zu schaffen. Vom Jahre 1897 ab diente der Hafen als preußischer Ausgangspunkt der Postdampferlinie nach dem schwedischen Hafen Trälleborg.

In den Jahren 1908 bis 1912 wurde das Hafenbecken durch Verlängerung der alten Mole um das Stück EF und durch Herstellung einer neuen Westmole beträchtlich vergrößert, und es wurden die Landevorrichtungen für die Eisenbahnfahrverbindung Saßnitz-Trälleborg, die an Stelle der Postdampfer-

¹⁾ Vgl. Handbuch d. Ing.-Wissensch., 4. Aufl., 11. Bd., S. 530.

²⁾ Vgl. die in der Fußnote auf S. 163 u. 177 bezeichnete Veröffentlichung des Verfassers.



linie getreten ist, nebst den zugehörigen Kais, Deckwerken, Gleisanlagen, Schuppen und zahlreichen Nebenanlagen hergestellt. Die Wassertiefe beträgt jetzt in dem westlichen Teile des Beckens 6,5 m, im übrigen 5 m; die Einfahrt ist mit Rücksicht auf das Stoßen der Schiffe bei Seegang auf 7,5 m vertieft worden. Die Verlängerung der Ostmole um 200 m über das Ende der Westmole hinaus war notwendig, um für die einfahrenden Schiffe rechtzeitig Schutz gegen die stärksten aus Nordosten und Osten kommenden Wellen zu schaffen; sie war nur zulässig, weil aus Süden und Südwesten keine Geschiebe kommen.

Zum Überführen von Eisenbahnwagen auf die Fährschiffe dienen zwei Fährbetten nebst Landebrücken, für ein drittes Fährbett ist der Raum freigelassen worden; die Landevorrichtungen sind auf Seite 177 eingehender beschrieben.

Der Verkehr auf der Fährlinie hat sich gut entwickelt, auch hat der Saßnitzer Hafen eine Bedeutung für den Personenverkehr der Ostseebäder, für die Fischerei und für die Kohlenversorgung kleinerer Marinefahrzeuge erlangt.

Abb. 278. Hafen von Saßnitz.

b) Marseille. Als Beispiel eines großen Hafens an standhafter Felsküste sei Marseille aufgeführt (Abb. 279).

Bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts war nur das als „alter Hafen“ bezeichnete Becken vorhanden, das in einer natürlichen Bucht angelegt ist. Seitdem sind nach und nach 7 neue große Becken durch einen Wellenbrecher dem Meere abgewonnen worden. Da die Kais in das Meer hineingebaut worden sind, haben die Kaizungen, ähnlich wie in einem Teile des Hafens von New York, kurze breite Form erhalten, während bei gegrabenen Hafenbecken, wie in Hamburg, Bremen usw., meistens die lange Form vorherrscht. Auf Geschiefbeführung war keine Rücksicht zu nehmen, wohl aber auf Abhaltung starker Wellen. Die Einfahrten sind daher an beiden Enden durch flügelartige Verlängerung des großen Wellenbrechers parallel zum Strande gedeckt; dies war zulässig, weil reichliche Tiefen und reichlicher Wenderaum vorhanden sind. Am Nordwestende des Hafens sind große Erweiterungen geplant; hier mündet auch der neue Rhonekanal ein, der den Binnenverkehr der Rhonewasserstraße nach Marseille lenken soll¹⁾. Bemerkenswert ist, daß die neuen Kaizungen schräg zum Ufer angelegt werden; dadurch wird der Gleisanschluß, der auf den älteren Kais zum Teil mittels Drehscheiben erfolgen muß, bedeutend verbessert. Die südlichen Becken Joliette, Lazaret, Arene und Gare maritime können

¹⁾ Um den Anschluß des Schweizer Absatzgebietes an den Seeverkehr, insbesondere um die Zuführung von überseeischem Getreide, entwickelt sich ein interessanter Wettbewerb zwischen den holländischen Seehäfen nebst Rheinwasserstraße einerseits und Marseille nebst Rhonewasserstraße andererseits. Mit dem der Schweiz zunächst gelegenen größeren Seehafen Genua läßt sich keine Binnenschiffahrtsverbindung schaffen. Vgl. den Aufsatz von Gelpke in der Zeitschr. für Binnenschiffahrt 1913, S. 322 ff.

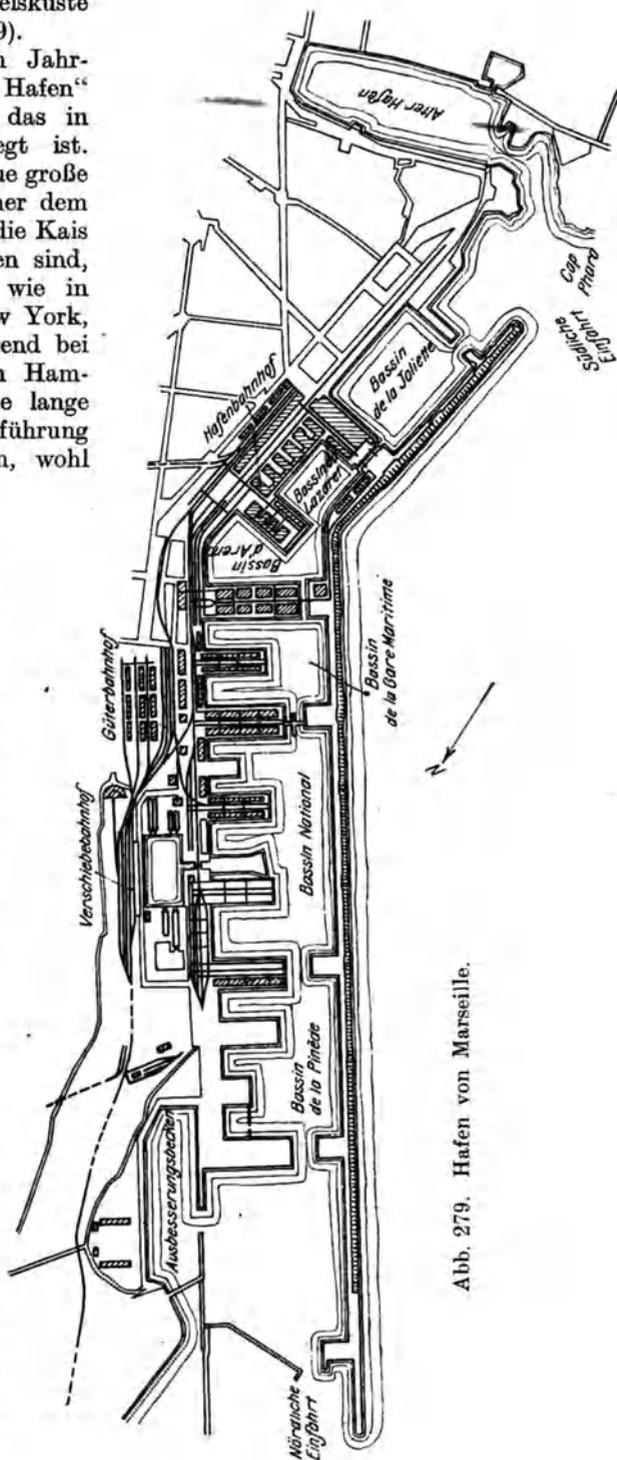


Abb. 279. Hafen von Marseille.

durch Tore gegen die Südeinfahrt und gegeneinander abgeschlossen werden, während das Bassin National und das Bassin de la Pinède mit der Nordwesteinfahrt in offener Verbindung stehen.

Die Wasserflächen des Marseiller Hafens betragen ohne die in Ausführung begriffenen Neuanlagen 200 ha; die Kais sind zusammen 21 km lang, davon sind 13 km nutzbar. Einzelheiten des großen als Mole ausgebildeten Wellenbrechers sind auf S. 165 beschrieben.

2. Häfen an veränderlichen Sandküsten. c) Ymuiden. Im Gegensatz zu den vorigen Beispielen liegt Ymuiden, der Ausgangshafen des Amsterdamer

Seekanals, an leichtbeweglicher Sandküste (Abb. 280). Der Tidehub beträgt durchschnittlich 1,6 m; Ebbe- und Flutstrom laufen parallel zum Ufer und führen Sand aus beiden Richtungen. Bedeutender ist noch die Sandbewegung durch starken Wellenschlag, der ebenso häufig aus Nordwest wie aus Südwest kommt und gleichfalls Sandwanderungen nach beiden Richtungen bewirkt. Die beiden Wellenbrecher sind daher symmetrisch und vom Strande nach See zusammenlaufend angeordnet; dadurch wird die Strömung vom Ufer abgelenkt und vor der 220 m breiten Einfahrt nicht unwesentlich verstärkt (von 0,56 bis 0,75 m/sek. auf 1,5 bis 2,5 m/sek.), so daß Sandablagerungen dort nahezu verhindert werden. Nur von dem bei heftigen Stürmen vom Seegrunde auf den Strand zu geworfenen Sande (Strandwallbildung) wird ein Teil durch die Molenöffnung in den Hafen geworfen, der durch Baggerung wieder beseitigt werden muß. Außerhalb der Molen beobachtet man nach starken Stürmen Auskolkungen und Küstenabbruch an beiden Seiten, nach längerer Zeit ruhigen Wetters finden dagegen wieder Anlandungen statt. Die von See aus sich erweiternde Form der Wellenbrecher bewirkt eine gute Dämpfung der in den Hafen gelangenden Wellen.

Das durch die Wellenbrecher gebildete Becken gilt als Vorhafen; durch zwei kleinere Leitdämme wird die Einfahrt zum offenen Binnenbecken des Fischereihafens und zu

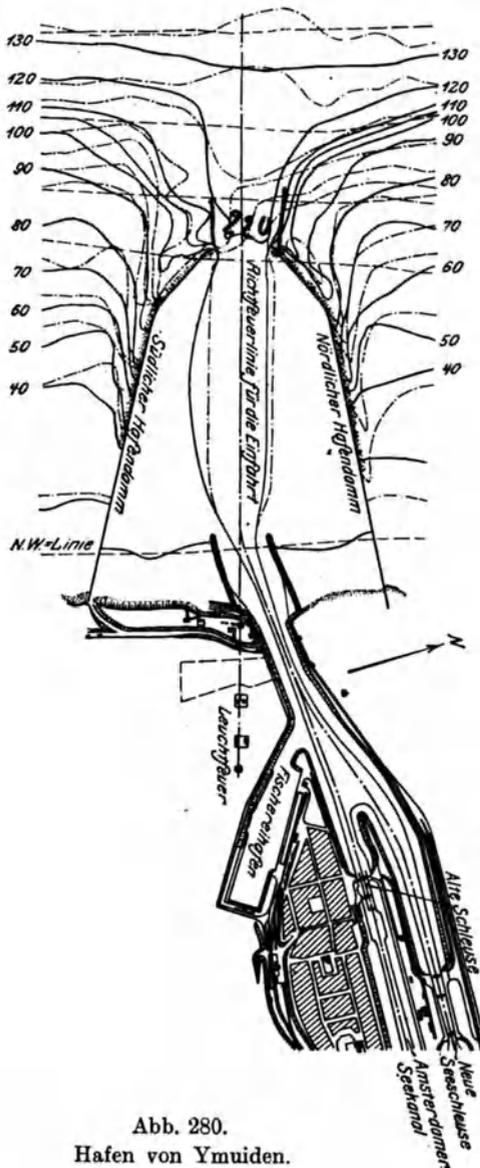


Abb. 280.
Hafen von Ymuiden.

den Schleusen des Amsterdamer Seekanals begrenzt. Für letzteren ist neuerdings eine große Schleuse für Schiffe von 220 m Länge, 23,5 m Breite und 9,3 m

Tiefgang hergestellt worden. Diese ist nach Norden aus der Kanalachse verschoben worden, weil sich zeigte, daß die Torbewegung der alten Schleuse doch bisweilen durch die Ausläufer der Meereswellen behindert wurde.

Das Fischereibecken ist offen und nur an der Nordseite mit einer Kaimauer versehen, an letzterer sind zwei Fischhallen mit Auktionsräumen und Packräumen vorhanden. Die südliche Langseite des Beckens ist mit einer 250 m langen,

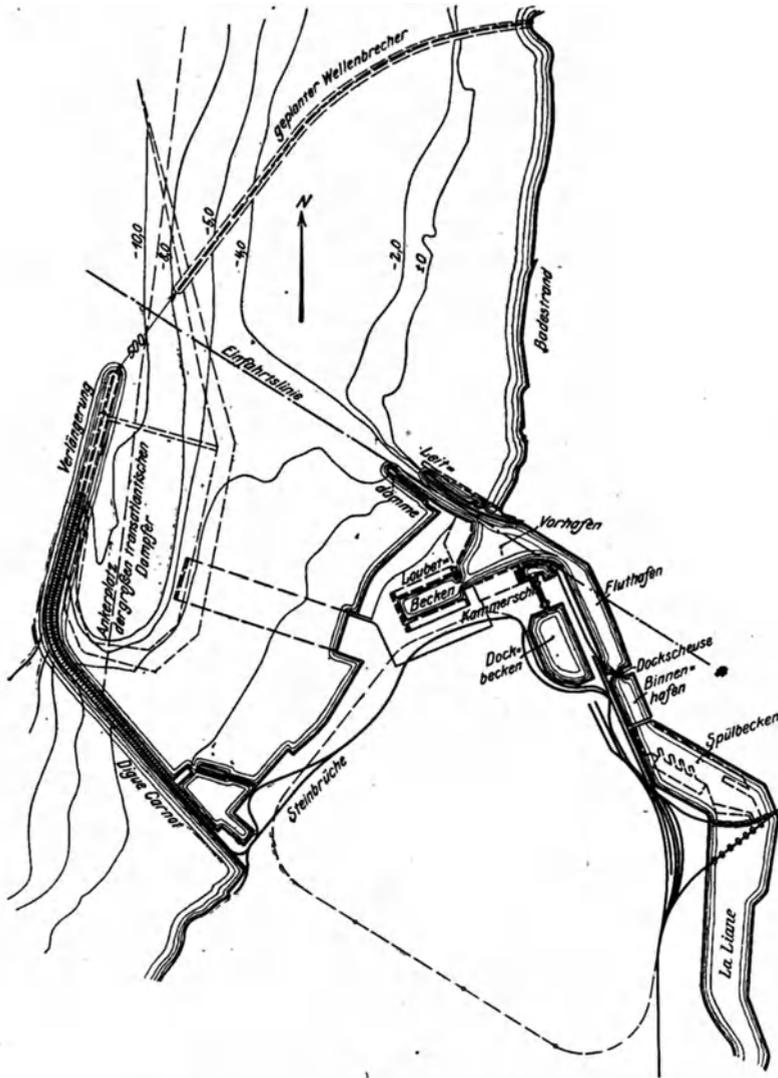


Abb. 281. Hafen von Boulogne-sur-mer.

in Eisenbeton ausgeführten Ladebrücke versehen, von welcher aus die Fischdampfer mit Kohlen und Eis versorgt werden.

Die Tiefe in der Einfahrt und in der Fahrinne zwischen den Molen wird auf $-10,50$ m am Amsterdamer Pegel gehalten; die Sohle des Seekanals liegt auf $-10,30$ a. P., im Fischereibecken genügt eine Tiefe von -6 m. Zur Erhaltung der Tiefen sind jährlich $800\,000$ cbm Sand im Vorhafen, dagegen nur $180\,000$ cbm außerhalb der Molen zu baggern.

d) Boulogne-sur-mer. Ebenfalls an beweglicher Sandküste gelegen ist der französische Hafen Boulogne-sur-mer (Abb. 281). Er ist besonders wichtig für den Personenverkehr mit dem englischen Hafen Folkestone und neuerdings für den transatlantischen Personenverkehr, auch der deutschen Linien. Die inneren Hafenbecken sind an der Mündung des Lianeufusses gelegen. Sie bestehen jetzt aus einem Vorbecken, zwei offenen Becken (Loubet-Becken und Flutbecken) und aus zwei geschlossenen Becken, von denen das in der Abbildung als Dockbecken bezeichnete durch eine Kammerschleuse, der Binnenhafen durch eine einfache Dockschleuse zugänglich ist. Hinter dem Binnenhafen liegt ein größeres Spülbecken. Zur Verstärkung der Spülwirkung ist die Einfahrt durch Leitdämme eingefaßt.

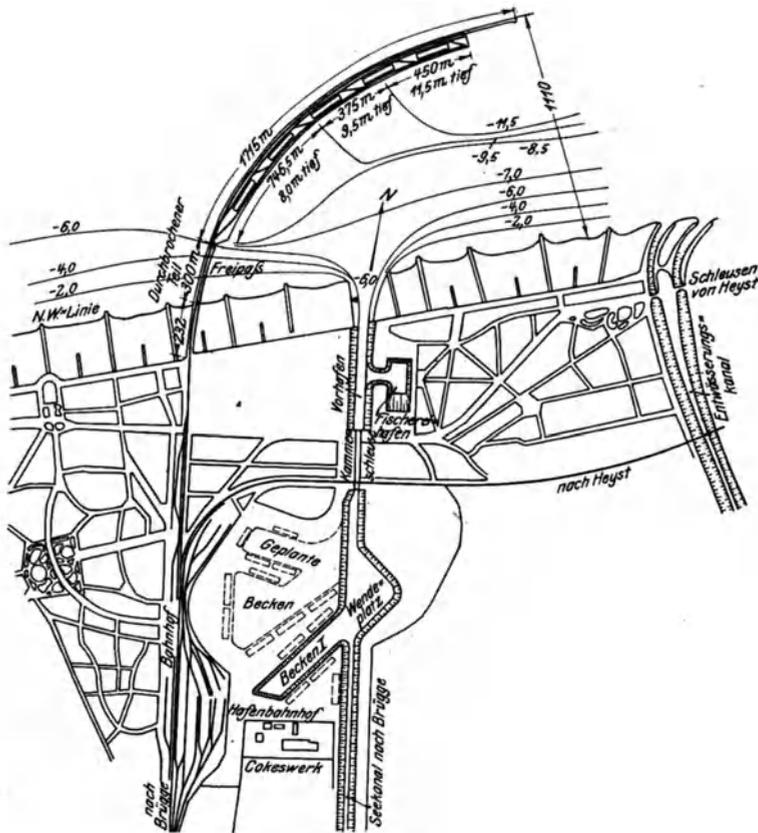


Abb. 282. Hafen von Seebrügge.

Wenngleich die neueren Becken jetzt so ausgebaut sind, daß sie auch für tiefgehende Schiffe bei jedem Stande der Tide zugänglich sind, ist für die großen transatlantischen Personendampfer die Einfahrt in die Binnenhafenbecken doch zu zeitraubend. Daher ist eine halbgeschützte Reede durch den Bau eines großen Wellenbrechers (Digue Carnot), der die stärksten und häufigsten aus Südwest und West kommenden Wellen kehrt, hergestellt worden; hinter diesem gehen die großen Schnelldampfer vor Anker. Nach Norden ist die Reede durch das vorspringende Cap Gris Nez einigermaßen geschützt. Es ist beabsichtigt, bei weiterer günstiger Entwicklung des Hafens die Reede durch Verlängerung der Digue Carnot und durch den Bau eines nördlichen Wellenbrechers, so wie in Abb. 281 punktiert angedeutet ist, auch nach Nordwesten und Norden abzuschließen.

e) Seebrügge. Die Reede von Boulogne hat eine gewisse Ähnlichkeit mit derjenigen von Seebrügge (Abb. 282); der Vergleich beider Anlagen ist lehrreich, weil er zeigt, wie ähnlich gestaltete Hafendämme bei verschiedenen örtlichen Verhältnissen ganz verschiedene Wirkung haben können. Während in Boulogne sich die Fahrtiefen mit mäßigen Baggerungen erhalten lassen, sind in Seebrügge durch den Bau des Wellenbrechers sehr beträchtliche Sandablagerungen entstanden, die die Benutzbarkeit des Hafens stark beeinträchtigen¹⁾. Der Grund liegt darin, daß die Sandbewegung in Boulogne hauptsächlich von Süden nach Norden erfolgt; die maßgebende Tideströmung wird durch die Form des Wellenbrechers parallel zum Ufer abgelenkt, dabei erreicht sie wie in Ymuiden eine große Geschwindigkeit und nimmt die Sinkstoffe mit fort. In Seebrügge bewegt sich der Sand dagegen nach beiden Richtungen. Er wird bei Ebbe durch den Wellenbrecher wie von einer Bühne aufgefangen. Durch Anordnung eines Freipasses an der Molenwurzel ist das Übel noch verschlimmert worden, weil der Sand nun auch von Westen her durch die Öffnung in den Hafen dringt. An eine wirksame Durchspülung ist nicht zu denken, weil die Stromgeschwindigkeit durch die Ausbreitung in dem weiten Hafenbecken zu stark ermäßigt wird.

B. Seehäfen an Flußmündungen.

Beispiele von Häfen an Mündungen ohne erheblichen Tidehub sind Swinemünde, Pillau und Memel²⁾. Die Molen sind dort als Leitdämme ausgebildet, um die Spülkraft des Stromes möglichst lange zusammenzufassen. Soweit noch besondere Hafenbecken erforderlich sind, wurden sie so vom Strome abgezweigt, daß die Einfahrt im spitzen Winkel gegen den Strom erfolgt.

f) Bremerhaven. Als Beispiel eines Hafens nahe an der Mündung eines Tidestromes sei Bremerhaven angeführt (Abb. 283). Der Tidehub beträgt im Mittel 3,3 m. Der Hafen besteht aus einer Anzahl neben dem Weserstrom angeordneter Dockbecken, denen kurze offene Vorbecken vorgelagert sind. Die Einfahrten sind etwa um 45° gegen die Weser geneigt. Das südliche Becken, alter Hafen genannt, wurde 1830 fertig gestellt; es ist durch eine für die jetzigen Schiffsabmessungen nicht mehr genügende Kammerschleuse zugänglich. Das nächste Becken, der neue Hafen, wurde 1851 fertig gestellt; es ist durch eine 22 m weite und 7,61 m tiefe Dockschleuse zugänglich. Alsdann folgt der Kaiserhafen, dessen südliches Becken I 1876 fertig wurde, während der nördliche Teil erst in den 90er Jahren erbaut ist. Letzterer ist durch eine kleine Dockschleuse und eine 215 m lange und in den Häuptern 28 m weite und für 9,5 m tief gehende Schiffe ausreichende Kammerschleuse, die „große Kaiserschleuse“, zugänglich. Der Vorhafen zu dieser Schleuse ist im Gegensatz zu den engen gekrümmten älteren Einfahrten gerade und geräumig. Die Becken II und III des Kaiserhafens sind zurzeit die neuesten; sie sind schräg zur Weser angeordnet, wodurch die Gleisentwicklung wesentlich verbessert werden konnte. Auch sind sie mit allen mechanischen Lös- und Ladevorrichtungen aufs beste ausgerüstet. Westlich von dem Kaiserhafen ist ein Becken für Schiffbauzwecke mit zwei großen Trockendocks und Ausrüstungsbecken vorhanden. Im Nordwesten sind erhebliche Erweiterungen im Bau. Zunächst werden die in Abb. 283 mit schwächeren Linien dargestellten Anlagen, nämlich der Verbindungshafen und ein neues Nordbecken, ausgeführt. Letzteres wird durch eine neue Seeschleuse, die Nordschleuse, von 250 m Länge, 35 m Breite in den Häuptern

¹⁾ Vgl. Deutsche Bauzeitung 1913, S. 447.

²⁾ Auch in Neufahrwasser sind die Außenwerke noch wie bei einem Mündungshafen angeordnet; nach Abschluß der Danziger Weichsel ist jedoch die Eigenart einer Mündung nicht mehr vorhanden.

und 50 m Breite in der Kammer und 11,6 m Drempttiefe, und durch einen geräumigen Vorhafen mit der Weser verbunden. Nach Bedarf sollen später die punktiert angedeuteten Becken, und zwar 2 Stück vom Kaiserhafen aus und 3 Stück vom neuen Nordhafen aus, hergestellt werden.

g) Liverpool. Ferner ist in Abb. 284 eine der bedeutendsten Verkehrsanlagen, nämlich der gleichfalls an der Mündung eines Tideflusses gelegene Hafen von Liverpool, dargestellt, der nächst London der verkehrsreichste der alten Welt ist. Er besteht aus einer großen Anzahl von Dockbecken, die in ähnlicher Weise wie die Bremerhavener Becken aneinander gereiht und gruppenweise von einzelnen Hauptbecken abzweigt sind. Jedes Hauptbecken ist durch besondere Schleusen zugänglich. Bemerkenswert ist in Liverpool die geringe Anzahl der Kammerschleusen im Vergleich zu den sehr zahlreichen Dockschleusen.

C. Binnenland-Seehäfen.

Diese Häfen werden wie Binnenhäfen aus einer Reihe von Einzelbecken, die aus dem Flusse abzweigen, gebildet. Da sie in der Regel weder unter Verschlickung noch unter Seegang und Sturmfluten zu leiden haben, kann bei Anlage der Becken auf übersichtliche Gliederung und zweckmäßigen Gleisanschluß leichter als anderwärts Rücksicht genommen werden.

h) Hamburg. Als Beispiel sei der Hamburger Hafen angeführt (Abb. 285). Hamburg liegt über 100 km vom Meere entfernt, der mittlere Flutwechsel beträgt noch 1,85 m, Dockbecken konnten daher vermieden werden. Die Fahrwassertiefe der Unterelbe beträgt bei mittlerem Hochwasser 10 m. Die Becken zweigen gruppenweise von der Norderelbe ab, die Einfahrten sind schräg zur Flußachse gerichtet, und zwar gegen den Ebbestrom. Die wichtigsten Beckengruppen sind nördlich

der Elbe der Sandtorhafen mit Grasbrookhafen und Baakenhafen, südlich der Elbe die Gruppe Moldau-, Segelschiff-, Hansa-Indiahafen, ferner die Häfen auf Kuhwerder und die neuen Häfen am Köhlbrand. Die beiden letzteren Gruppen sind die neuesten. Fast alle Becken sind am landseitigen Ende

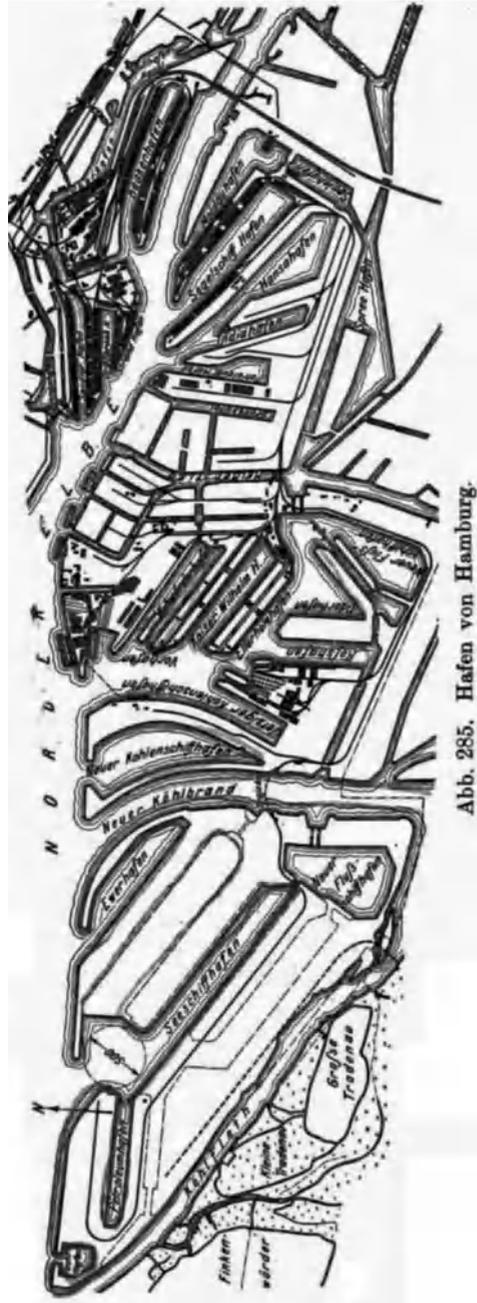


Abb. 285. Hafen von Hamburg.

durch Binnenwasserstraßen zugänglich; hierdurch ist der Umschlagverkehr zwischen Seeschiff und Binnenschiff sehr erleichtert. Die Hamburger Hafenbecken haben, soweit sie für Seeschiffe nutzbar sind, 23 km nutzbare Kailänge und etwa 300 ha Wasserfläche. Hamburg ist zurzeit der bedeutendste Seehafen des Kontinents.

Ähnliche Anordnung wie Hamburg, wenn auch in weit geringerem Umfange, haben die Häfen zu Bremen, Stettin, Lübeck und zahlreiche andere Binnenland-Seehäfen.

Sechstes Kapitel.

Seekanäle.

25. Abschnitt. Anordnung der Seekanäle.

A. Allgemeines.

Seekanäle dienen entweder zur Abkürzung oder Umgehung längerer oder gefahrvoller Seewege oder zum Anschluß von großen Binnenstädten an den Seeverkehr. Sie sind erst in neuerer Zeit häufiger ausgeführt worden, weil die sehr bedeutende Erdmassenbewegung und die großen Einzelbauwerke, die zu ihrer Herstellung erforderlich sind, ohne die Hilfsmittel der neueren Technik kaum durchzuführen sind.

Für die technische Ausgestaltung der Seekanäle ist besonders ihre Höhenlage und die Art ihrer Verbindung mit dem Meere von Bedeutung. Demnach kann man sie in 3 Gruppen einteilen, nämlich offene Seekanäle, Seekanäle mit Endverschlüssen und Seekanäle mit Haltungen in verschiedener Höhe. Offene Seekanäle sind nur ausführbar, wenn an den Kanalmündungen kein zu erheblicher Flutwechsel und kein zu starker Schlickfall stattfindet, wenn Anfang und Ende des Kanales in gleicher Höhe liegen können und wenn das vom Kanal zu durchschneidende Gelände nicht zu bedeutende Höhenunterschiede aufweist. Zur Abhaltung hoher Meeresfluten und des Schlickfalles muß der Kanal an den Enden durch Schleusen abgeschlossen werden; wenn zu große Geländehöhen zu überwinden sind, so wird ein Kanal mit mehreren in verschiedener Höhe liegenden Haltungen erforderlich. Dies ist auch stets der Fall, wenn eine erheblich über dem Meeresspiegel liegende Stadt angeschlossen werden soll. Die Höhenunterschiede der Haltungen müssen durch Schleusen überwunden werden.

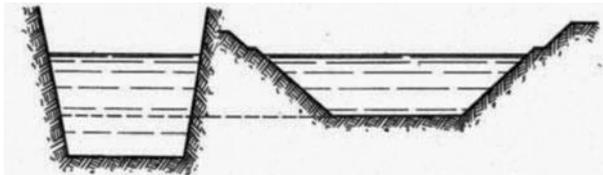
B. Linienführung und Querschnitte.

Über die Abmessungen eines Seekanales bestehen keine festen Regeln; es ist vielmehr von Fall zu Fall zu prüfen, welche Anforderungen mit Rücksicht auf die Größe und Fahrgeschwindigkeit der verkehrenden Schiffe zu stellen sind. Seekanäle sollten möglichst geradlinig hergestellt werden; ganz sind Krümmungen jedoch nicht zu vermeiden, da sich die Linienführung selbstverständlich nach der Geländegestaltung und nach der Lage der Ortschaften richten muß. Die Krümmungshalbmesser sollen tunlichst nicht unter 3000 m betragen; in schwierigen Fällen muß dieses Maß auf 2000 m, ausnahmsweise selbst auf 1500 m ermäßigt werden. Je schärfer die Krümmung ist, um so mehr empfiehlt es sich,

das Kanalbett zu verbreitern. Für den Suezkanal berechnet man den Breitenzuschlag W in Krümmungen aus dem Krümmungsradius R , der Schiffslänge a und der halben Sohlenbreite b der normalen Kanalstrecke nach der Formel¹⁾

$$W = \sqrt{R^2 + (2a)^2} - (R + b)$$

Fast alle Seekanäle werden zwecks Kostenersparnis einschiffig ausgeführt, dafür werden Ausweichstellen in 5 bis 7 km Abstand eingerichtet. Diese sind tunlichst auf dieselbe Kanalseite zu legen, um etwaige spätere Kanalerweiterungen zu erleichtern²⁾. Wird der Kanal aber zweischiffig eingerichtet, so soll seine Sohlenbreite das 4- bis 5fache der größten Schiffsbreite betragen. Der benetzte Querschnitt soll nach de Thierry mindestens gleich dem Fünffachen des eintauchenden größten Schiffsquerschnittes sein, andernfalls wird der Schiffswiderstand zu erheblich und die Steuerfähigkeit unzureichend. Bei mehreren bestehenden Kanälen beträgt jedoch der benetzte Querschnitt nur das 3,6- bis 4fache des eintauchenden Schiffsquerschnittes; die Schiffe müssen dann sehr langsam fahren. Die Wassertiefe soll so groß sein, daß unter dem Kiel des tiefstgehenden Schiffes noch ein Raum von 1 m verbleibt; diese Forderung ist wegen der nicht unbeträchtlichen Vermehrung des Eintauchens (Einsenkung) in Fahrt befindlicher Schiffe notwendig. Die Kanalquerschnitte werden meistens mit wagerechter Sohle und mit geradlinig oder gebrochen geböschten Seitenflächen ausgeführt. Früher wandte man etwa 2 m unter dem Wasserspiegel an beiden Böschungen ein Bankett an, welches die durch Dampfer hervorgerufenen Wellen dämpfen und das Herabfallen losgelöster Teile der in der Wasserlinie am meisten angegriffenen Böschungen verhindern sollte. Nach Versuchen von Engels³⁾ ist jedoch der Schiffswiderstand um so kleiner, je größer der hydraulische Radius des benetzten Querschnittes ist. Deshalb legt man jetzt die Bankette über Wasser. Zum Schutze der Böschungen gegen Wellenangriff ist über und unter der Wasserlinie eine geeignete Befestigung, meistens Steinschüttung, vorzunehmen; diese wird mit der unteren unbefestigten Böschung bündig angeordnet.



a) im Felsen. b) in weichen Bodenarten.

Abb. 286 a und b. Kanalquerschnitte im Felsen und in weichem Boden.

Ist der Boden felsig und standhaft, so können die Böschungen steil angelegt werden; damit die erforderliche Größe des benetzten

Querschnittes erreicht wird, empfiehlt es sich dann, die Wassertiefe und unter Umständen auch die Sohlenbreite zu vergrößern. Bei weichen Bodenarten sind dagegen diese beiden Maße auf das Notwendigste einzuschränken, und die erforderliche Wasserfläche ist durch Abflachen der Böschungen zu erzielen (Abb. 286).

Über die Abmessungen, die man neu zu erbauenden Seekanälen mit Rücksicht auf die künftige Entwicklung der Schiffsgrößen geben soll, bestanden auf dem XII. Internationalen Schiffahrtskongreß zu Philadelphia verschiedene Anschauungen. Beizustimmen ist der Meinung de Thierrys, wonach man aus wirtschaftlichen Gründen die Abmessungen nicht über das zur Zeit der Erbauung vorhandene Bedürfnis hinsichtlich der Abmessungen der größten verkehrenden Seeschiffe festsetzen, dagegen von vornherein die Möglichkeit späterer Erweite-

¹⁾ Nach Corthel, Abmessungen der Seekanäle mit Rücksicht auf die mutmaßlichen Größenverhältnisse zukünftiger Seeschiffe. Bericht zum XII. Internationalen Schiffahrtskongreß in Philadelphia 1912.

²⁾ Nach G. de Thierrys Bericht über denselben Gegenstand.

³⁾ Vgl. Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1907.

rungen offen lassen sollte. Die Seeschleusen sind jedoch im allgemeinen nicht erweiterungsfähig, sie müssen daher von vornherein so groß bemessen werden, daß sie auch für die irgend zu übersehenden oder zu schätzenden Ansprüche der Zukunft ausreichend sind.

Ausgeführte Seekanäle für große Seeschiffe (Kaiser Wilhelm-Kanal, Suezkanal, Panamakanal) haben 40 bis 65 m Sohlenbreite bei 11 bis 13 m Wassertiefe. Einige Kanalquerschnitte sind in den Abb. 287c, 288 und 290c (S. 211 und 213) gegeben; die wichtigsten Abmessungen verschiedener Seekanäle enthält die nachstehende Zusammenstellung.¹⁾

Hauptabmessungen einiger Seekanäle.

Name	Länge abgerundet km	Sohlenbreite in		Tiefe m	Schleusen			Bemerkungen
		gerader Strecke m	krummer m		nutzbare Länge m	Breite m	Tiefe m	
a) Offene Seekanäle.								
Suez- Kanal	jetzt 160 soll werden	37 65	75 bis 80	9,0 11	—	—	—	Tiefe unter NW-Spring- ebbe.
Chesapeake-Kanal	35	45	bis 105	10,6	—	—	—	Tiefe unter mittlerem NW.
Cod-Kap-Kanal . .	20	38	—	7,6	—	—	—	Tiefe unter NW. Kanal fast gradlinig.
Königsberger See- kanal	40	30	40	6,5	—	—	—	Tiefe unter MW.
β) Seekanäle mit Endverschlüssen.								
Kaiser Wil- helm-Kanal	(früher jetzt) 99	22 44	bis 38	9 11	150 330	25 45	9,8 13,8	Tiefe unter KanalMW. Der benetzte Quer- schnitt wird ver- doppelt.
Amsterdamer Seekanal	20	50	60	9,8	225	25	9,65	Tiefe unter KanalMW.
Brügger Seekanal	10	22	—	8,0	158	20	9,0	Tiefe unter NW.
γ) Seekanäle mit Haltungen in verschiedener Höhe.								
Manchester See- kanal	57	36,6	36,6	7,9	182	24,4	8,32	Tiefe unter KanalMW.
Panama-Kanal . .	78	61 bis 305	—	12,8 bis 13,7	304	33,5	12,2	Tiefe unter NW.

C. Brücken und Fähren.

In Kulturländern bereitet die Überführung von andern Verkehrswegen über einen Seekanal meist große Schwierigkeiten, besonders wegen der für Seeschiffe erforderlichen sehr bedeutenden Durchfahrts Höhe. Bei dem im Jahre 1894 beendigten Manchester Seekanal liegt die Unterkante der festen Brücken erst 22,86 m über dem Wasserspiegel; beim Kaiser Wilhelm-Kanal ist dieses Maß bereits auf 42 m erhöht worden.

So kostspielig auch die Anlage solcher Brücken und so umständlich namentlich die Entwicklung der Anfahrtsrampen im Flachlande ist, insbesondere für

¹⁾ Nach Esselborn, Tiefbau, Band Seebau.

Eisenbahnen, so ist man doch bemüht, tunlichst nur feste Brücken anzuwenden. Nach diesem Grundsatz sind bei der Erweiterung des Kaiser Wilhelm-Kanals die Drehbrücke bei Rendsburg und die Pontonbrücke bei Holtenau durch Hochbrücken ersetzt worden. Sollten jedoch die Ansprüche an die Durchfahrtshöhe noch weiter steigen, so wird man in Zukunft doch wieder zu beweglichen Brücken (Drehbrücken oder Klappbrücken) zurückkehren müssen, trotzdem bei lebhaftem Verkehr sich die beiden Verkehrswege dann stören¹⁾. Die Weite der freizumachenden Durchfahrtsöffnung soll mindestens der Sohlenbreite der einschiffigen Kanalstrecke gleichkommen. Zur Überführung von weniger wichtigen Verkehrswegen sind freifahrende, mit Dampf- oder Explosionsmaschinen ausgerüstete Fähren sehr zu empfehlen; weniger angebracht sind Seilfähren, weil das Seil eine Gefahr für tiefliegende Schiffsschrauben bildet. Ausschwenkbare Pontonbrücken sollten wegen der Schwerfälligkeit ihrer Bewegung tunlichst vermieden werden. Vorteile bietet auch die Anwendung sogenannter Schwebefähren; dies sind an festen Hochbahnen hängende und mittels Laufkatzen fahrende Bühnen, die sich in Uferhöhe bewegen und ein sehr schnelles und sicheres Übersetzen ermöglichen²⁾. Der Vorteil liegt darin, daß keine Rampen erforderlich sind und daß die die Schiffahrtsstraße überspannende Hochbahnbrücke bei unbeschränkter Höhe verhältnismäßig leicht gebaut sein kann.

26. Abschnitt. Ausführungsformen mit Beispielen.

A. Offene Seekanäle.

Offene Seekanäle verhalten sich wie natürliche Meeresstraßen. Sie sind daher den Strömungen und Wasserstandsschwankungen sowie der Sinkstoffbewegung ausgesetzt, wie dies bei Beschreibung der Flußmündungen in Abschnitt 5 erläutert wurde. Die Strömungsgeschwindigkeit darf höchstens 1,50 m/sek betragen; sie rührt hauptsächlich von der Tidebewegung des Meeres her und ist aus den Flutkurven nach den in Abschnitt 5 gegebenen Regeln zu berechnen. Die Wasserstandsschwankungen erfordern eine Vertiefung der Sohle, sofern nicht die Befahrung der Mündungstrecke des Kanals auf die Zeit des Hochwassers beschränkt werden darf. Etwaige Versandungen oder Verschlickungen müssen fortlaufend durch Baggerung beseitigt werden.

a) Der Suezkanal. Als Beispiel eines offenen Seekanals sei der Suezkanal angeführt. Dieser Kanal wurde von einer Privatgesellschaft unter Leitung des Franzosen Ferdinand de Lesseps erbaut und im Jahre 1869 in Betrieb genommen. Er führt von Port Said am Mittelländischen Meere nach Suez am Roten Meere und ist 160 km lang. Sein Verlauf folgt einer in das Wüstengebiet eingeschnittenen Senke und durchquert mehrere Salzseen. (Abb. 287a und b)³⁾. Die durch ihn geschaffene Abkürzung des Seeweges nach Ostindien beträgt 5000 Seemeilen. Der Flutwechsel beträgt bei Suez 0,8 bis 1,5 m, bei Sturmfluten bis 3,24 m; bei Port Said beträgt er gewöhnlich nur 0,44 m und bei Sturmflut höchstens 0,95 m. Die größten beobachteten Strömungsgeschwindigkeiten betragen nur etwa 1,0 m pro sek. Ursprünglich wurde der Kanal mit 22 m Sohlenbreite und 8 m Wassertiefe erbaut, nach und nach sind diese Maße auf

¹⁾ Auf dem XII. Internationalen Schiffahrtskongreß in Philadelphia wurden bereits Durchfahrtshöhen von 70 m verlangt; tatsächlich reichen die Mastspitzen der „Olympic“ 62,8 m, diejenigen des „Imperator“ 63 m über den Wasserspiegel.

²⁾ Bisher an Seekanälen, soweit bekannt, nicht angewendet, wohl aber an Hafeneinfahrten, nämlich in Kiel, Rouen, Marseille und an anderen Orten.

³⁾ Nach G. de Thierry, Abmessungen der Seekanäle usw.; Bericht zum XII. internationalen Schiffahrtskongreß in Philadelphia 1912.

45 m bzw. 11 m gebracht worden. Der ursprüngliche und der jetzige Kanalquerschnitt sind in Abb. 287c dargestellt. Zur Versorgung der Schiffe mit Süßwasser ist ein kleiner Süßwasserkanal vom Nil nach Ismailia am Timsah-See hergestellt worden; von hier aus wird das Wasser teils in offenen Rinnen, teils in Rohrleitungen zu den Entnahmestellen geführt, die auf die ganze Kanalstrecke verteilt sind.

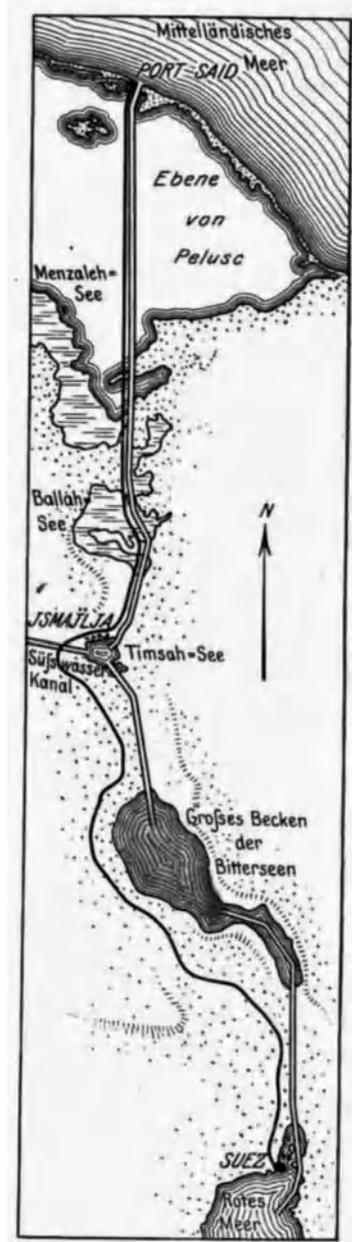
Die früher oft ausgesprochene Befürchtung, der Kanal werde wegen der geringen Wasserauffrischung verkrautet, durch Salzablagerungen aus den Bitterseen unfahrbar werden oder durch die Sandstürme der Sahara verschüttet werden, haben sich in keiner Weise bewahrheitet.

b) Der Königsberger Seekanal. Dieser gleichfalls vollständig offene Kanal wurde erbaut, um die ostpreußische Provinzialhauptstadt für den Seeverkehr zugänglich zu machen. Er ist 40 km lang und hat bei 30 m Sohlenbreite 6,5 m Wassertiefe bei mittlerem Ostseewasserstand. Bemerkenswert ist die durch das Frische Haff führende Strecke. Der Kanal mußte mehrere Meter unter die Haffsohle vertieft werden. Um den Haffschlamm von dem Kanal fernzuhalten, wurde letzterer mit Leitdämmen eingefast, die jedoch nur bis Mittelwasser reichen.

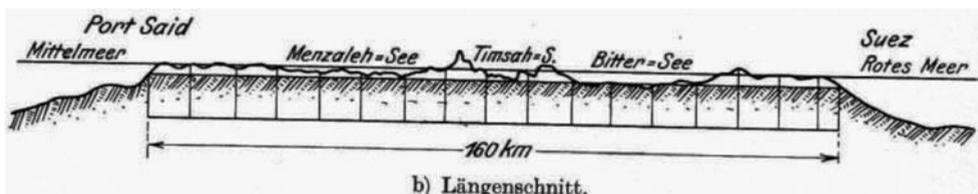
Um die Haffschifffahrt und den Zug der Fische tunlichst wenig zu stören, sind an mehreren Stellen Lücken in den Leitdämmen offen gelassen worden.

B. Seekanäle mit Endverschlüssen.

Diese unterscheiden sich von den offenen Kanälen nur durch die Endschleusen, die es ermöglichen, einen gleichbleibenden, von Tidenerscheinungen und Sturmfluten unabhängigen Wasserstand im Kanal zu halten. Der Kanalquerschnitt kann daher auch auf das geringste zulässige Maß beschränkt werden. Die Endschleusen müssen tunlichst doppelt vorhanden sein, weil sonst bei jeder Betriebsstörung einer Schleuse der ganze Kanal gesperrt ist.



a) Lageplan.



b) Längenschnitt.

Abb. 287 a bis c.

Lageplan, Längenschnitt und Querschnitt des Suezkanales.



Auch müssen sie an eine vor Seegang geschützte Stelle gelegt werden. Wenn bei Kanälen, welche strategische Bedeutung haben, die Ausmündungen nicht in leicht zu sperrenden Buchten liegen, so legt man die Schleusen so weit landeinwärts, daß sie von See aus nicht mehr beschossen werden können.

c) Der Kaiser Wilhelm-Kanal. Dieser die Elbemündung mit der Kieler Bucht verbindende Seekanal ist in den Jahren 1887 bis 1895 hauptsächlich aus strategischen Gründen erbaut worden; er hat jedoch auch eine große wirtschaftliche Bedeutung, da er den Seeweg aus der Ostsee in die Nordsee erheblich verkürzt (von Stettin nach Hamburg um etwa 420 Seemeilen) und die Vermeidung der schwierigen Fahrt durch die seichten dänischen Gewässer ermöglicht. Der Flutwechsel beträgt an der Abzweigung aus der Unterelbe bei Brunsbüttel 2,80 m, bei Sturmflut bis zu 8 40 m; an der Ostseeseite kann sich der Wasserstand durch Windwirkung um fast 5 m ändern. Diese Zahlen sind wesentlich größer als die vorstehend aufgeführten entsprechenden Zahlen beim Suezkanal. Aber nicht nur die bei Offenlassung der Mündungen zu erwartenden starken Strömungen im Kanal machten den Abschluß erforderlich, sondern auch Rücksichten auf die Landeskultur. Da ein großer Teil des durchschnittenen Marschlandes an der Nordseeseite tiefer als das mittlere Hochwasser liegt, durften die Nordseefluten nicht in das Land hineingeleitet werden. Eine Eindeichung des Kanals hätte die Entwässerungsverhältnisse der Marschen wesentlich verschlechtert.

Der Kanal ist 98,7 km lang; er wurde ursprünglich mit 22 m Sohlenbreite und 9 m Wassertiefe erbaut; die Schleusen waren Doppelschleusen von 150 m Länge und 25 m Breite. Diese Abmessungen genügten sehr bald nicht mehr den wachsenden Schiffsgrößen. Daher mußte bereits im Jahre 1910 mit einem völligen Umbau des Kanals begonnen werden, der 1914 fertiggestellt ist. Die Sohlenbreite ist auf 44 m, die Wassertiefe auf 11 m vergrößert worden. Der alte und der neue Kanalquerschnitt sind in Abb. 288 dargestellt.

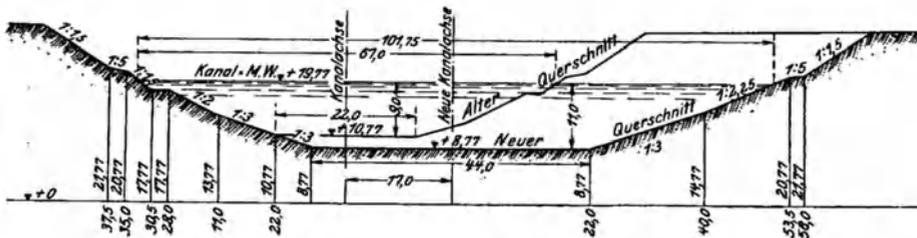


Abb. 288. Querschnitt des Kaiser Wilhelm-Kanales.

Die neuen gleichfalls doppelt ausgeführten Schleusen sind 330 m lang, 45 m breit und haben 13,8 m Drenptiefe unter dem Mittelwasser der Ostsee. (Vgl. Abb. 255, S. 183.) Die Hochbrücken liegen mit ihrer Unterkante 42 m über dem höchsten Kanalwasserstande; dieses Maß genügt nicht mehr für größte Schiffe, diese müssen zwecks Durchfahrt die obersten Stengen der Masten abnehmen.

d) Der Amsterdamer Seekanal führt aus dem Ymuidener Hafen nach Amsterdam und der Zuider See. Seine Sohlenbreite beträgt jetzt 50 m, seine Wassertiefe 9,8 m. Die neuen Endschleusen sind 225 m lang und 25 m breit bei 9,65 m Drempeltiefe.

C. Seekanäle mit Haltungen in verschiedener Höhe.

1. **Vorzüge und Nachteile.** Wenn irgend möglich, sucht man den Spiegel eines Seekanals in Meeresspiegelhöhe zu legen. In manchen Fällen sprechen jedoch nicht nur technische, sondern auch wirtschaftliche Gründe für die Anordnung höher liegender Haltungen. Man kann nämlich, wenn ein Höhenrücken überschritten werden muß, mit einem bestimmten Kapital ebenso gut einen tiefliegenden Kanal ohne Schleusen wie einen hochliegenden mit Schleusenstufen bauen. Im ersteren Falle werden die Erdarbeiten oft so bedeutend, daß man genötigt ist, nicht nur das Kanalbett auf das äußerste einzuschränken, sondern auch die Linienführung den tiefsten Geländefalten anzupassen; im letzteren Falle hat man zwar die Schleusenkosten aufzuwenden, man ist dann aber in der Linienführung weniger beschränkt und kann auch das Kanalbett geräumiger gestalten

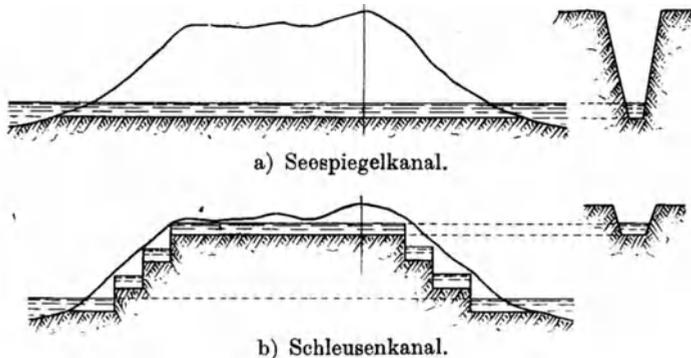


Abb. 289 a und b. Vergleich zwischen Seespiegelkanal und Schleusenkanal.

(Abb. 289). Der weitere und mit schlankerer Linienführung herzustellende Schleusenstufenkanal kann unter Umständen trotz des Aufenthaltes, den die Schiffe in den Schleusen haben, doch leistungsfähiger sein als der engere und mehr gewundene Seespiegelkanal, weil im letzteren nur sehr langsam gefahren werden darf. Ein Schleusenstufenkanal erscheint zunächst weniger betriebssicher, weil durch Einrammen eines Schleusentores leicht eine ganze Haltung auslaufen kann; die Erfahrung zeigt jedoch, daß solche Unfälle sehr selten sind und daß auch in engen Kanälen ohne Schleusen Betriebsunterbrechungen durch Strandung von Schiffen, die auf die Böschungen auflaufen, öfter vorkommen.

Diese Verhältnisse wurden bei den Beratungen der Internationalen Kommission über den Bau des Panamakanals eingehend erörtert. Im allgemeinen kann man sagen, daß ein kurzer Kanal tunlichst ohne Schleusen, wenn auch mit engem Querschnitt, gebaut werden sollte; bei einem längeren Kanal ist dagegen in manchen Fällen die Anordnung verschieden hochliegender Haltungen mit weitem Querschnitt und schlanker Linienführung technisch und wirtschaftlich richtiger. Die Abstiege eines Schleusenstufenkanals sind möglichst nahe zusammenzulegen; bei strategisch wichtigen Kanälen müssen sie außerhalb des Feuerbereiches feindlicher Flotten liegen.

2. **Beispiele.** e) Der Panamakanal. In Mittelamerika ist jetzt durch die Regierung der Vereinigten Staaten der Panamakanal, eins der bedeutendsten Bauwerke aller Zeiten, vollendet worden. (Abb. 290 a bis c.) Die

Durchstechung der nur etwa 75 km breiten Landenge, die den Atlantischen vom Stillen Ozean trennt, wurde schon seit langem erstrebt. Ein nach den Plänen des Erbauers des Suezkanals unternommener Versuch nahm im Jahre

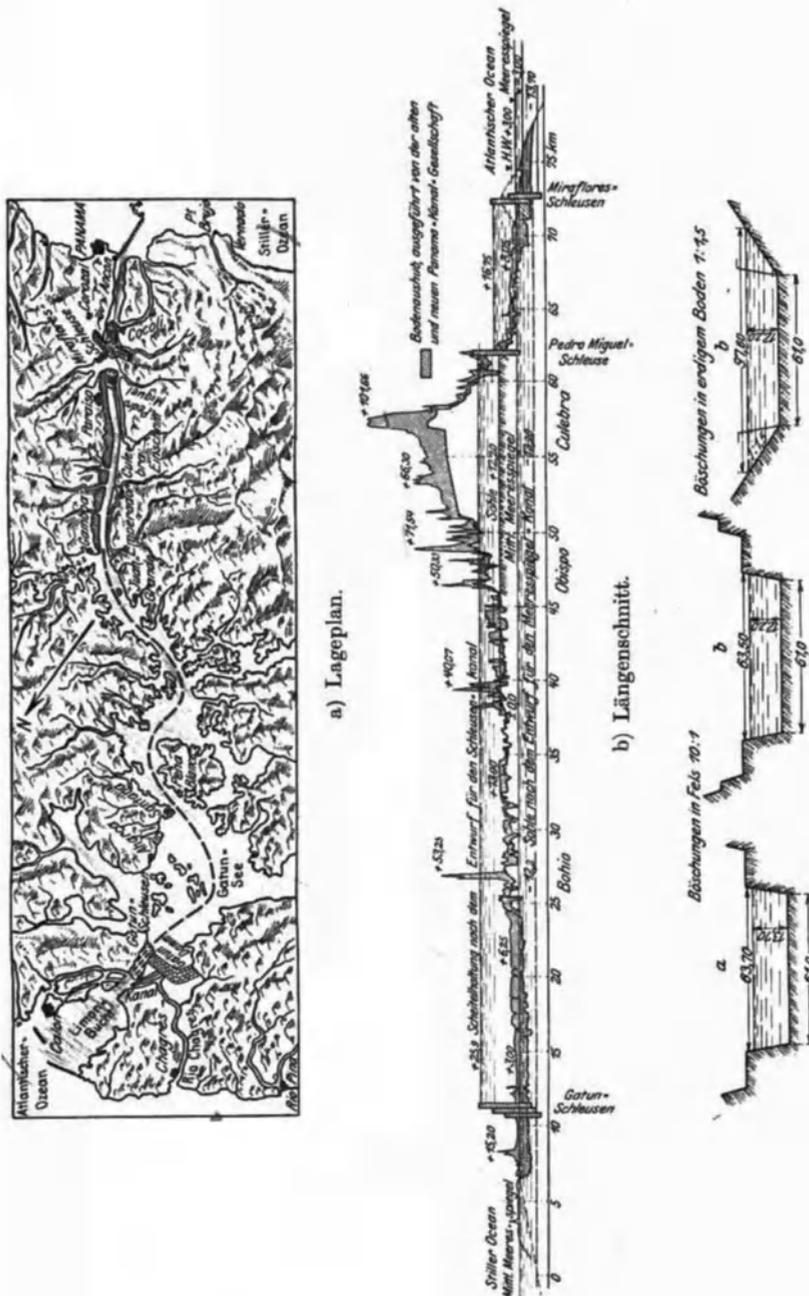


Abb. 290 a bis c. Lageplan, Längenschnitt und Querschnitt¹⁾ des Panamakanales.

1889 ein unruhliches Ende, als das Unternehmen, nachdem es schon nahezu 1 Milliarde Mark gekostet hatte, dem Bankrott verfiel.

¹⁾ Bei der Ausführung sind die Querschnitte in den Felstrecken größtenteils bis auf 90 m Sohlenbreite wegen der Rutschungen verbreitert worden.

Die Schwierigkeiten des Panamakanals liegen einerseits in der Durchstechung des felsigen Culebrakammes, der den Meeresspiegel um mehr als 100 m überragt und aus schwer zu lösendem Gestein besteht, das aber wegen des Vorkommens von zahlreichen morschen Schichten doch nicht standhaft ist und zu gefährlichen Nachstürzen neigt; andererseits in der Kreuzung des stark geschiebeführenden Chagresflusses, der die Landenge in ihrer Längsrichtung durchströmt. Der neue Plan des Panamakanals wurde von den Amerikanern einer internationalen Kommission unterbreitet. Diese empfahl in ihrer Mehrheit nach langen Erörterungen einen offenen Kanal, wie ihn bereits Lesseps geplant hatte. Der Flutwechsel beträgt am Stillen Ozean 6 m, am Atlantischen Ozean nur 0,3 m. Die zu erwartenden Strömungsgeschwindigkeiten hatte Lesseps zu höchstens 1,17 m pro sek berechnet.

Die amerikanische Regierung entschied sich jedoch, indem sie der Meinung der Minderheit der Kommission folgte, für den Schleusenstufenkanal; dabei waren die vorstehend erörterten Verhältnisse und namentlich auch die Möglichkeit der früheren Fertigstellung maßgebend.

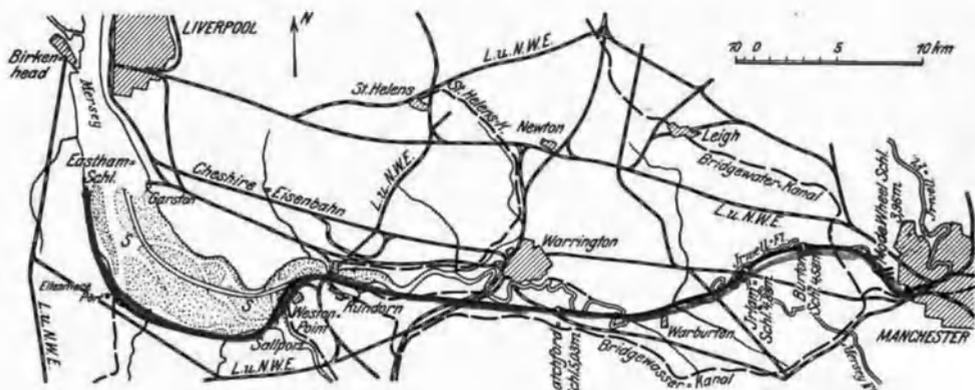


Abb. 291. Der Manchester-Seekanal.

Durch die höhere Lage der Scheitelhaltung wurde die Herstellung des Culebra-einschnittes wesentlich erleichtert. Trotzdem sind durch Gesteinsrutschungen erhebliche Schwierigkeiten entstanden, die auch noch nach Fertigstellung des Kanals den Betrieb in der ersten Zeit öfter gestört haben. Der Chagresfluß ist durch einen standhaften Erddamm um etwa 25 m angestaut worden; der dadurch gebildete 425 qkm große See liegt in der Scheitelhaltung. Der Aufstieg vom Atlantischen Ozean erfolgt durch 3 Doppelschleusen, von denen eine einzelne bei Pedro Miguel und zwei gekuppelte bei Miraflores gelegen sind; den Abstieg zum Stillen Ozean bilden ebenfalls 3 Doppelschleusen bei Gatun, die sämtlich gekuppelt sind. Die Schleusen haben 8,5 bis 9,3 m Gefälle; ihre nutzbare Länge beträgt 304 m, ihre Breite 33,5 m und die Drenpeltiefe 12,2 m. Im Vergleich zu den aus der Tabelle auf Seite 208 ersichtlichen reichlichen Abmessungen des Kanalbettes erscheinen die Schleusenmaße, namentlich die Breite, etwas knapp, denn die neuen Schleusen des Kaiser Wilhelm-Kanales sind bei 330 m nutzbrauer Länge 45 m breit und haben 13,8 m Drenpeltiefe.

f) Der Manchester-Seekanal. Kurz erwähnt sei noch der im Jahre 1894 fertiggestellte Kanal vom Mersey-Becken nach der großen Fabrikstadt Manchester, der Schwesterstadt der bedeutenden Hafenstadt Liverpool (Abb. 291)¹⁾. Da Manchester 21 m über dem Meeresspiegel liegt, mußte der Kanal mit

¹⁾ Abb. 291 und 292 sind entnommen aus Esselborn, Lehrbuch des Tiefbaues, Bd. Seebau.

Schleusenstufen gebaut werden. Es sind 5 Haltungen vorhanden, deren unterste 1,5 m unter Hochwasserspringflut liegt. Der Tidehub beträgt 4 bis 8 m. Der untere Abschluß des Kanals wird durch drei Schleusen von verschiedener Größe gebildet (Abb. 292); an den übrigen Staustufen sind nur 2 Schleusen vorhanden. Die Maße der großen Schleusen sind: nutzbare Länge 182,90 m, Breite 24,38 m, Drempteltiefe 8,32 m. Die Sohlenbreite beträgt auf offener Kanalstrecke 36,6 m, die Wassertiefe 7,92 m. Die Unterkante der festen Brücken liegt nur

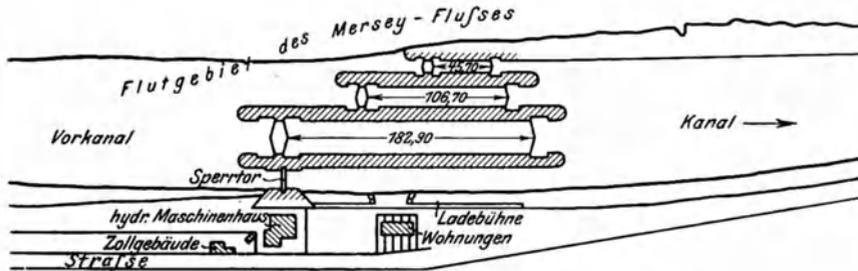


Abb. 292. Schleusengruppe am Manchester-Seekanal.

22,86 m über dem Kanalspiegel, größere Schiffe müssen also die Masten kappen. Bemerkenswert ist die Überführung eines Binnenschiffahrtskanals mittels einer Drehbrücke.

Der Kanal folgt von Manchester bis Warrington zuerst dem Irwellflusse, dann dem Merseyflusse; weiter unterhalb ist er außerhalb des Flußbettes und sogar außerhalb des Merseybeckens als Seitenkanal ausgebildet, weil die Stadt Liverpool Einspruch gegen die Herstellung von Leitdämmen im Flutgebiet erhoben hatte, denn sie fürchtete deswegen eine Verringerung der einströmenden Flutwassermengen und als Folge davon eine Verflachung ihrer Hafenstraße.

Literaturverzeichnis.

Erstes Kapitel. Das Meer.

- Berber, Die Wettervorhersage.
Otto Freybe, Praktische Wetterkunde.
Gotthilf Hagen, Handbuch der Wasserbaukunst.
Handbuch der Ing.-Wissenschaften, III. Bd., 3. Abt., Wasserbau am Meere und in Strommündungen.
O. Krümmel, Handbuch der Ozeanographie.
H. Lentz, Ebbe und Flut.
F. W. O. Schulze, Seehafenbau I.
E. Steurich, Die Sturmfluten in der Ostsee.
Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde.
-
- Andersen, Bericht zum X. internationalen Schiffahrtskongreß in Mailand. (Über Wellenwirkungen.)
Baensch, Studien aus dem Gebiete der Ostsee. Zeitschr. f. Bauwes. 1872.
Proetel, Beobachtungen über Meereswellen. Zeitschr. f. Bauwes. 1912.
Sandström, Dynamische Versuche mit Meerwasser. Annal. d. Hydrographie 1908.
H. von Schaper, Über die elementare Darstellung der fluterzeugenden Kräfte. Annal. d. Hydrographie 1910.
Mitteilungen des Materialprüfungsamtes zu Groß-Lichterfelde 1909 über das Verhalten des Betons im Seewasser.
Holzzerstörende Organismen. Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1891 S. 55.

Zweites Kapitel. Die Küsten.

- P. Gerhard, Handbuch des deutschen Dünenbaues.
Handbuch der Ing.-Wissenschaften, III. Bd.,
2. Abt.: 1. Hälfte: Landwirtschaftl. Wasserbau;
2. Hälfte: Schleusen, Schiffahrtskanäle (Deichschleusen).
3. Abt.: Wasserbau am Meere und in Strommündungen.
Henket, Schols en Felders. Waterbouwkunde. Gravenhage.
Th. Otto, Der Darß und der Zingst.
E. Perels, Handbuch des landwirtschaftlichen Wasserbaues.
J. C. Ramaer, Die Ausdehnung des Haarlemer Meeres. Amsterdam.
-
- Fülscher, Uferschutzbauten zur Erhaltung der ost- und nordfriesischen Inseln. Zeitschr. f. Bauwes. 1905.
Gerhard, Die Befestigung der Ostseeküste bei Cranz. Zeitschr. f. Bauwes. 1906.
A. Geiße, Schutzbauten an der Helgoländer Düne. Zeitschr. f. Bauwes. 1905.
Germelmann, Uferschutzwerke (Küstenschutz). Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1908 Nr. 26.

Drittes Kapitel. Strommündungen.

- L. Franzius, Die Korrektur der Unterweser.
Handbuch d. Ing.-Wissenschaften, III. Bd., 3. Abt., Wasserbau am Meere und in Strommündungen.
Bubendey und Buchheister, Charakteristische Kennzeichen eines Tideflusses. Bericht zum VII. internationalen Schiffahrtskongreß in Brüssel.
O. Franzius, Ausbau der Scheidemündung. Beratungen der internationalen Kommission. Deutsche Bauzeitg. 1912.

Viertes Kapitel. Seeschifffahrt.

- Burkowitz, Ergebnisse einer Reise zum Studium des Seezeichenwesens in Deutschland, England und Frankreich.
Grundsätze für die Leuchtfeuer und Nebelsignale der deutschen Küste.
Dr. Franz Schulze, Nautik. Sammlung Göschen.
Voisin-Bey, Die Seehäfen Frankreichs. Deutsch von G. Franzius. (Enthält u. a. Mitteilungen aus der Geschichte der Seeschifffahrt.)

- Braun, Sicherung der Seeschifffahrt. Leuchtbojen. Bericht zum XII. internationalen Schiffahrtskongreß in Philadelphia 1912.
 Buchwald, Der Kreiselkompaß. Prometheus 1912.
 G. Dalén, Automatische Seebeleuchtung. Zeitschr.: Karbid u. Azetylen 1911.
 Klebert, Mitteilungen über moderne Leuchtfeuer und Leuchtbojen. Journal f. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1912.
 L. Onken, Über versandfähige Leuchtgase. Glasers Annalen 1911.
 B. A. Verhey, De nieuwe kustlichttoren nabij het Westhoofd, eiland Goeree. Zeitschr.: De Ingenieur v. 27. Juli 1912.

Fünftes Kapitel. Seehäfen.

- Brenneke, Der Grundbau.
 Buhle, Massentransport.
 Handbuch der Ing.-Wissenschaften, Dritter Teil, 11. Bd., Häfen.
 Th. Landsberg, Die eisernen Stemmtoore der Schiffsschleusen.
 Laroche, Ports maritimes.
 F. W. O. Schulze, Seehafenbau I u. II.
 Th. Stevenson, The design and construction of harbours. Edinburgh.
- Amerikanische Hellingkrane. Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1908. S. 1629.
 Behrendt und O. Franzius, Der Unfall und die Wiederherstellung von Dock V auf der Kaiserl. Werft in Kiel. Zeitschr. f. Bauwes. 1912.
 Bieliawin, Die Trockendocks zu Libau. Bericht zum XI. intern. Schiffahrtskongreß 1908.
 Bremer Dockanlagen, insbesondere das Kaiserdock. Zeitschr. des Archit.- u. Ing.-Vereins Hannover 1902.
 Brenneke, Über Berechnung und zweckmäßige Bauweise gemauerter Trockendocks. Zeitschr. f. Bauwes. 1892.
 Buhle, Technische Hilfsmittel zur Förderung und Lagerung von Kohlen und Eisenerzen. Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1899.
 Dietzius, Schwimmdockanlagen. Schiffbau 1904/05 u. 1905/06.
 Eilert, Entwicklung der bau- und maschinentechnischen Anlagen der Hamburger Freihafen-Lagerhausgesellschaft. Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1910.
 Flamm, Zur Frage der Schwimmdocks. Schiffbau 1907/08 u. 1908/09.
 Forchheimer, Verfahren zur Berechnung von Schwimmdocks. Zeitschr. f. Bauwes. 1892.
 O. Franzius, Über die Berechnung von Trockendocks. Zeitschr. f. Bauwes. 1908.
 Hellingkrane. Schiffbau 1904/05.
 v. Horn, Richtung und Form der See-Enden von Hafendämmen. Deutsche Bauzeitg. 1892.
 Laas, Die Verteilung des Drucks im Dock auf den Boden eines Schiffes und auf die Dockstapel. Schiffbau 1899/1900.
 Michenfelder, Fortschritte und Bestrebungen auf dem Gebiete der Fördertechnik in Häfen. Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1913.
 P. Moeller, Zur Berechnung von Schwimmdocks. Zentralbl. d. Bauverw. 1896.
 Ottmann und Loebell, Kohlenverladung. Zeitschr. f. Bauwes. 1910.
 Proetel, Die neuen Hafen- und Fähranlagen in Saßnitz. Zeitschr. f. Bauwes. 1913.
 Schwarz, Moderne Werftanlagen und ihre voraussichtliche Entwicklung. Jahrbuch d. schiffbautechn. Gesellsch. 1901.
 Thalenhorst, Schwimmdock oder Trockendock? Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1909.
 Wiking, Der Bau von Schwimmdocks. Jahrbuch d. schiffbautechn. Gesellsch. 1905.
 Ziegler, Queraufschleppe für Schiffbau- und Reparaturanstalten. Zentralbl. d. Bauverw. 1898 S. 536.
 Die neue Werft der Stettiner Maschinenbau A.-G. Vulkan in Hamburg. Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1909.
 Das 40000 t-Schwimmdock der Kaiserl. Werft in Kiel. Schiffbau 1911/12.

Sechstes Kapitel. Seekanäle.

- Corthel, Abmessungen der Seekanäle mit Rücksicht auf die mutmaßlichen Größenverhältnisse zukünftiger Seeschiffe. Bericht zum XII. internationalen Schiffahrtskongreß in Philadelphia 1912.
 de Thierry, Dägl. (Enthält ausführliche Mitteilungen über den neueren Ausbau des Suezkanales.)
 O. Franzius, Panamakanal. Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1915.
 Fülischer, Panamakanal. Zeitschr. f. Bauwes. 1907.
 Veröffentlichungen über den Kaiser Wilhelm-Kanal:
 Zeitschr. f. Bauwes. 1896 bis 1899;
 Zentralbl. d. Bauverw. 1907;
 Zeitschr. f. Bauwes. 1913, Heft IV bis VI.

Sachverzeichnis.

- Abflußberechnung (bei Tideflüssen) 82.
Ablaufbahn (bei Hellingen) 186.
Absetzdock 197.
Abweichung (Nautik) 103.
Abweitung (Nautik) 103.
Amsterdamer Seekanal 212.
Anemometer 20.
Ankerbojen 174.
Anlaufhäfen 145.
Anlegebrücken 168.
Antizyklone 19.
Äquatorialstrom (Wind) 17.
Astronomische Ortsbestimmung 104.
Aufforstung (Dünenbau) 49.
Aufschleppen 190.
Auftriebmotor 127.
Außenwerke (bei Häfen) 137.
Azeton 118.
Azetylen gas 118.
- Baken** 110.
Bamberg's Kompass 100.
Barre 76.
Baudock 190.
Baustoffe (Bewahrung im Seewasser) 14.
Beaufortsche Windeinteilung 21.
Besteck (Dünenbau) 48.
Besteck, geigßtes (Nautik) 103.
—, wahres (Nautik) 104.
Beton im Seewasser 14.
Binnenlands-Seehäfen 136.
Blaugas 117.
Blinkfeuer 113.
Blitzfeuer 113.
Bodenspeicher 148.
Bohrassel 16.
Bohrmuschel 16.
Bohrwurm 15.
Bollwerk 168.
Bore 37.
Boulogne, Hafen 202.
—, Mole 165.
Bourdelle's Leuchte 127.
Brackwasser 11.
Brecher 28.
Breitenbestimmung (Nautik) 105. 106.
Bremerhaven 203.
Brennweite 121.
Brown'sche Entladung 157.
Bücking'sche Erdanker 61.
Buhnen (Seebuhnen) 59. 63.
Buys-Ballot'sches Windgesetz 19.
- Cement, Verhalten im Seewasser** 14.
Cherbourg, Reede 141.
—, Wellenbrecher 164.
Clyde, Ausbau der Mündung 91.
Cuxhaven 145.
- Dalben** 171.
Dalén's Sonnenventil 128.
Dampfkranne 152.
- Darg 45.
Deckwerk 51.
Deiche 65.
Deichrampe 67.
Deichscharte 67.
Deichsiele 68.
Deklination (des Kompasses) †101.
Delta 77.
Devey-Dock 196.
Deviation des Kompasses 101.
Dockhäfen 136.
Docks 191. 194.
Dockschleusen 180.
Donau, Ausbau der Mündung 89.
Dover, Mole 166.
Dovesches Windgesetz 19.
Drempel 182.
Driftströmungen 39.
Druckluftpegel 10.
Druckwasserkrane 152.
Duckhamsche Getreideförderung 159.
Dünen 46.
Dünenaufforstung 49.
- Ebbe** 31.
Ebbestrom 39. 76.
Eis 13.
Eisberge 13.
Elektrische Krane 153.
Elektrisches Glühlicht und Bogenlicht (bei Leuchtuern) 119.
Endhäfen 145.
Endverschlüsse (bei Seekanälen) 210.
Entladevorrichtungen 156. 157.
Entspannungsventil 117.
Erdbuhnen 60.
Erddämme (als Hafendämme) 162.
- Fähranlagen** 177.
Fährschiffe 180.
Fahrwasser 110.
Fernsignale 108.
Festfeuer 113.
Festmachevorrichtungen 171.
Feuerschiffe 129.
Flachsee 3.
Flut 31.
Flutgrenze 76.
Flutgrößen 37.
Flutkurve 32.
Flutstrom 39. 76.
Fluttrichter 78.
Flutwechsel 32.
Flutwelle 32. 75.
Fokusglühlampe 119.
Folge (bei Leuchtfeuern) 113.
Fördereinrichtungen 153. 156.
Freihäfen 136.
Freipaß (bei Hafendämmen) 139.
Fresnel'sche Leuchte 122.
Füllvorrichtungen (bei Seeschleusen) 185.
Funkennebe'signale 134.

- Gaillards Wellenstoßmesser** 30.
Gangspill 174.
Gaslicht (bei Leuchtfeuern) 116.
Geest 45.
Gegißtes Besteck (Nautik) 103.
Geoid 2.
Geschlossene Häfen 136.
Getreideverladung 157.
Gewöhnlicher Wasserstand 2.
Gezeiten 31.
Gezeitentafeln 37.
Gleichstromlampe 119.
Glockenkran 151.
Glowwe (Dünen) 47.
Glühlicht (bei Leuchtfeuern) 116.
Gradienten 18.
Greifer 156.
Groden 45.
Grundsätze für Bezeichnung der Fahrstraßen 110.
Grundsätze für Leuchtfeuer usw. 112.
Gürtellinsen (für Leuchtfeuer) 122.
- Hadleys Winderklärung** 17.
Häfen 135.
Hafenbecken 140.
Hafendämme 161.
Hafeneinfahrt 138.
Hafenzeit 38.
Hakenbildung 44.
Halbmonatliche Ungleichheit (der Tiden) 35.
Halbportalkran 150.
Halbtidebecken 141.
Haltungen bei Seekanälen 212.
Hamburger Hafen 205.
Hammerkran 152.
Harmonische Analyse 36.
Havanna-Dock 196.
Hechelmanns Kompass 100.
Helgoländer Düne, Befestigung 61.
Hellinge 186.
Hellingkrane 189.
Heulton 132.
Hochbahntlader 153.
Hochwasser 2. 32.
Hochwasserlinie 76.
Huntsche Förderung 157.
Hydraulische Docks 197.
- Innere Hafenbecken** 142.
Inselbildung (in Strommündungen) 76.
Inselhäfen 140.
Isobaren 18.
- Kabelige See** 28.
Kaieinfassungen 168.
Kaiflächen 142. 145.
Kaimauern 169.
Kaiser-Wilhelm-Kanal 211.
Kaitreppe 175.
Kalmen 17.
Kartendarstellungen 99.
Kastensystem (Kohlenentladung) 155.
Katadioptrische Prismen 122.
Kenning (bei Leuchtfeuern) 113.
Kennungsrichtungen 124.
Kielstapel 193.
- Kimmschlitten** 193.
Kimmtiefe 105.
Kippkübel 156.
Klai 45.
Kohlenkipper 153.
Kohlenverladung 153.
Königsberger Seekanal 210.
Kompass 100.
Kompensation des Kompasses 101.
Koog 45.
Koppelkurs 104.
Krane 150.
Krankkipper 154.
Kreiselkompass 101.
Kreuzpeilung 6.
Kriegshäfen 135. 136.
Kupsten 47.
Kurs der Schiffe 102.
Kursdreieck 103.
Küsten 41.
Kuwerwasser 67.
- Landebrücken, bewegliche** 175. 177.
 —, feste 168.
Landebühnen 174.
Längenbestimmung (Nautik) 105. 106.
Längenmessungen 4.
Längsaufschleppen 190.
Larrasch, Mole 167.
L-Dock 194. 196.
Leeseite 22.
Leitdämme 80. 137.
Leitfeuer 113.
Leuchten 119.
Leuchtfeuer 112.
Leuchttonnen 128.
Leuchttürme 115.
Lichterführung 108.
Lichtquellen (für Leuchtfeuer) 116.
Lichtsignale 108.
Linsen (bei Leuchtfeuern) 120.
Liverpool, Hafen 205.
Log 102.
Lohmeiers Näherungsverfahren (Sielberechnung) 73.
Löschuhr (bei Leuchtfeuern) 128.
Löschvorrichtungen (in Häfen) 153.
Lot 6.
Lotmaschine 7.
Luvseite 22.
- Mahlbusen** 68.
Maifeld 45.
Manchester Seekanal 214.
Marschen 45.
Marseille, Hafen 199.
 —, Mole 165.
Maskaret 37.
Maximum (Wind) 19.
Meerbecken 1. (Tafel S. 3 u. 4.)
Meereis 13.
Meeresströmungen 38.
Meerestiefen 2.
Meerwasser 11.
Mercatorprojektion 99.
Messungen an der See 4.
Minimum (Wind) 19.

- Mischfeuer 113.
 Mississippi, Mündung 90.
 Mißweisung des Kompasses 101.
 Mittelmeere 3.
 Mittelwasser 2.
 Molen 137. 161.
 Möllers Eisenbetondeckwerk 56.
 Mondstrecken (Nautik) 106.
 Monsun 18.
 Morton-Wagen 190.
 de Muraldsche Lotmaschine 7.
 de Muraldsches Deckwerk 56.

 Nachtzeichen 109.
 Nautik 99.
 Nautisches Dreieck 105.
 Nebelsignale als Seezeichen 131.
 Nebelsignale der Schiffe 109.
 Nehrstrom 41.
 Nehrung 44.
 Niedrigwasser 2. 32.
 Niedrigwasserlinie 76.
 Nipptide 35.
 Notsignale 109.

Öffene Häfen 136.
 Offene Seekanäle 209.
 Ölgas 117.
 Organismen, schädliche 15.
 Ortsbestimmung 102.
 Ottersche Blende 125.
 Ozeane 3.

Palwe 47.
 Panamakanal 212.
 Passat 17.
 Patentlog 102.
 Pegel 8.
 Peilen 4. 6.
 Peilkompas 101.
 Personenhäfen 145.
 Pfahlbuhnen 59.
 Pfahlrost bei Kaimauern 170.
 Pfeiftonne 132.
 Pintschscher Unterbrecher 124.
 Pneumatische Getreideförderung 159.
 Polarstrom (Wind) 17.
 Polder 45.
 Poller 173.
 Pontondock 196.
 Pontontore 184. 193.
 Pricken 110.
 Priel 3.
 Prismen (bei Leuchten) 120.

Quadraturen (Gestirnstellung) 35.
 Qualmwasser 67.
 Queraufschleppe 190.
 Quermarkenfeuer 113.

Randmeere 3.
 Reede 140.
 Registertonne 107.
 Richtfeuer 113.
 Rippelmarken 44.
 Robinsons Anemometer 21.
 Roßbreiten 17.
 Ruden, Befestigung der Insel R. 62.

 Sackförderung 161.
 Sackkarren 147.
 Salzgehalt des Meerwassers 8.
 Sandriff 43.
 Sandfangzäune 47.
 Saßnitz, Hafen 197.
 —, Mole 163.
 Saßnitz-Trälleborg, Seefähre 177.
 Schaar 3.
 Schalenkreuzanemometer 21.
 Schallsignale 109. 131.
 Scheinwerferlinsen (für Leuchtfeuer) 122.
 Schiebeter 184.
 Schiffahrtsbetrieb 95.
 Schiffbauanstalten 186.
 Schiffsgrößen 97.
 Schiffsringe 174.
 Schiffsvermessung 107.
 Schlamm 14.
 Schleusen 180.
 Schleusen-Seekanäle 212.
 Schlick 13.
 Schlickpflug 68.
 Schlitten der Hellinge 186.
 Schraubendock 197.
 Schuppen (Kaischuppen) 147.
 Schüttrinnen 153.
 Schwebefähren 209.
 Schwimmdock 194.
 Schwimmerkompas 100.
 Schwimmerpegel 8.
 Schwimmkran 152.
 Schwimmtor 185. 193.
 Schwingkipper 154.
 Scott-Russellsche Formel 76.
 Seebär 24.
 Seebühnen, Hafen 203.
 —, Mole 167.
 Seebühnen 59. 63.
 Seedeiche 65.
 Seefähren 177.
 Seegatt 44.
 Seehäfen 135.
 —, Beispiele 197.
 Seekanäle 206.
 Seemeile 102.
 Seeschiffahrt 95.
 Seeschlamm 14.
 Seeschleusen 180.
 Seetief 44.
 Seetonnen 110. 111. 128.
 Seewasser 11.
 Seezeichen 109.
 Seibtsche Pegel 8. 10.
 Seichen 24.
 Seine, Ausbau der Mündung 94.
 Sektionsdock 195.
 Selbstzeichnende Pegel 8.
 Selenzelle 128.
 Senkungskurve 74.
 Sichtweite 115.
 Sielberechnung 71.
 Siele 68.
 Signalwesen 108.
 Silospeicher 149.
 Sinkkastenbau (bei Molen) 167.
 Sinoidenform der Strommündungen 82.

- Sirenen 132.
 Snelliussches Brechungsgesetz 120.
 Sonnenventil 128.
 Speicher 148.
 Spiegel (bei Leuchtfeuern) 120.
 Spieren (bei Seezeichen) 110.
 Spill 174.
 Springtide 34.
 Spülbecken 137.
 Spülschleusen 180.
 Standlinienverfahren (Nautik) 106.
 Stapellauf 186.
 Stapelung (beim Schiffbau) 186.
 — (bei Docks) 193.
 Staukurve 74.
 Stavoren, Wellenbrecher 162.
 Stechersche Peilvorrichtung 7.
 Steinbuhnen 61.
 Steinkistenbau 164.
 Steinriff 42.
 Steinwall 57.
 Stentorhorn 131.
 Steuerkompas 101.
 Stevensons Windgesetz 19.
 — Wellenformeln 24. 30.
 — Wellenstoßmesser 30.
 Stoßwellen 25.
 Strand 3. 42.
 Strandbühne 59.
 Strandhafer 48.
 Strandvertriftung 42.
 Strandwall 43.
 Strohbestückung 67.
 Strombuhnen 63.
 Strommündungen 74.
 Strömungen an Hafeneinfahrten 138.
 Strömungen im Meere 38.
 Sturmflut 22.
 Sturmwarnung 20.
 Sturzsee 28.
 Suezkanal 209.
 Sumner-Linien (Nautik) 106.
 Syzygien 35.

 Tägliche Ungleichheit (der Tiden) 35.
 Tagzeichen 109. 110.
 Taifun 20.
 Tidebewegung 31.
 Tideströmungen 39.
 Tiefenmessungen 6.
 Tiefnot 6.
 Tiefsee 3.
 Tonnen (Seetonnen) 110.
 Toppzeichen 110.
 Tragweite der Leuchtfeuer 119.

 Tripelspiegel 123.
 Trockendock 191.
 Trockenkompas 100.

U-Dock 194.
 Ufermauern 57.
 Uferschutzwerke 51.
 Umschlaghäfen 136.
 Unterbrecher (bei Leuchtfeuern) 124.
 Unterbrochene Feuer 113.
 Unterwassersignale 133.

 Verankerung der Seetonnen 131.
 Verbindungsdämme 65.
 Verlaat 71.
 Vermessung der Seeschiffe 107.
 Verschlussvorrichtungen der Seeschleusen
 und Trockendocks 184. 193.
 Vorbecken 141.
 Vorbusen 69.
 Vordüne 46.

 Wahres Besteck 104.
 Wanderdüne 46.
 Wärme der Meere 12.
 Wasserkäfer, holzzerstörender 16.
 Wasserstände 2.
 Wasserstandsbeobachtungen 8.
 Watt 3.
 Wechselfeuer 113.
 Weichsel, Ausbau der Mündung 87.
 Wellenbewegung 23.
 Wellenbrecher 137.
 Wellenstoßmesser 30.
 Wellentheorie 25.
 Wendelrutschen 161.
 Weser, Ausbau der Mündung 92.
 Wetterm 68.
 Wiederkehr (bei Leuchtfeuern) 113.
 Wildsches Anemometer 20.
 Wind 16.
 Windrose 100.
 Windstärken 21.
 Windstau 22.
 Windzonen 17.
 Winterhäfen 135.
 Wrackfeuer 113.

 Ymuiden, Hafen 200.

 Zuckerspeicher 161.
 Zufluchthäfen 135.
 Zünduhr (bei Leuchtfeuern) 128.
 Zyklone 19.