

SCHIFFBAUTECHNISCHE GESELLSCHAFT

XV. ORDENTLICHE HAUPTVERSAMMLUNG.

BERLIN, DEN 20. BIS 22. NOVEMBER 1913.

Bedeutung und Messung der Stabilität von Seeschiffen.

Vorgetragen

von

Dr.-Ing. Carl Commentz - Hamburg.

Nachdruck ohne Genehmigung des Vorstandes der Schiffbautechnischen Gesellschaft
nicht gestattet.

SCHIFFBAUTECHNISCHE GESELLSCHAFT.

XV. ORDENTLICHE HAUPTVERSAMMLUNG.

BERLIN, DEN 20. BIS 22. NOVEMBER 1913.

Bedeutung und Messung der Stabilität von
Seeschiffen.

Vorgetragen

von

Dr.-Ing. Carl Commentz - Hamburg.

*Nachdruck ohne Genehmigung des Vorstandes der Schiffbautechnischen Gesellschaft
nicht gestattet.*

ISBN 978-3-662-24504-0 ISBN 978-3-662-26648-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-26648-9

*Als Manuskript gedruckt. — Nachdruck ohne Genehmigung des Vorstandes der
Schiffbautechnischen Gesellschaft nicht gestattet.*

Bedeutung und Messung der Stabilität von Seeschiffen.

Vorgetragen von Dr.-Ing. Carl Comments-Hamburg.

Mannigfache Erörterungen in der Presse und in den beteiligten Kreisen zeigen, daß in der letzten Zeit das Interesse an der Stabilität der Seeschiffe im Wachsen begriffen ist und daß die mit dieser Frage verknüpften Schwierigkeiten keineswegs als gelöst betrachtet werden dürfen. Daß man der für die Sicherheit der Schifffahrt so wichtigen Angelegenheit in früheren Jahren verhältnismäßig gleichgültiger gegenübergestanden hat, liegt zum Teil darin begründet, daß erst Untersuchungen über Verluste im letzten Jahrzehnt einen gewissen Anhalt für die Vermutung geliefert haben, daß eine große Anzahl derselben auf mangelnde Stabilität zurückzuführen ist. In einigen dieser Fälle wurde die unzureichende Stabilität bewiesen, und daraus ergaben sich Entschädigungsablehnungen seitens der Assekuranzgesellschaften, welche teilweise anerkannt wurden. Andere Schiffe haben sich im praktischen Gebrauch als nicht genügend stabil erwiesen und fahren fortwährend oder häufig Ballast; dadurch geht ein Teil ihrer Verdienstkraft verloren und zwar gerade derjenige, welcher den Gewinn bringen soll. Ein erhöhtes aktuelles Interesse gewinnt die Stabilitätsfrage noch dadurch, daß technische Fortschritte der letzten Zeit eine Höherlegung der Gewichtsschwerpunkte bewirkten, z. B. die Anordnung der stärksten Verbände im höchsten Deck, die Einführung von leichten Maschinenanlagen und Wasserrohrkesseln und die Vermehrung der Boote. Außerdem steigert sich die Geschwindigkeit der großen Passagierdampfer immer mehr und damit das Verhältnis von Länge zur Breite.

Die Gefahren, welche einem Seeschiff in Hinsicht auf seine Stabilität drohen, sind verschiedener Art. Zu unterscheiden sind äußere, vor allem Seegang und Wind, und innere, welche in den Schiffstypen sowie Art und Stauung ihrer Ladung, freien Oberflächen und Eindringen von Wasser begründet sind.

Der heute weitaus vorwiegenden Dampfschifffahrt tritt als Stabilitätsgefahr zunächst der Seegang entgegen. Die Einwirkungen des Seeganges rufen bekanntlich nur dann gefahrdrohendes Rollen der Schiffe hervor, wenn zwischen der

Eigenschwingungsperiode des Schiffes und der Wellenperiode Übereinstimmung herrscht; die Untersuchungen können also im wesentlichen auf diesen Fall beschränkt bleiben. Eine gefährliche Übereinstimmung beider Schwingungsdauern kann nur eintreten, wenn das Schiff für kleine und große Winkel isochron schwingt. Wenn ein freies System pendelartig isochron schwingt, müssen die Beschleunigungen und mithin die Kräfte den Ausschlagswinkeln proportional sein, da auch die Geschwindigkeiten es sind. Es müssen also für schlingernde Schiffe die Kurven der Hebelsarme der statischen Stabilität in einer Geraden verlaufen, wenn man den Wasserwiderstand unberücksichtigt läßt. Zur Überwindung des Wasser-

widerstandes sind Zusatzkräfte erforderlich, welche schneller als die Winkel wachsen, es ergibt sich hieraus nach Fig. 1a der Verlauf der Hebelsarme, welcher für isochrone Schwingungen günstig ist; konvexe Kurven ergeben für große und kleine Winkel verschiedene Schwingungszeiten und die Übereinstimmung mit der theoretisch gleichmäßigen Wellenperiode hört bei größeren Winkeln auf. Über die praktische Bedeutung dieser Beziehungen habe ich leider nichts feststellen können, da die veröffentlichten Schlingerkurven sich nur bis 12—15° nach jeder Seite erstrecken, Berichte über tatsächliche Schwingungen dagegen bis 25° und weiter reichten.

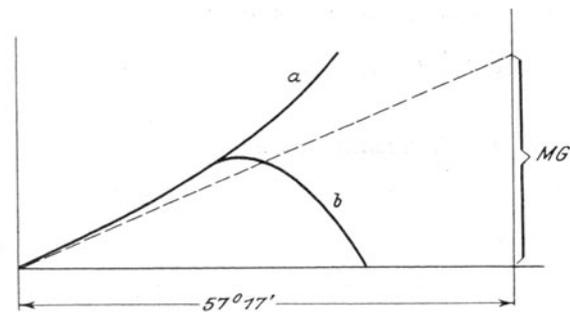


Fig. 1.

Tritt infolge gleichmäßigen Seeganges und dazu passender Eigenschwingungsdauer des Schiffes Übereinstimmung ein, so ist zu untersuchen, wie sich der Verlauf der auf das Schiff wirkenden kenternden und stützenden Momente gestaltet. Fig. 2 zeigt die Ausschläge eines Schiffes für den Fall der Resonanz. Gleich im

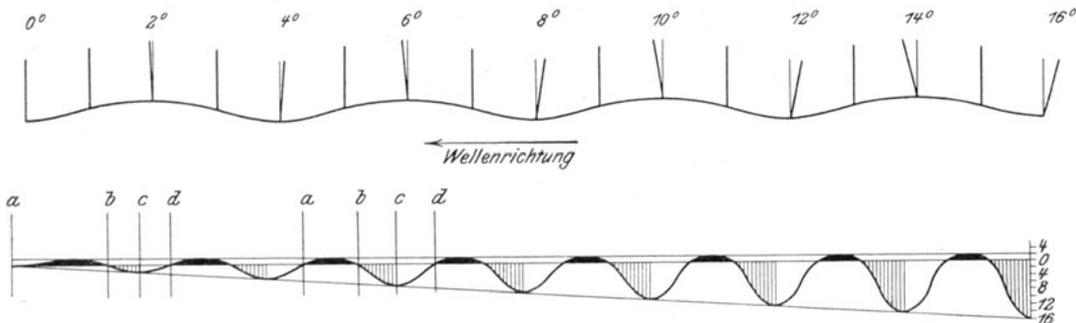


Fig. 2.

Anfange der Einwirkung bleibt das Schiff hinter der Welle zurück, bis eine Phasenverschiebung von etwa 90° zwischen Schiffs- und Wellenschwingung erreicht ist. Im weiteren Verlauf bleibt diese Phasenverschiebung. Im unteren Teil der Abbildung ist der Verlauf der Winkel zwischen Schiff und Wasseroberfläche skizziert. Falls die zum Schiff gehörige Hebelsarmkurve im untersuchten Bereich gerade verläuft, sind die Kräfte den Winkeln proportional. Aus der Skizze ist ersichtlich, daß die Größe der kenternden Kräfte (schwarz) stets durch die Wellenschräge bestimmt ist, welche in ihrer wirksamen Größe auch in extremen Fällen kaum über $5-7^\circ$ geht. Den kenternden Kräften (a—b) stellt sich eine stützende (b—c) entgegen. Die beim Stützen von den Wellen geleistete Arbeit wird während des Aufrichtens (c—d) wieder in Form lebendiger Kraft an das Schiff abgegeben. Die dargestellten Kräfteflächen sind aber keineswegs mit den entsprechenden Arbeiten proportional, da die Arbeitsgrößen von Hebelsarmen und Winkelwegen bestimmt werden, die Darstellung aber der Zeit proportional ist. Die von den kenternden Kräften bei jeder Schwingung geleistete Arbeit wächst, vom Anfang des Rollens an gerechnet, proportional mit der Anzahl der Schwingungen, ähnlich wie bei einem fallenden Stein die ihm von der Schwerkraft in jeder Sekunde erteilte lebendige Kraft proportional der Zeit vom Beginn des Falles an wächst. Theoretisch, ohne Berücksichtigung von Wasserwiderstand und Wasserbewegung, müßten stützende und aufrichtende Arbeiten gleich sein, und jede gleich der Summe der durch die vorhergehenden kenternden Kräfte geleisteten Arbeit. Praktisch wird die zusätzliche Arbeit früher oder später bei jeder Schwingung vom Wasserwiderstand aufgezehrt. Zweck dieser Darstellung ist es, zu zeigen, daß die Größe der kenternden Arbeiten nur durch die Größe der Hebelsarme bestimmt wird, welche innerhalb der ersten $5-7^\circ$ Neigung auftreten, die Größe der stützenden und aufrichtenden Arbeiten dagegen durch den Verlauf der statischen Stabilitätskurve bis 30° und mehr bedingt wird. Hieraus ergibt sich, daß gegen die Gefahren im Seegange nicht so sehr der gesamte Umfang an Stabilität in Frage kommt, wie das gegenseitige Verhältnis von kenternden und aufrichtenden Arbeiten. Ein Schiff, welches bis etwa 6° einen dynamischen Schwerpunktsweg von 5 mm hat, bei 30° dagegen einen solchen von 50 mm, ist bei weitem nicht so sehr der Gefahr ausgesetzt, auf diesen Winkel geworfen zu werden, wie ein Schiff, welches bei 6° 10 mm und bei 30° 70 mm dynamischen Schwerpunktsweg hat. Die Erfahrungen der Praxis stimmen hiermit überein. Schiffe hoher Anfangsstabilität werden auch schon bei nicht sehr ausgeprägter Resonanz auf große Winkel geworfen. Da ihr Resonanzgebiet in kurzen Wellen liegt, welche nie sehr regelmäßig laufen, kommt ausgeprägte Resonanz

bei ihnen glücklicherweise kaum in Frage. Das Resonanzgebiet von Schiffen geringer Anfangsstabilität liegt dagegen in langen regelmäßigen atlantischen Wellen, wo infolge guter Übereinstimmung auch größere Ausschläge der Schiffe eintreten. Als gefährlichster Fall der Beeinflussung des Schiffes durch den Seegang ergibt sich derjenige, bei welchem eine Zahl regelmäßiger Wellenimpulse ein zu Resonanzschwingungen geneigtes Schiff auf einen großen Ausschlagwinkel bringt, bei welchem ferner die Stabilität oberhalb dieses Winkels stark abnimmt und nun einige besonders steile Wellen dem Schiff über den großen Winkel hin große lebendige Kräfte mitteilen, denen keine entsprechenden stützenden Arbeiten entgegenstehen. Dadurch können Schiffe auf Neigungen geworfen werden, die direkt oder indirekt verhängnisvoll werden (Fig. 1 b).

Bei einem Schiff ist die Schwingungsdauer u. a. nach vorgehenden Ausführungen von seinen Stabilitätsverhältnissen innerhalb des Bereiches der wirksamen

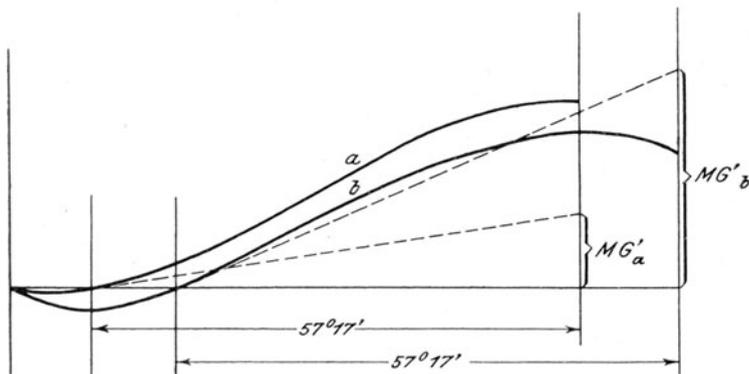


Fig. 3.

Wellenneigung abhängig. Legt man bei einem verhältnismäßig steifen Schiff den Gewichtsschwerpunkt allmählich weiter nach oben, so werden seine Bewegungen langsamer und weicher, bis die metazentrische Höhe gleich null ist. Dieser Zustand ist für Holztransportschiffe auf der Ostsee gebräuchlich und wird im allgemeinen als sicher angesehen. In den kurzen Wellen tritt trotz ihrer großen Wellenschräge keine so kurze Schwingungsdauer des Schiffes ein, daß Resonanz eintreten könnte; die Schiffe liegen auch bei etwas Seegang absolut ruhig. Auf den Einfluß des Windes in diesem Fall sei weiter unten eingegangen. Denkt man sich den Schwerpunkt noch weiter nach oben verschoben, so legt sich das Schiff auf eine Seite und die Stabilitätsarmkurve nimmt eine Form nach Fig. 3 an. Maßgebend für die jetzt auf das Schiff wirkenden Kräfte ist die Tangente an die Hebelarmkurve in dem Punkt, wo diese die Nulllinie schneidet. Die der metazentrischen Höhe entsprechende Strecke ist,

soweit es sich um die Schwingungen handelt, durch MG' in Fig. 3 dargestellt. Bei geringer Schlagseite sind die auftretenden Kräfte belanglos, bei größerer wird die Frage kritisch, denn mit dem Wachsen vom MG' (3b) stellt sich die Gefahr der Resonanz ein, die jetzt bei weitem größer ist, als bei positiver metazentrischer Höhe, da der Gesamtumfang dynamischer Stabilität weit geringer ist.

Außer dem Seegang spielt der Wind bei den Stabilitätsfragen eine große Rolle. Seiner Bedeutung für das Segeln wird beim Entwurf von Segelschiffen und bei der Stauung der Ladung weitgehend Rechnung getragen. Die Segelschiffskapitäne haben reiche Erfahrung und die Dimensionsverhältnisse sind bei Segelschiffen gleichartiger als bei Dampfern, welche bei gleicher Länge manchmal 10, manchmal 20 Knoten fahren und dementsprechend verschiedene Breiten haben. Die Stabilität muß bei Seglern ziemlich groß sein, das Problem ist hauptsächlich statischer Art und die Sicherheit durch genügend große Hebelsarme bei Sturmneigungen bedingt.

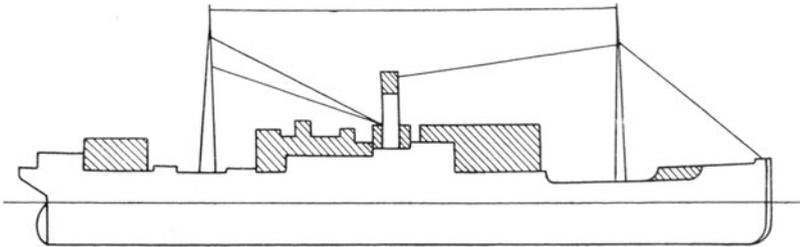


Fig. 4.

Bis zu einem gewissen Grade kommt daneben der dynamische Einfluß plötzlich einfallender Böen und des Seeganges in Frage.

Die Einwirkung des Windes spielt aber auch bei Dampfschiffen eine nicht zu unterschätzende Rolle. Um ihn zu untersuchen, habe ich nach den Grundsätzen, welche *Schöeneich*¹⁾ aufgestellt hat, für zwei Schiffe von 120 m Länge, 7 m Tiefgang und 10 000 t Deplazement nach Fig. 4 die Neigungswinkel berechnet, welche dieselben bei starkem Seitenwind und verschiedenen metazentrischen Höhen einnehmen. Es handelt sich um ein Passagierschiff mit hohen Aufbauten und um einen entsprechenden Frachtdampfer geringerer Seitenfläche. Es ist für die Berechnung angenommen, daß das stützende Moment $= P \cdot MG \cdot \sin \varphi$ ist, was indes, besonders bei kleinem MG , nicht genau ist. Auch die Verringerung der Kräfte und ihrer Hebelsarme bei schräg liegendem Schiff ist unberücksichtigt geblieben. Die Seitenfläche des Passagierdampfers ist reichlich 1,5 mal so groß wie die des Frachtdampfers, die kenternden Momente

¹⁾ *Schöeneich*: Der Windwiderstand von Schiffen. Schiffbau, XIII. Jahrg., S. 121.

Tabelle 1.

Neigungen durch Seitenwind.

MG	Windstärke 8 ca. 20 m/sek.		Windstärke 10 ca. 30 m/sek.		Windstärke 12 ca. 40 m/sek.	
	PD.	FD.	PD.	FD.	PD.	FD.
1,25 m	1,0°	0,5°	2,3°	1,1°	4,3°	1,9°
1,00 m	1,3	0,6	3,0	1,4	5,4	2,4
0,75 m	1,6	0,8	4,0	1,7	7,2	3,3
0,50 m	2,5	1,2	5,9	2,7	10,6	4,8
0,25 m	5,1	2,4	11,8	5,4	22,0	9,7
0,15 m	8,5	3,9	20,0	8,8	38,5	16,3

und mithin die Neigungswinkel ungefähr 2,1 mal so groß; hierin zeigt sich die Wirkung der größeren Windgeschwindigkeit in größeren Höhen und der größeren Hebelsarme. Aus Tabelle 1, welche die Resultate der Untersuchung zeigt, geht hervor, daß durch Seitensturm ganz bedeutende Neigungen hervorgebracht werden können, welche bei Untersuchungen nicht vernachlässigt werden dürfen. Für Schiffe geringer Anfangs stabilität, bei welchen der dynamische Einfluß des Seeganges kein sehr großer ist, wird aus dem dynamischen Problem des nur im Seegange schwingenden Schiffes ein vorwiegend statisches. Plötzlich einfallende Windstöße wirken ebenso wie bei Segelschiffen.

Vereinigte Einwirkungen von Seegang und Wind schaffen ein Problem, welches ähnlich zu bewerten ist, als wenn das Schiff infolge zu hoher Schwerpunktslage negative Anfangs stabilität hat; seine Schwingungsfähigkeit ist ungefähr durch die Tangente an die Kurve der Hebelsarme auf der Abszisse des Neigungswinkels bedingt. (Vergl. Fig. 3.)

Als weitere kenternde äußere Einflüsse kommen diejenigen von Strömungen, Ruderlegen sowie bei Kriegsschiffen das Abfeuern von Geschützen in Betracht. Sie sind nicht sehr groß und die damit verbundenen Gefahren können vermieden werden.

Als innere Gefahren möchte ich solche bezeichnen, welche in den Stabilitätseigenschaften der Schiffe und in der Anordnung und Stauung ihrer Gewichte begründet sind. Zu erwähnen sind ungünstige Formen, hohe Schwerpunkte des Schiffes und der Laderäume, schlecht gestaute Ladung in bezug auf Anordnung, Befestigung

und Zurrung, Übergehen von Ladung, Naßwerden und einseitiger Verlust von Decksladung, offene Kohlenpforten, Vermessungsöffnungen und andere mehr.

Die meisten Gefahren, welche den Schiffen durch Wellen und Wind sowie durch ihre inneren Stabilitätseigenschaften drohen, sind im Grunde genommen hauptsächlich primärer Art. Daß ein Schiff infolge von Wellengang so sehr schlingert, daß es die Kentergrenze erreicht, wird noch seltener eintreten als der ungewöhnliche Fall, daß Winddruck allein es zum Kentern bringt. Wirklich kritisch wird die Sache erst, wenn diese primären Einflüsse Einwirkungen sekundärer Art hervorrufen, wenn die Ladung übergeht oder sich einseitig setzt, wenn Wasser durch Kohlenluken oder Vermessungsöffnungen eindringt oder wenn Decksladung naß wird, oder einseitig verloren geht. Diese sekundären Gefahren können natürlich auch unabhängig von den primären eintreten, sei es durch Eindringen von Wasser nach dem Einschlagen von Luken oder infolge von Kollision. Um ihren gefährlichen Einfluß unwirksam zu machen, ist es nötig, auch bei großen Neigungen ein gewisses Maß von Stabilität zu fordern, sei es statischer oder dynamischer Art. Zusammenfassend läßt sich über die durch die Stabilitätsverhältnisse bedingten Gefahren sagen, daß sie von der Stabilität kleiner Neigungen beeinflußt werden, daß die Stabilität innerhalb normaler großer Ausschlagswinkel eine Rolle spielt und daß die Stabilität größter Neigungen Sicherheit gegen gefahrdrohende Lagen gewährt. Je nach dem Überwiegen statischer oder dynamischer Einflüsse kommen als entgegenwirkend die statischen oder dynamischen Stabilitätseigenschaften in Betracht. Um ohne Kurven ein vollständiges Bild über dieselben bieten zu können, sind also Angaben über statische Hebelsarme und dynamische Schwerpunktswege bei 5° , 30° und 60° nötig. Es wäre wertvoll, für diese sechs Werte gewisse kritische Größen zur Verfügung zu haben, welche einen Anhalt für ein Urteil über minimale Stabilität bieten; einzig maßgebend als scharfe Grenzen können sie aber auch dann nicht gelten, es muß außerdem noch auf die Umstände des einzelnen Falles Rücksicht genommen werden.

Um die Gefahren, welche einem Schiffe drohen, überblicken und vermeiden zu können, hat man versucht, den Kapitänen Übersichten über die Eigenschaften ihrer Schiffe zu geben, welche auf theoretischen Berechnungen basieren. Solche Übersichten betrafen meines Wissens bisher die metazentrischen Höhen und den Verlauf der statischen Stabilität. Der für die Schwingungsfrage äußerst wichtige Umfang dynamischer Stabilität ist bisher nicht gebraucht worden, und es ist mit Freuden zu begrüßen, daß Herr Benjamin auf seine Bedeutung eingehend hingewiesen hat. Nun kranken aber leider die theoretischen Rechnungen daran, daß wir nicht wissen, wie weit sie bezüglich der Schwerpunkts Höhe mit der

Praxis übereinstimmen. Wir können den Zustand eines Kohlenschiffes mit gefüllten Räumen und homogener Ladung annähernd genau berechnen, wir können die schwierigen Stabilitätsrechnungen für Ölschiffe ein wandsfrei durchführen und wissen, daß sie stimmen. Ob aber unsere Annahmen homogener oder nichthomogener Ladung für Schiffe mit gemischter Ladung oder nicht vollen Räumen stimmen oder nicht, wissen wir meistens nicht, denn um Krängungsversuche vor Abfahrt der Schiffe durchzuführen, fehlt die Zeit. Wir wissen also selten, in welchem Zustande die Schiffe über See gehen, und wir wissen wenig darüber, wie die dazu berufenen nautischen Kreise die jeweiligen Stabilitätseigenschaften beurteilen.

Um einen Einblick in diese Fragen zu erhalten, ist es nötig, die Eigenschaften der Schiffe festzustellen. Da sie in ihrem gesamten Umfange für den einzelnen Fall in engstem Zusammenhang mit der metazentrischen Höhe stehen und durch sie auf Grund vollständiger Rechnungen eindeutig bestimmt werden können, genügt ihre Festlegung. Man hat vorgeschlagen, aus der Schwingungsdauer Schlüsse auf die metazentrische Höhe zu ziehen. Nach der Formel für die Schwingungszeit

$$t = 2 \pi \sqrt{\frac{\text{Trägheitsmoment} \cdot \sin \varphi}{\text{Stabilitätsmoment}}}$$

ist aber das Trägheitsmoment des Schiffes und der Ladung sowie der Verlauf der Stabilitätsmomente bis zum maximalen Winkel zwischen Wasseroberfläche und Schiff von bedeutendem Einfluß auf die Schwingungsdauer und daher zur Bestimmung von metazentrischen Höhen oder sonstigen Stabilitätseigenschaften nicht geeignet. Diese Überlegungen veranlaßten mich dazu, Krängungsversuche auf hoher See durchzuführen, und ich glaube, Ihnen den Beweis erbringen zu können, daß die damit verbundenen Schwierigkeiten keineswegs unüberwindlich sind.

Im Seegange schlingert das Schiff um eine ganz oder annähernd senkrechte Lage, welche seiner Ruhelage entspricht. Krängt man das Schiff durch Verschieben von Gewichten, so pendelt es um eine neue Mittellage, welche je nach der Größe des Krängungsmomentes mehr oder weniger von der ursprünglichen Mittellage abweicht. Die zu lösende Aufgabe war nun die einwandfreie Feststellung der Mittellagen, um welche das Schiff schwingt. Bis zu einem gewissen Grade ist hierzu das Schlingerkreiselpendel, welches man zur Kontrolle der Schlingertanks verwendet, geeignet. Da es aber große Winkel in kleinen Diagrammen aufzeichnet und dieselben eine eingehende Auswertung benötigen würden, außerdem der Preis hoch ist, ist es zur Messung kleiner Winkeldifferenzen, wie sie bei Krängungsver-

suchen üblich sind, nicht angebracht. Bei Versuchen, welche im Oktober und November vergangenen Jahres an Bord des Dampfers „John Sauber“ vorgenommen wurden, kam der in Fig. 5 skizzierte Apparat in Anwendung. Ein U-förmiges Rohr ist querschiffs am Schanzkleid des Brückendecks befestigt; seine senkrechten Schenkel, welche etwa 11 m auseinander liegen, bestehen aus Glas und sind mit einer Ableseteilung versehen. Das Rohr ist in der Mitte mit zwei Flanschen zusammengesetzt. Zwischen diesen befinden sich zwei Gummiplatten mit einem etwa 3 mm großen Loch und zwischen den Gummiplatten fünf Lagen Leinen. Das Rohr ist mit gefärbtem Wasser gefüllt. Neigt sich nun das Schiff auf eine Seite, so sucht das Wasser nach dieser zu fließen, sobald es aber einige Zentimeter zurückgelegt hat, legt sich das Schiff auf die andere Seite und das Wasser ändert seine Strömungs-

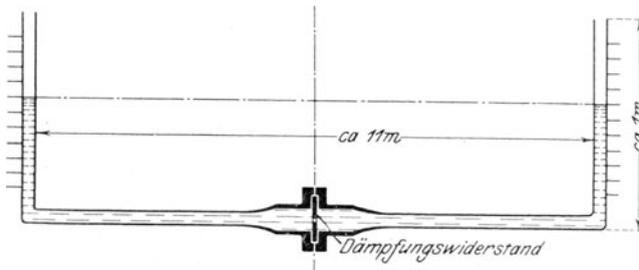


Fig. 5.

mungsrichtung. Die Wassersäule, deren Eigenschwingungsdauer im Vergleich zu der des Schiffes sehr klein ist, läuft also in erzwungenen Schwingungen mit einer gewissen Phasenverschiebung hinter den Schiffsschwingungen her. Der Widerstand zwischen den Flanschen wurde so reguliert, daß die Bewegungen der Wassersäule soweit gedämpft waren, daß die höchsten und niedrigsten Wasserstände nur wenig differierten und gut ablesbar waren. Eine gewisse Beweglichkeit ist natürlich trotzdem nötig, um das sichere Arbeiten des Instrumentes zu kontrollieren. Das Wasser schwingt ständig um eine Mittellage, welche mit der senkrechten Mittellage des Schiffes einen rechten Winkel bildet. Neigt man das Schiff durch Krängen über, so schwingt es um eine etwas gegen die Senkrechte geneigte Mittellage, das Wasser schwingt dagegen nach wie vor gegen die Horizontale, die Krängungsneigung läßt sich also messen.

Eigentliche Krängungsversuche, also Messungen verschiedener Mittellagen, welche einen Winkel einschließen, konnten auf dem „John Sauber“ nicht vorgenommen werden. Dagegen wurden 14 Versuche über Feststellung von ganz oder nahezu senkrechten Mittellagen durchgeführt. Der einzelne Versuch

beruhte auf Messung der Ausschläge von zehn aufeinanderfolgenden Doppelschwingungen des Schiffes und der Wassersäule. Dann wurde die Mittellage ausgerechnet und unabhängig hiervon die Mittellage für die erste und die zweite Hälfte des Versuchs, also für je fünf Doppelschwingungen, festgestellt. Die Abweichungen der teilweisen Mittellage von der gesamten Mittellage lassen eine Bewertung der Genauigkeit zu. Das Protokoll eines Versuchs hatte folgende Form:

Versuch Nr. 4. Reise mit 3100 t Steinkohlen von Methil nach Hamburg. Windrichtung: SW. Windstärke 4. Wellenrichtung SW. Kurs OSO. Rollperiode: $5\frac{1}{2}$ Sekunden. Datum: 30. Oktober 1912. Zeit 6 h p. m.

Ablesungen des Ausschlages der Wassersäule:

		Backbord		Steuerbord	
		hoch	niedrig	hoch	niedrig
		cm	cm	cm	cm
a	{	64	54	82	70
		65	54	81	72
		63	52	79	67
		63	51	84	63
		65	53	83	61
b	{	61	55	83	59
		63	51	86	61
		65	52	81	73
		64	53	84	68
		64	55	82	69

Auswertung:

Mittel	<u>63,7</u>	<u>53,0</u>	<u>82,5</u>	<u>65,8</u>
	58,35		74,15	
Mittel von a	<u>64,0</u>	<u>52,8</u>	<u>81,8</u>	<u>66,6</u>
	58,40		74,20	
Mittel von b	<u>63,4</u>	<u>53,2</u>	<u>83,2</u>	<u>65,0</u>
	58,30		74,10	

Mittel der Abweichung: 0,05 cm.
 Entfernung der Ablesungen: 11 m.
 Mittlerer Winkelfehler: 19".

Dieses Protokoll bezieht sich auf den günstigsten Versuch. Das Resultat des ungünstigsten wies einen mittleren Fehler von 16' auf. Der mittlere Fehler der 14 Versuche betrug $4\frac{1}{2}'$, also etwa 3 % eines normalen Krängungs-

versuches von $2\frac{1}{2}^{\circ}$. Die Versuche wurden bei verschiedensten Ladezuständen, Kursen, Wind- und Wellenrichtungen durchgeführt, ohne daß die Fahrt des Schiffes unterbrochen oder der Kurs geändert wurde. Zwischen den einzelnen Versuchen lagen 6 bis 12 Stunden, in welcher Zeit sich die Mittellage um 20—25' verschob, eine Folge von Verbrennen von Bunkerkohlen oder anderen Gewichtsverschiebungen an Bord. Die Versuche haben gezeigt, daß die Feststellung der Mittellage möglich ist und daß Beobachtungen über etwa zehn Doppelschwingungen hinreichen, um sie genügend genau durchzuführen. Kontrollversuche, welche bei eigentlichen Krängungsversuchen nach der entgegengesetzten Seite durchgeführt werden, vermindern die Ungenauigkeit auf die Hälfte. Da man die Versuche natürlich nicht gerade bei Sturmwetter ausführen würde, genügt diese

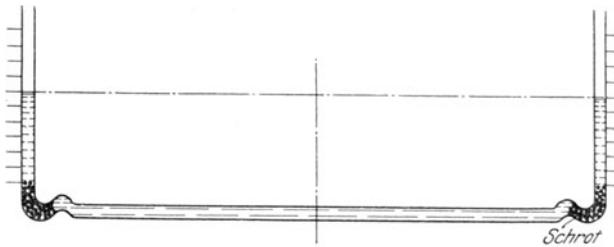


Fig. 6.

Genauigkeit allen gerechten Ansprüchen, denn selbst Fehler von 5—6 % spielen keine wesentliche Rolle, da die Ungenauigkeit der metrazentrischen Höhen durch verschiedenartige Stauung sich in viel weiteren Grenzen bewegt.

Der recht primitive Apparat wies noch einige Mängel auf; das Wasser verdunstete schnell, zwischen den Flanschen schien sich eine Luftblase gefangen zu haben, und die Regulierung durch Änderung des Widerstandes war zu umständlich. Auch die Stöße, welche aus der seitlichen Bewegung des wagerechten Teiles der Röhre herrührten, bewirkten stoßweise Bewegungen der Wassersäule.

Eine abgeänderte Ausführung zeigt Fig. 6. Bei ihr ist die Bremsung durch feinen Schrot bewirkt, welcher sich im unteren Teil der senkrechten Röhren befindet. Mit diesem Modell wurden im Januar dieses Jahres mit dem Hamburger Staatsdampfer „Neuwerk“ beim I. Elbfeuerschiff Krängungsversuche gemacht. Das Schiff wurde, um den Apparat unter möglichst ungünstigen Verhältnissen zu probieren, quer zu Wind und See gelegt; als Tonnenleger hat es eine hohe Anfangsstabilität (ewa 720 mm), es ergaben sich deshalb bei Windstärke 6 und kurzer See keine Eigenschwingungen, sondern nur erzwungene Schwingungen, unregelmäßiges Rollen und Stampfen des Schiffes. Aus diesem Grunde war ein Ablesen der

höchsten und niedrigsten Wasserstände unzweckmäßig; deshalb wurde so weit mit Schrot abgebremst, daß die Bewegung nur 1—2 cm betrug und die Mittellage wurde dann direkt geschätzt. Es ergab sich bei 7 mt Krängungsmoment nach B. B. ein Ausschlag von $1^{\circ} 20'$, nach St. B. von $1^{\circ} 17'$. Dann wurde das Schiff auf entgegengesetzten Kurs gelegt, um zu messen, welchen Einfluß die steife Brise auf die Lage des Schiffes hatte. Ein Kontrollversuch an der „Alten Liebe“ in Cuxhaven zeigte einen mittleren Ausschlagwinkel von $1^{\circ} 18'$. Diese gute Übereinstimmung ergab sich trotz der ungünstigen Umstände; betrug doch der Neigungswinkel durch den starken, wenn auch sehr regelmäßigen, seitlichen Wind $45'$ nach jeder Seite, d. h. mehr als die Hälfte des Krängungswinkels.

Auch zu anderen Krängungsversuchen in fast ruhigem Wasser (Hamburger Hafen) ist der Apparat benutzt worden; die gleichzeitig verwendeten Krängungs-

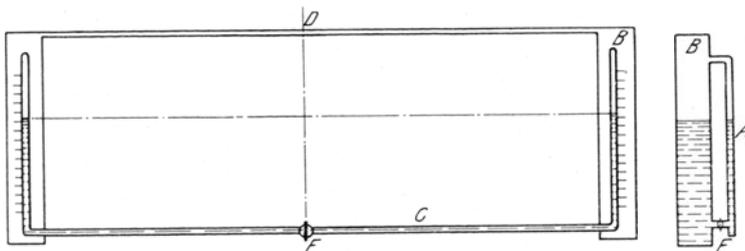


Fig. 7.

lote wurden durch kleine Wind- und Wellenstöße in unruhige Schwingungen versetzt, die die Genauigkeit der Messung beeinträchtigten; die Wassersäule lag sofort wieder ruhig, nachdem die Bewegung des Schiffes aufgehört hatte.

Eine durchgebildete Ausführung, die in Fig. 7 dargestellt ist, fand zu weiteren Versuchen auf Dampfer „Herman Sauber“ Verwendung. An die senkrechten Meßröhren (A) sind Wasserkästen (B) angeschlossen worden, deren größerer Wasserspiegel sehr langsam fällt, da eine entsprechend große Wassermenge nach der anderen Seite fließen muß, ehe die Bewegung sichtbar wird. In der Mitte des Verbindungsrohres (C) ist ein Hahn (E) mit drei Durchflüssen, einem großen und zwei verschiedenen kleineren. Der große wird geöffnet, wenn eine größere Wassermenge schnell überströmen soll, also zwischen der Feststellung der Mittellagen für das senkrechte und für das gekrängte Schiff. Die kleineren dienen zum Durchfluß und zur Regulierung während der Feststellung der einzelnen Mittellage. Da in diesem Zustande die Bewegung der Wasserspiegel soweit abgedämpft ist, daß sie kaum merklich ist, kann man direkt ablesen, wenn das Wasser sich auf die dem Schiff entsprechende Lage eingestellt hat. Nun ist es aber nötig, prüfen zu können, ob der kleine oder kleinste Durchfluß im Hahn E auch wirklich frei ist;

zu dem Zweck kann einer der Wasserkästen durch den Hahn F abgeschaltet werden, und die sofort im Meßrohr eintretende Bewegung zeigt an, daß die Verbindung der beiden Seiten ungestört ist. Ein oberes Verbindungsrohr D gestattet Luftübertritt und schließt den Apparat von der Außenluft ab, so daß kein Wasser verdunsten kann. Diese Ausführungsform hat sich auf dem „Herman Sauber“ bestens bewährt. Es wurden richtige Krängungsversuche, allerdings unter sehr ungünstigen Umständen, im Juni dieses Jahres gemacht. Die einzelnen Versuche ergaben Abweichungen bis 25 % maximal gegeneinander und von 6—8 % gegenüber dem zur Kontrolle vorhandenen Apparat mit einfachem Glasrohr und Schrottdämpfung. Es müssen hierbei aber die ungünstigen Versuchsumstände berücksichtigt werden; die zur Verfügung stehenden 4 t Krängungsgewichte genügten nur zu Krängungen von 10 und 19' (in Ballast und beladen), was als durchaus ungenügend angesehen werden muß. Die tatsächlichen Fehler betragen also nur 3—4' maximal und etwa 1—1,5' im Mittel bei einer größeren Anzahl Versuche, und diese Genauigkeit ist vollkommen genügend.

Weitere Versuche wurden mit dem Apparat auf dem Dampfer „Johanna Oelsner“ angestrebt, um die metazentrische Höhe eines mit Holz beladenen Ostseefahrers zu messen. Dabei stellte sich, wie oben erwähnt, heraus, daß diese Schiffe keine oder sehr geringe Anfangsstabilität besitzen. Das Schiff führte keine vom Seegang herrührende Schwingungen aus, legte sich aber schon bei kleinen Windstößen soweit über, daß der Apparat nicht ausreichte. Der Einfluß des Windes ist bei anfänglich ganz oder fast unstillen Schiffen sehr groß; sie müssen deshalb beim Versuch in die Windrichtung gelegt werden. Wie bei jedem Krängungsversuch wachsen die Schwierigkeiten auf See genau wie im Hafen mit der Stärke des Windes und der Unstabilität der Schiffe; man muß deshalb in solchen Fällen möglichst ruhiges Wetter abwarten.

Einschalten möchte ich hier noch, daß ich den Apparat in dieser Ausführung auch für sehr wertvoll zur Bestimmung des genauen Trimm und der Schlagseite von Schiffen halte, welche genötigt sind, eine Barre zu passieren. Um Steuerlastigkeit nachzuweisen, müßte er längsschiffs aufgestellt werden. Im allgemeinen ist ein Fuß Tiefgang mehr oder weniger beim Passieren einer Barre kaum von Bedeutung, kommt es aber ganz oder beinahe zum Aufsetzen, so können bei hartem Boden schon einige Zoll eine wichtige Rolle spielen. Das gilt sowohl für vermehrten Tiefgang durch falschen Trimm, wie auch durch Schlagseite; bei unsern modernen Dampfern mit unbedeutender Aufkimmung kommt es schon auf 1—2 ° Schlagseite an. Die genaue Bestimmung der Lage ist kurz vor der Ankunft vor der Barre auch bei Seegang auszuführen. Ferner läßt sich mit einem Apparat, der

aus einem Verbindungsrohr mit dem Seewasser und einem mittschiffs angebrachten Meßrohr und Wasserkasten besteht, der genaue Tiefgang in unruhigem Wasser bestimmen.

Ist nun durch die vorbeschriebenen Versuche die Möglichkeit der genauen Feststellung der Mittellage und der Ausführung von Krängungsversuchen bewiesen, so bleibt die Frage einer einfachen in der Praxis ohne viel Vorbereitung durchzuführenden Krängung. Sie ist durch Einrichtung einer kleinen Abteilung im Doppelboden leicht zu bewirken. Eine Krängungsabteilung von 6—7 Doppelbodenzellen mit wasserdichtem Längsschott genügt im allgemeinen, um dem Schiff eine normale Versuchsneigung von $2\frac{1}{2}$ — 3° zu geben. Ich möchte vorschlagen, etwa in diesen Grenzen zu bleiben, um den Einfluß anderer geringster Bewegungen von Gewichten, welche während der Ausführung der Versuche doch nicht ganz unterbleiben, klein zu halten. Die Tanks müssen so eingerichtet sein, daß kontrolliert werden kann, ob sie ganz voll oder ganz leer sind. Man könnte statt der Doppelbodenzellen auch an Deck aufgestellte besondere Tanks benutzen oder bei ruhigem Wetter die Boote mit Wasser füllen; letztere Maßnahme wäre indes nur ein Notbehelf, da sie zu sehr vom Wetter abhängig ist. Es ist natürlich darauf zu achten, daß keine Tanks mit freier Oberfläche im Schiff vorhanden sind.

Die Zeit, welche unter diesen Bedingungen zur Ausführung des ganzen Krängungsversuches nötig ist, kann sehr kurz gehalten werden. Es ist nach beiden Seiten zu krängen, teils zur Kontrolle, teils um die Fehlerquellen einer geringen Schlagseite auszugleichen. Als Ausführungszeit kommen sowohl im Hafen als auf See die Abend- bzw. Morgenstunden in Betracht, wenn es an Bord möglichst ruhig ist. Dem Schiffer ist eine fortwährende Kontrolle der Anfangsstabilität und damit der Schwerpunktlage seines Schiffes möglich; für das einzelne Schiff sind mit ihr die weiteren Stabilitätsverhältnisse eindeutig bestimmt.

Die Ausführungen der Messungen und ihre Bewertung im normalen Beobachtungsbereich kann nautischen Kreisen überlassen werden. Die Messungen an Bord des „John Sauber“, des „Herman Sauber“ und der „Johanna Oelsner“ sind von den Kapitänen durchgeführt worden, und ich möchte den Herren für ihre freundliche Unterstützung auch an dieser Stelle danken. Die Stabilität von Schiffen über 30° hinaus liegt außerhalb des Beobachtungsbereiches; sie ist deshalb nur auf theoretischem Wege zu bestimmen, und mit Rücksicht darauf, daß sie in ihrer tatsächlichen Größe direkt kaum in Betracht kommen wird und als Sicherheit gegen sekundäre Gefahren gelten soll. Ihre Bestimmung liegt einseitig in der Hand der Ingenieure. Was dagegen die Bewertung der Stabilität innerhalb

des Beobachtungsbereiches betrifft, so kann man auf Grund zahlreicher Messungen und kritischer Beurteilung derselben durch die Kapitäne zu einem Überblick über die von einem seetüchtigen Schiff zu fordernden Stabilitätseigenschaften kommen. Wir können durch dieses Verfahren die Erfahrungen einer großen Anzahl Schiffsführer zusammenfassen, ordnen und kritisch bewerten. Nur so ist es möglich, die jetzige gefühlsmäßige Bewertung der Stabilität, die jeder Schiffsführer auf Grund seiner persönlichen Erfahrung hat, zu einer kritisch zu bewertenden umzugestalten und der Allgemeinheit zugänglich zu machen. Sind wir soweit, daß wir hierdurch einen klaren Überblick über die gesamte Frage haben, so können wir für jedes Schiff Rechnungen über seine erforderlichen Stabilitätseigenschaften anstellen und dem Kapitän in einer kurzen Zusammenstellung, in welcher verschiedene Tiefgänge und die dabei zulässigen Schwerpunktshöhen verzeichnet sind, einen Anhalt geben, auf Grund dessen er sein Schiff sicher laden kann, denn die Schwerpunktshöhen kann er jederzeit durch Versuch kontrollieren.

Es liegt nahe und ist auch schon angestrebt worden, gesetzliche Vorschriften über Stabilität zu schaffen. Trotzdem ich glaube, daß die Stabilität durch Versuch in einfacher Weise festgestellt werden kann, halte ich gesetzliche Vorschriften und ihre Durchführung für schwierig. Die ganze Materie ist in ihrer Art sehr kompliziert und bis jetzt zu wenig geklärt. Wenn wir durch umfangreiche Versuche soweit sind, daß wir ein Urteil über die erforderliche Stabilität bei verschiedenen Neigungen abgeben können, dann lassen sich für jedes Schiff die zulässigen Neigungen durch gewisse Krängungsmomente festlegen; ob das in Form gesetzlicher Vorschriften zweckmäßig und angängig ist, mag dahingestellt sein. Es mag aber doch darauf hingewiesen sein, daß es einige mit der Stabilität verknüpfte Fragen gibt, wo die Gesetzgebung segensreich wirken könnte, und wo die Festlegung gewisser Normen durch die beteiligten Kreise uns weiterbringen könnte. Nur an die Vermessungspeigatten und sonstigen Vermessungsöffnungen, welche die Sicherheit der Schiffe gefährden, sei erinnert. So wünschenswert eine Internationalisierung von Vermessungsangelegenheiten ist, so sollte Deutschland in dieser Frage genügend selbständig sein, um derartige formale Bestimmungen zu beseitigen. Es ist ferner vorgeschlagen worden, an Bord der Schiffe Stabilitätsbücher zu führen, in welchen die Kapitäne ihre Erfahrungen über verschiedene Beladungszustände niederlegen, um sich und ihrem event. Nachfolger einen sicheren Anhalt über die Eigenschaften des Schiffes zu geben. Dieser Vorschlag aus nautischen Kreisen verdient entschiedene Beachtung. Es ist eine kleine Mühe, in ein derartiges Buch Angaben über Art und Stauung der

Ladung, von Kohlen und Wasser, über Tiefgang, Wetter, Verhalten im Seegang, Schlingerwinkel und Periode, event. Schlagseite durch Ladung oder Wind einzutragen und gibt dem Kapitän für spätere Reisen einen vorzüglichen Anhalt für die Stauung der Ladung. Noch einen Punkt, der in dieses Gebiet gehört, möchte ich kurz erörtern. Er betrifft event. festzusetzende Normen über Stabilitätsrechnungen, und zwar über Bewertung von Aufbauten, Auftrieb von Decklast, Annahmen über Homogenität der Ladung und anderes mehr. Bei der Untersuchung über den Verlust eines englischen Schiffes wurden seitens der Bauwerft Stabilitätsrechnungen vorgelegt, bei denen die Annahme gemacht worden war, daß im Raum Ladung von 40 Kubikfuß pro Tonne, im Zwischendeck dagegen von 80 Kubikfuß pro Tonne gestaut wäre; eine derartige Annahme ist ungewöhnlich und verschleiert das Bild gegenüber normaler Annahme homogener Ladung. Über die Bewertung des Auftriebes von Decksladung ist man sich bei uns auch nicht einig. Aufbauten, welche dicht geschlossen sind, können ruhig als auftriebfähig für die Stabilität angesehen werden, sind aber Vermessungsöffnungen und Speigatten vorhanden, so wird die Frage zweifelhaft, besonders wenn es sich um Fälle handelt, bei welchen das Schiff fortdauernd auf der Seite liegt. Grundsätze für Winddruckrechnungen wären erwünscht. Es wäre eine leichte Mühe für eine sachverständige Körperschaft, hierüber Normen aufzustellen und ihre Benutzung zu empfehlen; bei geeigneten Anlässen, z. B. Seeamtsverhandlungen, wären sie vorzuschreiben. Man würde dadurch zu gleichmäßigerer Bewertung und Beurteilung der Stabilität kommen und zu weiterer Klärung der Frage beitragen. Auch weitgehende Veröffentlichung von Stabilitätsuntersuchungen verunglückter Schiffe können in diesem Sinne aufklärend wirken und Kenntnisse über die notwendigen Anforderungen an die Stabilität der Seeschiffe verbreiten.
