

26.

INTERNATIONALER STÄNDIGER VERBAND
DER
SCHIFFFAHRTS-CONGRESSE

X. CONGRESS-MAILAND-1905

II. Abteilung : Seeschifffahrt
4. Frage

**Bauart der äusseren Molen der Häfen mit Rücksicht
AUF
die Gewalt der Wellen, denen sie widerstehen müssen.
SCHÄTZUNG DIESER KRAFT**

BERICHT

VON

Leveson Francis VERNON-HARCOURT

Bachelier ès lettres, Mitglied des Instituts der Civilingenieure von London

NAVIGARE



NECESSE

BRÜSSEL

BUCHDRUCKEREI DER ÖFFENTLICHEN ARBEITEN (GES. M. B. H.)
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905



II-354262

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316870

UNTERSUCHUNG
ÜBER DIE
Verhältnisse, welche auf die Gewalt der Wellen Einfluss haben

**Schlussfolgerungen, die sich daraus für den Bau
der Molen ergeben**

BERICHT

VON

Leveson Francis VERNON-HARCOURT

Bachelier ès-lettres, Mitglied des Instituts der Civil Ingenieure von London

Bei dem Schiffahrtskongress, der im Jahre 1900 in Paris stattfand, legte der Verfasser einen Bericht über die neuesten, in einigen der bedeutendsten englischen Häfen ausgeführten Bauten vor. Hier möchte er diesen Bericht nur durch eine kurze Untersuchung über die Verhältnisse, welche auf die Gewalt der Wellen an der Küste Einfluss haben sowie über die neuesten Fortschritte im Bau der Dämme, die ihren Anprall aushalten müssen, ergänzen.

Verhältnisse, welche auf die Gewalt der Wellen Einfluss haben.

Die Gewalt der Wellen hängt von ihrer Höhe, ihrer Länge im Scheitel und ihrer Fortbewegungsgeschwindigkeit ab; ihre Abmessungen werden bestimmt durch die Entfernung des in Frage kommenden Punktes vom nächsten Lande in der Richtung, aus welcher die heftigsten Winde wehen, und durch die Wassertiefe vor der Küste. Es folgt hieraus, dass die grössten Wellen an den Stellen entstehen, wo die Ausdehnung des freien Meeres am grössten ist, wo die anhaltenden und heftigen Stürme am vollständigsten wirken können und wo die grossen Wassertiefen bis an die Küste herantreten. So erreichen die Wellen Maximalhöhen von 3 m auf dem Genfer See, von 5 m auf dem Mittelmeer, von 7 m im Busen von Gascogne, von 12 m im

Atlantischen Ozean, und von 15 bis 18 m am Kap der Guten Hoffnung im Stillen Ozean, dem exponiertesten Orte der Erde, der von der ausgedehntesten Wasserfläche umgeben ist. Die Scheitellänge der Wellen hat keine bestimmte Beziehung zu ihrer Höhe; sie ergibt sich wahrscheinlich aus der Vereinigung kürzerer Wellen während ihres Laufes, aber sie hängt von der freien Lage ab; während Längen, welche während eines Sturmes mitten im Atlantischen Ozean beobachtet wurden, 170 m. nicht überschritten, sind Wellen von 180 bis 300 m bei Stürmen im Stillen Ozean nichts Ungewöhnliches. Ebenso ist es mit der Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Wellen, die auf der Höhe von Kap Horn im Allgemeinen 36 km in der Stunde beträgt. Die Wirkung der Stürme hängt natürlich von ihrer Heftigkeit und der Entfernung ab, auf der das Meer ohne Hindernis ihrer Wirkung ausgesetzt ist; die grössten Wellen erreichen indessen die Küste oder den davor liegenden Damm nur, wenn grosse Tiefen bis an das Land reichen. Wenn Untiefen oder Sandbänke sich in der Nähe der Küste befinden, so brechen sie die Wellen.

Die Höhe und die Kraft der Wellen wachsen, wenn sie sich in eine trichterförmige Bucht ergiessen, die den heftigsten Winden zugekehrt ist. Der Busen von Wick in Schottland und derjenige von Genua sind hierfür vorzügliche Beispiele; in letzterem erreichen die Wellen bei den stärksten Stürmen eine Höhe von $6 \frac{1}{2}$ m.

Die Gezeiten haben insofern Einfluss auf die Wirkung der Wellen, als sie die Stelle, wo der stärkste Anprall an einen Damm stattfindet, je nach der Höhe der Ebbe und Flut verschieben. Der Anprall nimmt sehr an Stärke zu, wenn ein Damm aus Steinschüttung besteht, und der untere Teil der äusseren Böschung erfordert einen ganz besonderen Schutz gegen die zerstörende Wirkung des Meeres. Eine stark gegen die Fortbewegungsrichtung der Wellen laufende Ebbe- oder Flutströmung vermehrt die Bewegung einer unruhigen See.

Messung der Kraft der Wellen.

Die Kraft der Wellen, welche sich an einem Hindernis brechen, zeigt sich augenfällig an den Zerstörungen die von Zeit zu Zeit an den ihnen stark ausgesetzten Bauten vorkommen. Bei Orkanen von ausnahmsweiser Stärke scheinen diese Kräfte fast unwiderstehlich zu sein, obwohl die festgestellten

Schäden im Allgemeinen einer andauernden Einwirkung des Meeres zugeschrieben werden müssen, das an einem schwachen Punkte des Werkes seine Zerstörungsarbeit beginnt und dann Schritt für Schritt weitere Schäden verursacht. Man hat zuweilen versucht, die Kraft der Wellen nach den bewirkten Zerstörungen zu schätzen; aber nur in ganz besonderen, sehr seltenen Fällen hat man so zu Schätzungen kommen können, die sehr roh waren.

Es giebt ein anderes Verfahren, das wenig bekannt sein dürfte; es verdient indessen allgemein angewendet zu werden. Dasselbe besteht in der direkten Messung des Anpralls der Wellen durch einen Registrierapparat, der ihrer Wirkung ausgesetzt wird, genau so wie die Kraft des Windes in den Observatorien durch das Ostler'sche Platten-Anemometer gemessen wird. Das Instrument, wie es vor langer Zeit von dem verstorbenen Thomas Stevenson in Edinburg angegeben wurde, ist ganz aus Eisen gefertigt. Es besteht aus einer dem Meere zugekehrten Scheibe, die von vier an ihrer Hinterseite senkrecht zu ihr befestigten Stangen gehalten wird. Diese Stangen gehen durch einen an einem Felsen oder einer Mauer befestigten Zylinder hindurch. Wenn die Scheibe von einer Welle getroffen wird, so werden die Stangen durch den Zylinder hindurchgedrückt; hierdurch wird eine Feder auseinandergezogen, die einerseits an dem Deckel des Zylinders, und andererseits auf etwa der halben Länge des im Zylinder befindlichen Teiles der Stangen befestigt ist. Ein lederner Ring umgiebt jede Stange; er befindet sich zunächst am Boden des Zylinders, was ihn verhindert mit seiner Stange im Augenblicke des Wellenanpralles zurückzuweichen; er kommt jedoch mit der Stange nach vorn, wenn die Feder die Scheibe in ihre Normalstellung zurückschiebt. In dieser Stellung giebt die Entfernung der Ringe vom Boden des Zylinders das Maas für die Formveränderung der Feder an und ermöglicht die Schätzung der Kraft, welche auf die Scheibe gewirkt hat.

Die mit diesem Seekraftmesser gemachten Beobachtungen haben Stosskräfte von 33 bis 39 t auf 1 qm ergeben und zwar an zwei auf der West- und der Nordküste von Schottland im Atlantischen Ocean gelegenen Plätzen; an der Ostküste, in der Nordsee, ergaben sich nur halb so hohe Ziffern.

Die japanische Regierung, deren Aufmerksamkeit auf diesen Kraftmesser durch die Beschreibung des Erfinders in seinem 1885 erschienenen Buche *Harbours and Docks* gelenkt war, beauftragte vor kaum 10 Jahren Sir William H. Bailey in Man-

chester mit der Herstellung eines solchen Instrumentes. Beim Brüsseler Schiffahrts-Kongress i. J. 1898, legte Bailey der II. Sektion einen kurzen Bericht vor, welcher Zeichnungen des für Japan gebauten Instruments enthielt, darunter auch solche von mehreren von ihm erfundenen Verbesserungen. Er gab darin ausserdem die Mittel an, die Angaben des Kraftmessers graphisch zu registriren.

Der Verfasser glaubt, dass die Beobachtungen über die Kraft der Wellen bei Stürmen, wie sie an verschiedenen Stellen der Küste mit einem verbesserten Kraftmesser gemacht sind, zusammen mit den Feststellungen über den Winddruck an denselben Stellen einen bedeutenden Wert haben. Solche Beobachtungen könnten als Grundlage für das wissenschaftliche Studium der Kraft der Wellen in ihren Beziehungen zur Lage der betreffenden Stellen, der Kraft und der Richtung des Windes dienen. Es dürften sich daraus sehr wertvolle Aufschlüsse darüber ergeben, von welcher Stärke die Dämme zu bauen sind, um ihre Widerstandskraft der Stärke der Einwirkungen anzupassen, welchen sie unterworfen sind. Diese Stärke wechselt mit dem Ort; es ist erwünscht, diesem Umstande beim Bau der Dämme Rechnung zu tragen. Das haben die Ingenieure verabsäumt, welche 1849 die Mole von Alderney gegen den Ozean bauten, und dabei die von Sainte-Catherine, an der Ostküste der Insel Jersey zum Muster nahmen, welche durch die nahe französische Küste wohl geschützt ist. Auf diesen Fehler ist durch den Verfasser in seiner Untersuchung über den Hafen von Alderney hingewiesen, die er i. J. 1873 im Institut der Civil-Ingenieure Londons vortrug.

Fortschritte im Bau der Dämme.

Seit etwa einem halben Jahrhundert hat man Molen von jedem der drei bekannten Type, die jetzt üblich sind, gebaut, nämlich: 1) den Damm aus natürlichen oder künstlichen Steinblöcken; 2) die senkrechte Mauer; 3) die Verbindung der beiden ersten Type, bestehend aus einer senkrechten Mauer auf einer Unterlage von natürlichen oder künstlichen Steinblöcken. Die in den letzten Jahren durchgeführten Verbesserungen bestanden in Aenderungen in der Anordnung und der Grösse der Betonblöcke, welche die Unterlage bildeten; in der Tiefe, bis zu der die obere auf eine steinige Unterlage gegründeten Mauer reicht und in der Bauart und der Widerstandsfähigkeit der senkrechten Mauern.

Steindämme.

Für die aus einem einfachen Steinwall gebildeten Dämme lässt sich kein bestimmtes Profil aufstellen. Das Meer selbst formt sie und giebt der äusseren Böschung ihre Gestalt. Diese Bauweise veranlasst eine Materialverschwendung, die nur gerechtfertigt ist, wenn viel Steine vorhanden sind und wenn die Anfertigung und Verlegung von Betonblöcken teurer sein würde. Ein Wall aus Bruchsteinen bedeckt eine beträchtliche Fläche am Meeresboden; diese Fläche wächst ebenso wie die Masse des Materiales schnell mit der Ebbe- und Flutstärke, und zwar infolge der schwachen Neigung, welche der Teil der Böschung zwischen dem Hoch- und Niedrigwasserstande unter der Einwirkung der Wellen annimmt.

Der Damm aus sortierten Steinen, bei dem die kleineren Stücke innen, die grösseren aussen liegen, und dessen äussere Böschung mit sehr grossen Steinen oder Betonblöcken verkleidet ist, widersteht am besten dem Anprall der Wellen. Ebenso widerstandsfähig ist ein Damm aus Betonblöcken; er ist besonders da angebracht, wo man keine grossen Steine erlangen kann und wo die kleineren teuer sind. Wenn aber die Bruchsteine leicht zu haben sind, so ist es am billigsten, daraus den Körper oder doch den Kern des Dammes zu bilden und ihn auf der Seeseite oder auf beiden Seiten mit künstlichen Blöcken zu verkleiden.

Uebrigens ist es für einen nur aus Betonblöcken gebildeten Damm, sofern nicht der Untergrund weich und leicht unterwaschbar ist, vorteilhafter, sie in Form einer senkrechten Mauer anzuordnen, als sie buntdurcheinander ins Meer zu werfen. Die Zunahme in der Grösse der Blöcke, welche durch die Verbesserung der Maschinen zu ihrer Beförderung und Verlegung ermöglicht wurde, hat natürlich ihre Festigkeit und Widerstandskraft vermehrt.

Es ist festgestellt, dass die Betonblöcke, welche die äussere Böschung eines Dammes schützen sollen, weniger leicht durch die Wellen verschoben werden, wenn sie flach in Stufen verlegt werden, wie in mehreren italienischen Häfen, z. B. in Genua und Civita-Vecchia, als wenn sie einfach durcheinander auf die Böschung geworfen werden.

Molen oder Dämme in Form senkrechter Mauern.

Diese Form des Dammes ist diejenige, welche der Gewalt der Wellen am besten widersteht. Obwohl nämlich die senkrechte Mauer den Anprall der Wassermasse auszuhalten hat, der mit der Grösse und der Geschwindigkeit der Welle wächst, so braucht die Welle doch nicht zu zerschellen, ehe sie den Damm erreicht, wie bei den Stein- und gemischten Dämmen, deren Böschung sich bis weit in die Zone der Wellenwirkung hinein erstreckt. Indem sich die Welle an den vorgelagerten Steinen bricht, übt sie auf eine kleinere Fläche eine verstärkte und um so verderblichere Wirkung aus.

Der schwache Teil einer Mole oder senkrechten Mauer liegt bei den Meeren ohne Ebbe und Flut in der Höhe des Wasseroberfläche, bei denen mit Ebbe und Flut in der Höhe des Niedrigwasserstandes bei Springflut; er verlängert sich nach unten, wo die Mole noch dem Anprall der Welle ausgesetzt ist, wo indessen die immer im Wasser liegenden Blöcke nicht durch Zementmörtel verbunden werden können, wie im höher gelegenen Teil.

Unter den neuesten Fortschritten sind zu nennen: die Vergrösserung der Blöcke und ihre Verbindung unter Wasser durch eine Reihe von Dübeln aus Betonsäcken, die in Rinnen verlegt werden, welche längs der Blöcke zu beiden Seiten ihrer Berührungsstellen laufen. Diese Anordnung hat man in Dover und Colombo (Ceylon) gewählt, ebenso auch in Mormugao in Indien, wo sie noch durch Verwendung eiserner, die benachbarten Blöcke verbindende Klammern verstärkt ist. Bei anderen Molen ist ein fester Hauptkörper unter Wasser gebildet worden, indem man Betonsäcke mit Hilfe besonderer Fahrzeuge mit trichter- oder brunnenartigem Versenkungsschacht in's Wasser liess. Hierbei verhindern die Säcke das Auswachsen des Zements vor dem Abbinden; der Druck der übereinander geschichteten Säcke, presst genügend Zement heraus, um die sich berührenden Oberflächen-Teile so zu verbinden, dass das Ganze zu einem zusammenhängenden Körper abbindet. Man führt ihn bis etwas über Wasser hoch und baut darauf den oberen Teil der Mole aus Beton der ausserhalb des Wassers in Kästen geschüttet wird. Die Mole von Newhaven sowie diejenigen, welche jetzt an der Mündung des Wearflusses vollendet werden, um die Zufahrten zum Hafen von Sunderland zu schüt-

zen, sind Beispiele solcher aus einem Stück bestehender, nach dem geschilderten Verfahren erbauter Molen. Bei felsigem oder kreidigem Grund bietet der Beton ausserdem den Vorteil, dass ein kostspieliges Ebnen des Untergrundes für die Mole überflüssig wird, wie es in Dover mittels Taucherglocken ausgeführt wurde. Man muss jedoch beachten, dass das Verlegen von Betonsäcken unter Wasser mit grosser Vorsicht geschehen muss, damit ein vollständiges Abbinden des Betons stattfindet und ein regelmässiger und festzusammenhängende unterseeischer Körper gebildet wird. Wenn aber diese wesentlichen Bedingungen erfüllt sind, ergibt der Beton in Säcken wenigstens ebensogute Resultate wie die aufs sorgfältigste verlegten und verbundenen Betonblöcke: dabei ist ihre Verwendung viel billiger und die Ausführung der Arbeit geht schneller, besonders bei unregelmässigem und felsigem Grund.

Die sehr grossen Blöcke, welche in Kästen hergestellt werden, eignen sich besonders durch ihre ungeheure Masse dazu, der Wirkung der Wellen zu widerstehen; sie ermöglichen die schnelle Ausführung eines Dammes oder einer Mole. Man hat sie für den unteren Teil der auf einem Untergrunde von Stein aufgeführten Mauer auf der Westmole von Bilbao und als Basis für die Mole des Hafens von Zeebrügge, am Eingang des Seekanals von Brügge, verwendet, wo man ihnen ein Gewicht von 1.300 bezw. 3.000 t gab. Diese Riesenblöcke werden in Bilbao aus kleineren Blöcken und dazwischen gegossenem Beton gebildet, während in Zeebrügge kastenförmige Stahlgestelle auf einem Bauhof mit Beton bekleidet worden sind, von wo man sie schwimmend bis an die Verwendungsstelle bringt. Hier werden sie verlegt und mit Beton gefüllt, der aus Förderkästen mit Klappen an der unteren Seite in sie hineingeschüttet wird. Jeder dieser Blöcke bildet mit dem entsprechenden über Wasser ausgeführten Teil der Mauer *ein* Stück, das sich ganz unabhängig setzen kann, bis es seine endgültige Stellung gefunden hat.

Alle bisher beschriebenen Bauarten der Molen erfordern teure Einrichtungen und passen nicht für kleine Fischereihäfen, die über sehr beschränkte Mittel verfügen. Vor einigen Jahren gelang es indessen dem Verfasser, eine kleine Mole aus Beton zu bauen, deren Grund 3,66 m unter Niedrigwasser bei Springflut lag, und die dank einem besonderen Verfahren sehr billig war; Ein kastenförmiges Gestell wurde bis etwas über Niedrigwasser hochgeführt und mit einem Juteüberzug bekleidet. Es wurde nun mit Beton gefüllt, der mittels eines hölzernen Förderkastens mit Bodenklappen unter Wasser ausgegossen wurde; die

Bewegung des Förderkastens erfolgte durch einen kleinen Handkrahnen; auf diesem Unterbau wurde der Oberbau trocken ausgeführt, und zwar in einem zweiten kastenartigen Gestell, mittels grosser Steine, welche so in Beton eingebettet wurden, dass die ganze Mole ein Stück Beton bildete, das an Ort und Stelle hergestellt war. Um aber die unangenehmen Risse zu vermeiden, welche man im Allgemeinen bei Betonbauten von grossem Umfang bemerkt, und die durch die Temperaturschwankungen hervorgerufen werden, wurde der Oberbau während des Baues durch feine senkrechte Schlitze in verschiedene Stücke zerlegt. Um Baumaterial zu sparen, wurde die Mole am Anfang ziemlich schwach angelegt, die Stärke nahm aber nach der See hin zu, d. h. mehr oder weniger proportional der Kraft der Wellen, denen sie widerstehen sollte.

Früher hat man oft eine Mole aus einer Quaimauer und einer äusseren Schutzmauer gebaut, und den Raum zwischen ihnen mit Steinen ausgefüllt, was ermöglichte, oben auf der Mole einen breiten Quai anzulegen. Da nun die äussere Mauer natürlich schwächer war, als wenn sie allein gebaut wäre, so ergab sich, dass bei einem starken Sturm die See leichter zu einem schwachen Punkt dringen konnte; die Erweiterung der Bresche und die Zerstörung der inneren Steinschüttung wären dann nur eine Frage der Zeit gewesen. So wurden z. B. die Molen von Colombo und Alderney nach diesem System gebaut; man machte aber bald massive Mauern aus ihnen, damit sie dem Anprall der Wellen, denen sie ganz besonders ausgesetzt waren, standhalten könnten.

Eine hohe Brustwehr vermehrt die Gewalt des Anpralles der Wellen, weil die Oberfläche, welche getroffen wird, grösser ist, denn nähme man die Brustwehr fort, so könnte ein Teil der Welle über die Mole in den Hafen dringen, ohne der Mauer zu schaden und ohne in merkbarer Weise ihre Schutzwirkung zu vermindern. Im Jahre 1897 wurde der Verfasser über den Wiederaufbau einer Mole im Hafen von Newcastle (Dundrumbucht, Irland), befragt, die ursprünglich in der Form einer doppelten Mauer mit Zwischenfüllung ausgeführt war; sie hatte eine Brustwehr von ungewöhnlicher Höhe gehabt; seit langen Jahren lagen ihre Trümmer im Hafen. Der Verfasser schlug für die neue Mole den Bau einer vollen, massiven Mauer aus den im Hafen umherliegenden Steinen vor, jedoch ohne Brustwehr (1).

(1) Report on Newcastle Harbour, Dundrum Bay, to the Grand Jury of the County Down; by L.-F. Vernon-Harcourt, Belfast, 1897.

Ein anderer Uebelstand einer hohen Brustwehr liegt darin, dass sie den Rückslag der Wellen verstärkt, die auf der der See zugekehrten Seite emporbranden ; hierdurch wird das Auswaschen des Bodens und der Steinschüttung am Fusse der Mauer begünstigt. Nebenbei bemerkt ist es in jedem Falle notwendig, den Grund und Boden vor der Mole durch eine Verkleidung aus Betonblöcken oder -Säcken zu schützen. Der Wegfall der Brustmauer beraubt zwar den Quai oben auf der Mole seines Schutzes ; aber es ist zu beachten, dass selbst eine hohe Mauer gegen die bei einem starken Sturm anbrandenden Wogen keinen wirksamen Schutz gewährt und dass der Zugang zum Leuchtfeuer am Molenkopf durch den Bau eines gedeckten Ganges unter dem Quai ermöglicht werden kann, eine Anordnung wie sie bei den Molen von Sunderland und am äussersten Teil der Mole von Zeebrügge getroffen ist.

Zusammengesetzte Dämme mit Fuss aus Steinschüttung.

In der Theorie ist es vielleicht erwünscht, alle Dämme vom Meeresboden bis zum Scheitel als massive senkrechte Mauern auszuführen, da diese Form, wie wir sahen, der Wirkung der Wellen weniger ausgesetzt ist, als ein Damm mit Steinschüttung. Die Gründung direkt auf den natürlichen Boden ist aber um so schwieriger und teurer, je grösser die Tiefe ist ; sie wird unausführbar für sehr grosse Tiefen, wie sie bei der Mole von Algier (über 30 m) und bei der von Alderney angetroffen wurden, wo man bis 40 1/2 m unter Niedrigwasser bei Springflut hinabging. Uebrigens wäre, wenn der Meeresboden wenig fest und leicht wegschwemmbar ist, eine senkrechte Mauer von grosser Höhe in hohem Maasse Senkungen und Unterwaschungen unterworfen.

Die wesentlichen Bestandteile eines zusammengesetzten Dammes sind : 1) ein festes Fundament aus natürlichen Steinen oder Betonblöcken, das sich bis zur Höhe des Niedrigwassers erhebt, wenn es durch grosse Blöcke gesichert ist. Handelt es sich um Schüttungen aus natürlichen Steinen, so wird das Fundament so niedrig angelegt, dass es der Wirkung der Wellen nicht mehr unterliegt.

2) eine senkrechte den Oberbau bildende Mauer.

Das Fundament vermindert die Tiefe, in der mit dem Bau der senkrechten Mauer begonnen werden muss und diese erfordert ihrerseits bedeutend weniger Material für die festgelegte Höhe als ein einfacher Steinwall ; ausserdem stellt sie den Angriffen der See einen festzusammenhängenden Bau entgegen. Dies System leidet indessen an zwei Uebelständen, der Sackung der

Fundamente unter dem Gewicht des Oberbaues und der Gefahr von Unterspülungen infolge der Brandung der Wellen, welche an der äusseren Mauerwand zurückschlagen. Wenn man diese Teile aus grossen Betonblöcken zusammengesetzt, kann man ihnen eine genügende Festigkeit und eine höhere Widerstandsfähigkeit geben, als diejenigen aus natürlichen Steinen besitzen. Bisher sind indessen die einzigen Beispiele dieser Bauart die äussere Mole von Livorno (Italien) und eine der Molen von Saint-Jean-de-Luz (Frankreich).

Anfangs begann die obere Mauer der zusammengesetzten Dämme in der Höhe des Niedrigwassers zur Zeit der Springflut, damit man sie ganz in Mauerwerk ausführen konnte. Um aber die Unterspülungen der Mauer zu verhüten, ging man dazu über, den Fuss der Mauer allmählich in immer grössere Tiefen zu legen. So ging man in Alderney auf 3,66 m im oberen und 7,32 m im äussersten Teil hinab; in Colombo bei der Süd-West-Mole von 4,27 m an der Küste auf 4,88 m, dann 6,10 m und schliesslich auf 7,24 m am Molenkopf; beim Oberbau der Nordwestmole, die später gebaut wurde, sogar auf 9,37 m unter Niedrigwasser. Im Hafen von Peterhead (Schottland), der jetzt im Bau ist, wird der vordere Teile der Mole von einer senkrechten Mauer gebildet, die im tiefen Wasser durch einen zusammengesetzten Damm fortgesetzt wird, dessen Oberbau nach dem Entwurf bis 9,14 m unter Niedrigwasser hinabreichen sollte. Als sich aber nach Fertigstellung des ersten Teiles ergab, dass die Wirkung des Wellenrückschlags noch in einer Tiefe von 11,12 m bei heftigen Stürmen fühlbar war, wurde der Oberbau des zweiten Teiles bis zu 12,10 m unter Niedrigwasser hinabgeführt.

Senkungen finden bei allen Fundierungen aus Steinen statt, wenn sie die Last des Oberbaues aufnehmen; wird damit stufenweise vorgegangen, so ergeben sich ungleichmässige Senkungen und infolge davon Risse, durch welche die Wellen eindringen und ihr Zerstörungswerk beginnen können. Um die Risse zu vermeiden, hat man bei verschiedenen Dämmen den Bau in schrägen Schichten ausgeführt, ein Verfahren das zuerst i. J. 1870 in Indien, im Hafen von Karachi, angewendet und 1876 in Madras wiederholt wurde. Bei demselben besteht der Oberbau aus einer Reihe schrägliegender Schichten, die aus grossen Betonblöcken hergestellt werden, deren Verlegung durch einen drehbaren auf dem fertigen Teil aufgestellten Krahn erfolgt. Bei diesem System lehnt sich jede Schicht an die vorhergehende an, kann aber frei gleiten und so der Sackung der Steinschüttung folgen, auf der sie ruht. In Karachi

und Madras bestand jede Schicht einfach aus zwei Reihen übereinandergeschichteter Blöcke ; die beiden Reihen waren durch eine zur Achse der Mole senkrechte Fuge getrennt ; eine Verbindung zwischen den aufeinanderfolgenden oder benachbarten Reihen bestand nicht, in Karachi sogar nicht zwischen den verschiedenen Blöcken derselben Reihe ; das hatte nun, wie vorauszuschauen war, zur Folge, dass sich bei sehr heftigen Stürmen einige Blöcke verschoben. Bei den neueren Molenbauten, z. B. in Mormugao und Colombo und in den äusseren, kürzlich hergestellten Anbauten der Molen von Madras sind die Blöcke jeder Schicht in Querreihen verlegt, die mit einander verbunden sind ; die Blöcke jeder Reihe sind durch Dübel und die der obersten Reihe durch eiserne Klammern mit einander in Verbindung gebracht. Nachdem das Setzen aufgehört hatte, wurden die nebeneinanderliegenden Schichten verbunden, indem man an bestimmten Stellen befindliche Rinnen mit Beton in Säcken ausfüllte ; das Ganze wurde schliesslich mit einem dicken zusammenhängenden Ueberzug aus Beton versehen, der an Ort und Stelle festgestampft wurde. Bei der Westmole der Bucht von Bilbao blieben die Blöcke in Kästen und der entsprechende Teil des Oberbaues ohne Verbindung bis nach vollständiger Sackung ; erst danach wurden die Zwischenräume durch Vergiessen mit Zement-Beton ausgefüllt. Schliesslich wurde das Werk mit einer fortlaufenden Brüstung versehen.

Manchmal wird ein Damm aus künstlichen Steinen an das äussere Ende einer Mole angesetzt, um den Anprall der Wellen abzuschwächen. Solche Schutzdämme kamen in Indien in Mormugao und bei der Wiederherstellung der Mole von Madras zur Ausführung ; in Europa sind die Molen von Ymuiden auf dieselbe Weise gesichert worden. Es wäre, nach Ansicht des Verfassers, zweckmässiger einen Teil der für diese Bauten bestimmten Materialien zur Verstärkung der Mole selbst zu benutzen, wo sie wirksamer wären und länger vorhalten würden.

Schlussfolgerungen.

1) Die Kraft der Wellen hängt davon ab, wie der in Frage kommende Punkt zum Meere liegt, und wie tief das Wasser an der betreffenden Stelle ist. Es scheint sehr zweckmässig, an verschiedenen Stellen direkte Messungen dieser Kraft durch

ein dem Winddruckmesser im Prinzip ähnliches Instrument anzustellen.

2) Der schwächste Teil einer Mole oder einer senkrechten Mauer erstreckt sich vom Meeresspiegel oder von dem des Niedrigwassers bei Springflut bis zu einer Tiefe, die mit der Stärke der Wellen wächst; dieser Teil ist nämlich dem vollen Wellenanprall ausgesetzt und muss ohne Mörtel, gebaut werden.

3) Die Dämme, welche den Wellen am besten Widerstand leisten, bestehen aus einem Unterbau aus Betonblöcken, die ein Stück bilden und mit Hilfe von Kästen oder Rahmen gefertigt werden. Darüber kommt ein Oberbau aus Beton, der an Ort und Stelle verlegt wird. Man kann auch feste Fundamente erhalten, indem man sie aus Betonblöcken zusammensetzt, die sorgfältig verlegt und unter Wasser verbunden werden; sie werden durch Betonsäcke verdübelt, mit denen man die ausgesparten Rinnen zwischen ihnen ausfüllt, und durch eiserne Klammern zusammengehalten.

4) Der Oberbau eines zusammengesetzten Damms muss bis zu einer Tiefe hinabgeführt werden, in der die Wellen die ihm als Unterlage dienenden Steine nicht mehr verschieben und Unterspülungen nicht verursachen können.

5) Das ungleichmässige Setzen, welches in einem zusammengesetzten Damm vorkommt, kann unschädlich gemacht werden, wenn man schrägliegende Steinschichten oder eine Reihe von einander unabhängiger, *ein* Stück bildender Abschnitte herstellt, die man nach vollkommenem Aufhören der Bewegungen verbindet.

30. Dezember 1904.

L.-F. VERNON-HARCOURT.
