

226 | 1954

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Prof. Dr.-Ing. K. Wendel

Stabilitätseinbußen im Seegang und durch Koksdeckslast

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

SCHIFFBAU

SCHIFFSMASCHINENBAU / SCHIFFFAHRTSTECHNIK

Die „HANSA“ ist das Organ des

Verbandes Deutscher Schiffswerften e. V. / Fachnormenausschusses Schiffbau

Stabilitätseinbußen im Seegang und durch Koksdeckslast

Untersuchungen an einem mittelgroßen Seeschiff („Irene Oldendorff“)

Prof. Dr.-Ing. K. Wendel

In der Nacht vom 30. zum 31. Dezember 1951 ging der Frachtdampfer „Irene Oldendorff“ vor der Emsmündung verloren. Kein Mann der Besatzung wurde gerettet.

Es war ein fast neues, von einer bekannten leistungsfähigen Werft erbautes Schiff. Der Untergang erregte in der Öffentlichkeit beträchtliches Aufsehen; auf den Schiffahrtsseiten der Tageszeitungen fand man in jenen Tagen Meldungen von den Such- und Taucheraktionen, auch Mutmaßungen über Gründe und Hergang des Unfalls wurden abgedruckt. In den Fachkreisen — Seelenten, Reedern, Schiffbauern — ist auch heute noch ein waches Interesse für diesen Seeunfall vorhanden. Denn zum Unterschied von manchen anderen Totalverlusten, bei denen alles dunkel ist und bleibt, ist hier trotz des Fehlens von Augenzeugen eine Reihe von Tatbeständen bekanntgeworden, die die Forschung nach den Ursachen nicht von vornherein mit dem Odium einer vagen Spekulation behaftet. Und natürlich will man wissen, ob es tatsächlich kein Mittel gegen derartige Unfälle gibt.

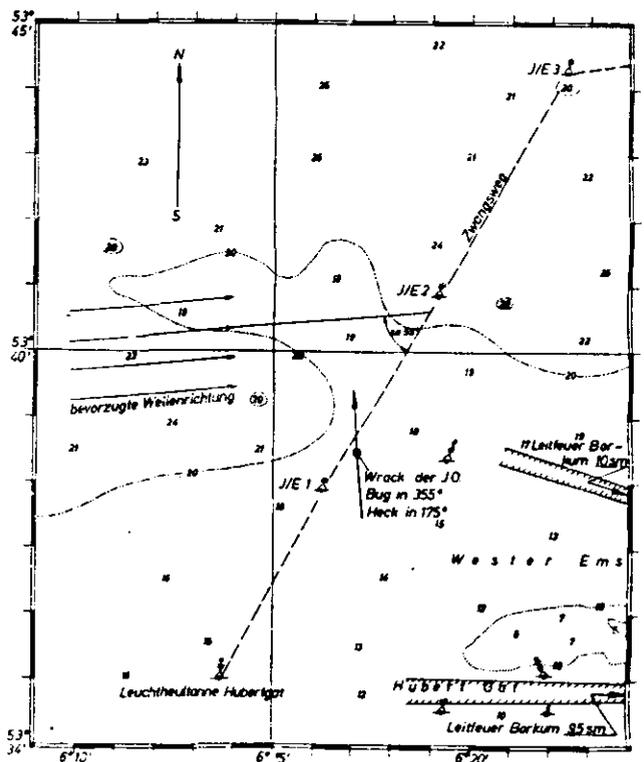
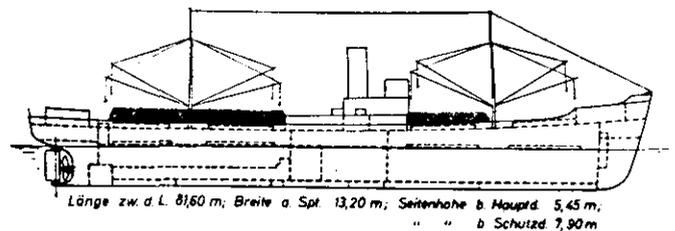
Tatbestand

Zunächst ist aus der letzten Beobachtung des Schiffes kurze Zeit vor dem Untergang, aus dem Fundort des Wracks, der Uhrzeit des Untergangs, der beabsichtigten Reiseroute und dem Zwangsweg, der für die Fahrt von der Ems nach der Elbemündung damals vorgeschrieben war, der gesteuerte Kurs recht genau zu verfolgen (Bild 1). Über Wind und Seegang nach Stärke und Richtung geben die Wetterberichte und die Beobachtung des nahe der Unfallstelle stationierten Lotsendampfers Aufschluß. Funksprüche wurden nicht abgegeben, was es neben weiteren Indizien sehr wahrscheinlich macht, daß das Ereignis, das die Besatzung veranlaßte von Bord zu gehen, sich sehr schnell zu einer akuten Gefahr entwickelt haben muß. Von den weiteren Indizien sei nur in Erinnerung zurückgerufen, daß von insgesamt 22 Mann Besatzung nur 14 in das Boot gelangt sein können, denn nur die Leichen dieser 14 Mann wurden nebst dem vollgeschlagenen Steuerbordboot noch in der gleichen Nacht am Strand von Borkum angetrieben.

Das Wrack wurde mehrfach von Tauchern untersucht. Die Lage wurde genau ermittelt (Bild 1 und 2). Insbesondere wurden, trotz planmäßiger Suche, keinerlei Anzeichen entdeckt, die auf einen Minentreffer oder eine Explosion andeuten Ursprungs schließen lassen. Die aufgezählten und noch eine Anzahl weiterer Indizien lassen es fast als Gewißheit erscheinen, daß das Schiff über Steuerbord gekentert ist. Wie sollte es sonst bei der geringen Wassertiefe in die auf Bild 2 wiedergegebene Lage gekommen sein? Allenfalls ist es denkbar, daß es nur eine starke Schlagseite angenommen hat und dann vollgelaufen und gesunken ist. Aber das

kommt praktisch auf das gleiche hinaus; es ist Sache einer Definition, bis zu welcher Neigung man noch von Schlagseite sprechen will.

Zu den Tatbeständen gehört auch die Beladung des Schiffes und seine Glattwasserstabilität bei Beginn seiner letzten Reise. Auf Grund von Befragungen aller Personen, die



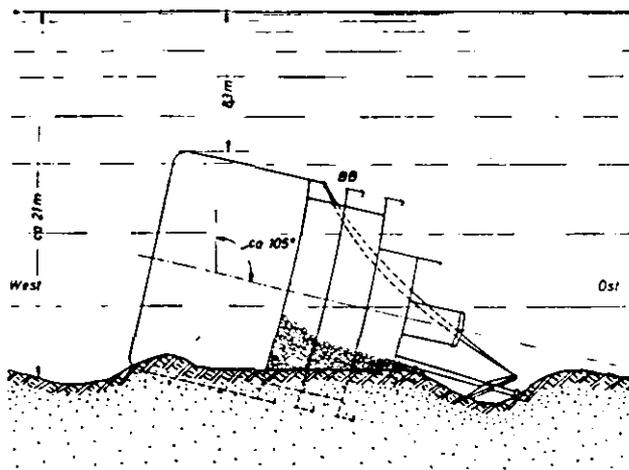


Bild 2

irgend etwas über Schiff, Ladung, Stauung und frühere Reisen des Schiffes mit ähnlicher Ladung aussagen konnten, und ergänzt durch Erkundigungen bei Werft, Reederei und Aufsichtsbehörden wurde in mühsamer Mosaikarbeit der Ladezustand rekonstruiert. Die Tiefgänge vorn und hinten sind beim Ausfahren des Schiffes aus der Emdr Schleuse sowohl von Hafenangestellten wie auch vom Kapitän abgelesen und in Formulare eingetragen worden. Die Verdrängung ist also bekannt und ebenso konnte aus den Stauplänen der Verlager das Gewicht der Koksladung und ihre Verteilung auf Laderäume und Deck recht genau entnommen werden. Eine gewisse Unsicherheit kommt in die Stabilitätsberechnungen hinein, da mit dem Schiff kein Krängungsversuch vorgenommen wurde; die notwendigen Daten für die Höhenlage des Gewichtsschwerpunktes des leeren Schiffes wurden deshalb von einem Schwester-schiff genommen. Da jedoch das Gewicht des leeren Schiffes nur etwa ein Drittel des Gesamtgewichts ausmacht, wirkt sich dieser Umstand auf die Bestimmung des Gesamt-schwerpunktes des beladenen Schiffes nicht so folgenschwer aus, wie man fürchten könnte. Setzt man alle zweifelhaften Posten einmal günstig, einmal ungünstig an, so erhält man zwei Kurven für die Hebelarme der Stabilität in glattem Wasser; in dem hierdurch begrenzten Streifen kann die tatsächlich gültige Hebelarmkurve angenommen werden. Näheres hierzu weiter unten.

Erklärungsversuche

Wegen des Aufsehens, daß dieser Untergang in der Schiff-fahrtswelt fand, ist es nicht erstaunlich, daß auch viele Mut-maßungen über Ursache und Hergang geäußert wurden. Daß eine Minen- oder sonstige Explosion nicht in Frage kommt, wurde schon gesagt. Gegen den Kapitän wird der Vorwurf erhoben, daß er trotz der schweren See ausgelau-fen sei. Sicher wäre der Unfall nicht eingetreten, wenn er dem Beispiel anderer Kapitäne gefolgt und im Hafen ge-blieben oder auf Borkum-Reede vor Anker gegangen wäre. Die „Irene Oldendorff“ hätte aber ebensogut von See kommen können. Auch ging die See hoch und es herrschte Weststurm, doch waren die Verhältnisse nicht so außerge-wöhnlich, daß man von „höherer Gewalt“ sprechen könnte.

Die Erklärungsversuche gehen von der Stabilität bei der Ausreise in glattem Wasser aus, die sehr sorgfältig ermittelt wird, z. B. von Dahlmann in einem Gutachten, das dem See-amtspruch beigelegt ist¹⁾. Es sei schon hier bemerkt, daß die weiter unten in diesem Aufsatz benutzten Glattwasser-werte nicht beträchtlich von den in dem Seeamtspruch verzeichneten abweichen. Im wesentlichen kommen dann alle Erklärungsversuche darauf hinaus, daß auf Grund des stattgefundenen Kenterns rückwirkend auf eine „Über-beanspruchung“ der Stabilität geschlossen wird, die zu dem

¹⁾ Seeamt Bremerhaven, Spruch vom 4. Juni 1952.

Ereignis geführt haben muß; diese Überbeanspruchung wird in allgemeinen Worten geschildert. Zwischen den Koksstücken festgehaltenes Wasser, vom Koks aufgesaugtes Wasser, eine Überladung des Schiffes usw. spielen dabei eine Rolle, und als Konsequenz wird schließlich eine größere Glattwasserstabilität gefordert. Hebecker²⁾ greift zu be-sonderen hydrodynamischen Erscheinungen, die für Wellen auf flachem Wasser und unter Strom- und Windeinfluß ver-mutet werden; sie sollen zu bisher nicht untersuchten be-sonderen Krängungsmomenten Anlaß geben. Es wäre sehr zu wünschen, wenn diese Hinweise zu eingehenderen Unter-suchungen führten, denn über die Kräfte, die in Flach-wasserwellen auftreten, ist bis heute kaum etwas Sicheres bekanntgeworden. Doch dürfte im vorliegenden Fall das Verhältnis Wassertiefe zu Wellenlänge noch so groß sein, daß wir mit den Tiefwasserwellen, die besser erforscht sind, noch einigermaßen das Richtige treffen.

Die „Irene Oldendorff“ war nicht nur ein durchaus see-tüchtiges Schiff, sondern überdies ein Schutzdecker, also ein Schiff mit hohem effektiven Freibord, mit großer Re-serveverdrängung. Dieser Schiffstyp wird bekanntlich als besonders gutes Seeschiff angesehen.

Wie weiter unten ausführlicher gezeigt werden wird, entsprach die Stabilität bei Abgang des Schiffes den Werten, die auf Grund einer mühsam erarbeiteten Statistik (Rahola) — gewissermaßen gesammelter praktischer Erfahrungen — bisher als ausreichend angesehen wurden. Mindestwerte, die mit den in der genannten Statistik angegebenen praktisch übereinstimmen, werden auch von den Aufsichtsbehörden bis heute eingesetzt, stellen also sozusagen den Stand des Wissens dar. Ich glaube deshalb, daß kaum einer der Fach-leute, die nach dem Unfall das Verhalten von Schiffsführung oder von anderen Beteiligten verurteilten, das Schiff bei Jer Ausreise für nicht seefähig erklärt hätte, und ich halte diese Auffassung auch für den Fall aufrecht, daß etwa die Möglichkeit bestanden hätte, kurz vor Abfahrt einen Krän-gungsversuch und eine genaue Stabilitätsberechnung durch-zuführen.

Aus dem Unfall ist also der Schluß zu ziehen, daß unsere Kenntnis über die notwendige Stabilität noch Lücken auf-weist; Lücken nicht allein vom Standpunkt des Forschers aus — das ist bei jeder lebenden Wissenschaft der Fall —, sondern Lücken, welche die sehr praktische Aufgabe, die erforderliche Stabilität für ein Seeschiff festzulegen, nicht zu lösen gestatten.

Aufgabenstellung

Im folgenden wird nun über Rechnungen und Versuche berichtet, die ein erster Schritt zur Beseitigung dieser Lücken darstellen sollen. Das Schiff wurde mit der für den Abfahrtszustand errechneten Stabilität Verhältnissen aus-gesetzt, die mit den Tatbeständen vor dem Untergang über-einstimmen. Ohne Zweifel lagen auf der letzten Reise Ab-weichungen vom Normalen vor, die besonders zu studieren sind, denn nur daraus kann eine Aufklärung erwartet wer-den, warum und wie die Stabilität so weit verringert wer-den konnte, daß es zum Kentern kam. Das Schiff hatte sich ja bereits auf einigen Reisen — mit ganz ähnlicher Befal-dung — als gutes Seeschiff erwiesen. Diese Abweichungen sind:

- die hohe schräg unter etwa 45 Grad von hinten kommende See und
- die Koksladung auf Deck.

Es wird also zu untersuchen sein, mit welchen Verringe-rungen der Glattwasserstabilität als Folge dieser Abwei-chungen zu rechnen ist.

Die folgenden Ausführungen sind einem Gutachten ent-nommen, das Verf. dem Landgericht Lübeck erstattet hat. Der Prozeß, der dazu den Anlaß gab, ist noch nicht abge-schlossen. Die Veröffentlichung dieses Auszuges geschieht aber mit Einverständnis des Gerichts.

²⁾ Dr. Hebecker: „Seegangsbetrachtungen zum Kentern des FD „Tho“ und der „Irene Oldendorff“, Seewart, Heft 1, 1952, S. 24.

Seegang und Wind

Es herrschte Weststurm Stärke 8. Starker Wind aus W oder WSW wehte auch schon stundenlang vorher, wodurch die Bildung eines hohen Seegangs begünstigt wurde. Nach Aussage des Kapitäns des Lotsendampfers „Borkum“, der im nahegelegenen Hubertgatt kreuzte, war die See höher als sonst bei dieser Windstärke, sie entsprach etwa Windstärke 10. Die Wellenhöhe betrug etwa 6 bis 8 m.

Sorgfältige Beobachtungen, über lange Zeit gesammelt und statistisch ausgewertet^{2a)}, geben für die südliche Nordsee an: Bei Windstärke Beaufort 10 treten Wellen von im Mittel 80 m Länge und 4,5 m Höhe auf, bei Windstärke 8 sind die Wellen im Mittel 60 m lang und 3,5 m hoch. Aus einer neuen sehr systematischen Sammlung nahezu sämtlicher Wellenbeobachtungen³⁾ ist zu entnehmen, daß einzelne Wellen auftreten, die bis zu 40% höher sind als das Mittel. Man kommt so auf eine Höhe von 6,3 bis 7 m. Solche die mittlere Höhe erheblich übertreffende Einzelwellen können auch in größerer Zahl aufeinanderfolgen.

Die Aussage des Kapitäns des Lotsendampfers gibt den Eindruck wieder, den die Wellen im Hubertgatt machten. Der Unfall geschah ca. 4 bis 5 sm nördlicher. Die Beschaffenheit des Meeresbodens im Hubertgatt — vor allem die Einschnürung des tieferen Fahrwassers von Süden her — läßt für dieses Gebiet eher etwas höhere Wellen vermuten als für den weiter nördlich liegenden Unfallort. Aber auch am Ort des Unfalls wirkt der auf großer Breite allmählich ansteigende Meeresboden auf Erhöhung der Wellen und Ausbildung großer Kammlängen hin. Die Wellen werden hier höher und steiler, auch etwas kürzer als im tiefen Wasser, für das die angeführten Mittelwerte gelten, jedoch nicht höher als im Hubertgatt, wo die Einschnürung des Fahrwassers auch auf ein Höherwerden der Wellen hinwirkt. Dagegen wird das Wellenfeld gleichmäßiger, Wellen mit beträchtlicher Kammlänge und gleicher Fortpflanzungsrichtung sind hier häufiger zu erwarten.

Obwohl der Anstieg des Meeresbodens relativ gering ist, (etwa $\frac{1}{500}$) und auch die Wassertiefe — ca. 18 bis 20 m — im Verhältnis zur Wellenhöhe noch als groß anzusehen ist, kann bei den hohen und damit energiereichen Wellen doch damit gerechnet werden, daß gelegentlich Brechen auftritt. Eine Bestätigung dafür, daß an der Unfallstelle vor der Küste Borkums mit solchen Verhältnissen zu rechnen ist, mag eine Beobachtung des Wasserbauers Franzius geben: „Von der Insel Borkum aus sieht man bei mäßigem Westwinde über dem etwa 20 Seemeilen entfernten und 20 bis 30 m tiefen westwärts sich erstreckenden sogenannten Borkumer Riff eine beständige Brandung, deren Wellen mindestens die doppelte Höhe wie weiter in See haben und deren Wirkung sich bis an den Strand der Insel erstreckt; bei östlichen Winden dagegen fehlt dort jede merkliche Brandung“⁴⁾.

Für Ort und Zeit des Unfalls kann danach mit folgendem Seegang gerechnet werden: Wellen laufen etwa in Richtung von Westen nach Osten, die Kammlänge ist beträchtlich, etwa von der Größe der Wellenlänge; es herrscht also ziemlich gleichmäßige Windsee, Wellenlänge 60 bis 80 m, Wellenhöhe im Mittel 5 m mit Wellengruppen bis zu 7 m Höhe (Bild 3)⁵⁾. Die hohen Wellen branden vielfach, sie zeigen dann eine stärker geneigte Leeseite als auf Bild 3 und manchmal Brecher am Kamm. Die Störung der Kreisbewegung der Wasserteilchen in der Welle erstreckt sich wegen der noch beträchtlichen Wassertiefe jedoch nur auf die obersten Schichten der Berge; sie besteht in einem Vorwärtweichen der Wasserteilchen auf dem Kamm im Augenblick des Brechens gegenüber dem ungestörten unteren Bereich des Wellenkörpers.

2a) Von der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt.

3) S. S. Ocean Vulcan Sea Trials, London 1953.

4) Franzius und Sonne: „Der Wasserbau“, 1901.

5) Für die Wellenlänge von 60 m würde 7 m die nach vielen Beobachtungen von Tiefwasserwellen (S. S. Ocean Vulcan Sea Trials, 1953) größtmögliche Höhe darstellen.

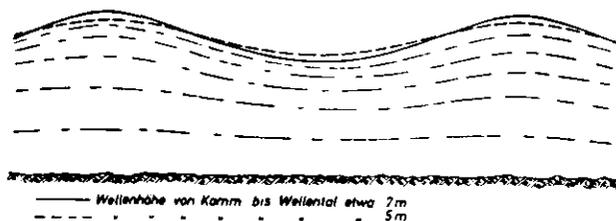


Bild 3

Bei den angenommenen Wellen handelt es sich um Übergangswellen; sie treten auf bei der Umformung der eigentlichen Tiefwasserwellen, die nicht bis zum Grund reichen, in Seichtwasserwellen, bei denen die Bewegung der Wasserteilchen in unverminderter Stärke bis zum Grunde reicht. Jedoch ist hier die Bewegung der Teilchen am Meeresgrund nur etwa $\frac{1}{4}$ so groß wie an der Oberfläche, so daß die Wellen noch eher Tiefwasserwellen als Seichtwasserwellen gleichen. Bei den angestellten Berechnungen, auf die weiter unten eingegangen wird, wurde jedenfalls angenommen, daß das Wellenprofil sinusförmig ist, was für Tiefwasserwellen eine gebräuchliche Näherung darstellt.

Es sei noch auf die sogenannten „Grundseen“ eingegangen. Diese Bezeichnung wird nicht immer im gleichen Sinne verwendet. In gewissem Grade ist die angenommene See schon eine Grundsee, da sie von dem der Oberfläche immer näherkommenden Meeresboden beeinflusst wird. Vielfach wird als Grundsee aber erst eine Welle bezeichnet, die nur bei sehr steilem Anstieg des Meeresbodens zustande kommen kann. Für eine solche fehlt hier die Voraussetzung, eben der steile Anstieg.

Beladung des Schiffes

Feststeht auf Grund zahlreicher übereinstimmender Aussagen, daß aus den Tiefgangsablesungen vorn und hinten ein mittlerer Tiefgang von 5,51 m angenommen werden kann. Aus den von der Werft dem Schiff mitgegebenen Unterlagen ergibt sich dafür eine Verdrängung von 4575 t. Dem mittleren Tiefgang von 5,51 m entspricht bei Annahme eines spezifischen Gewichts des Wassers in der Schleuse von $\gamma = 1,01$ ein Tiefgang in See von 5,43 m. Zu den durch Freibordzertifikat vorgeschriebenen und an der Außenhaut des Schiffes aufgemalten Freibordstrichen gehören Tiefgänge in See für den Sommer von 5,42 m und für den Winter von 5,31 m. (Bild 4).

Wegen des bis zum Schutzdeck wasserdicht hochgezogenen Schiffsrumpfes weist das Schiff eine große Reserveverdrängung auf. Sie beträgt ca. 3000 t und wird durch die Überschreitung der Winterfreibordmarke um 12 cm ca. 120 t, d. h. nur um etwa 4% geringer.

In diesem Zusammenhang sei auf eine wichtige Tatsache hingewiesen, die aus den für Vermessung und Freibord gültigen internationalen Bestimmungen folgt. Die „Irene Oldendorff“ hätte ohne die Sicherheit gegen Sinken oder Kentern wesentlich beeinflussende bauliche Änderungen auf Wunsch des Reeders auch als Volldecker vermessen werden können. Als Volldecker hätte dann das Schiff einen erheblich geringeren Freibord, etwa 1,52 m für Winter und See erhalten (gerechnet vom obersten durchlaufenden Deck), also mit einem Tiefgang von ca. 6,40 m fahren können. In Bild 4 ist auch dieser Tiefgang eingetragen, gestrichelt. Das bedeutet also, daß praktisch das gleiche Schiff — abgesehen von einer stärkeren Eisenkonstruktion des Volldeckers — mit sehr verschiedenen Freiborden fahren kann.

Die große Reserveverdrängung des Schutzdeckers „Irene Oldendorff“ wird mit ein Grund gewesen sein, weshalb die Aufsichtsbehörde dem Schiff für Fahrten zwischen deutschen Häfen gestattete, die Freibordmarke für Sommer (11 cm über der für Winter) auch im Winter einzustellen.

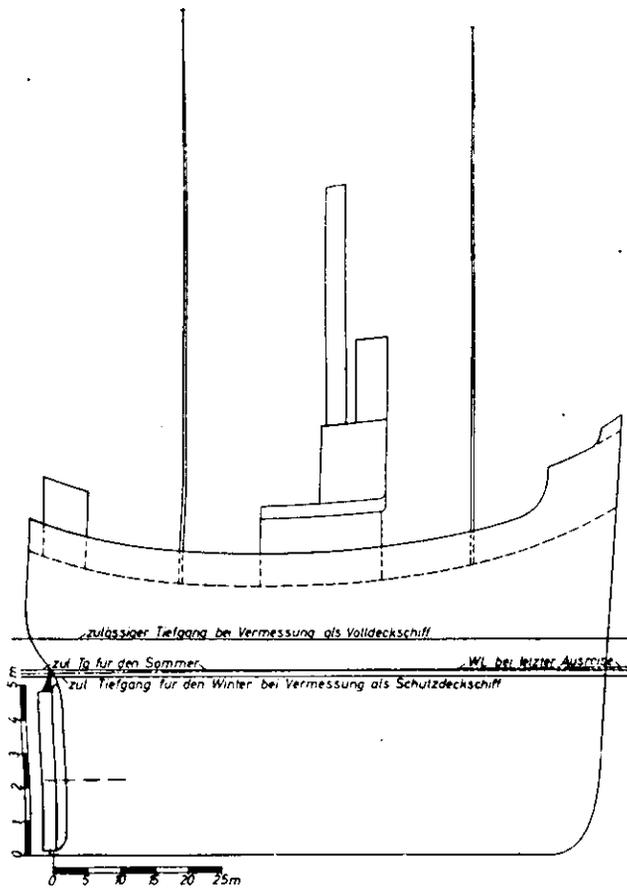


Bild 4

Eigenschaften einer Decksladung aus Koks

Kann man annehmen, daß die Deckslast fest mit dem Schiffskörper verbunden ist, so entsteht an ihr, sobald sie eintaucht — was bei größeren Neigungen offenbar eintreten muß — ein Auftrieb. Dieser tritt weit außen am eintauchenden Keil auf und wirkt wegen des großen Hebelarms aufrichtend; er vergrößert also die Stabilität. Diese Vergrößerung ist proportional dem von der Deckslast verdrängten Wasservolumen, also bei einer kompakten Masse größer als bei einer geschütteten mit erheblichen luft- oder wassergefüllten Zwischenräumen. Voraussetzung ist auch, daß die Deckslast mit dem Schiffskörper fest verbunden bleibt und nicht aufschwimmt. Das kann für kleine und mittlere Neigungswinkel angenommen werden, jedenfalls wenn es sich um kompakte Massen, wie z. B. gut gestaute und gelaschte Holzbretter, handelt. Es ist dies einer der Gründe, weshalb Volldeckern mit Aufbauten ein geringerer Freibord zugestanden wird, wenn sie Holzdeckslast fahren.

Eine für die Aufklärung dieses Unfalls wie auch grundsätzlich wichtige Frage ist nun, ob ein Schiff mit Koks an Deck ebenso sicher ist wie mit Holz an Deck. In den internationalen Vorschriften über die Erteilung des erwähnten „Holzfreibords“ wird ausdrücklich im einleitenden Paragraphen betont, daß der geringe Freibord nur gelten soll für „timber“, also aus Brettern, Planken, Balken, Stäben bestehende Decksladung, nicht dagegen, wenn diese aus „wood pulp“ (Holzmasse für Papierherstellung) oder similar cargo“ besteht. Es wird also ein Unterschied gemacht zwischen verschiedenen Decksladungen; die Vergünstigung wird nur für gut gestautes und fest gelaschtes Holz gewährt. Es kann kein Zweifel bestehen, daß danach Koks, wenn auch nicht ausdrücklich aufgeführt, zu „similar cargo“ zu zählen ist, also nicht einer Holzladung gleichzusetzen ist. — Andererseits liegt es nahe, bei einem Vergleich, der allein auf die spezifischen Gewichte abgestellt ist, Koks und Holz gleich zu behandeln. Gestautes Holz und geschütteter Koks haben etwa das gleiche spezifische Gewicht oder anders ausgedrückt, sie benötigen pro Tonne Gewicht etwa gleichen Raum.

Um Klarheit über die besonderen die Stabilität beeinflussenden Eigenschaften von als Deckslast gefahrenem Koks zu gewinnen, wurde eine Reihe von Versuchen angestellt. Bei geschüttetem Koks sind viele Lufträume zwischen den einzelnen Koksstücken vorhanden, ca. 50 % des Schüttvolumens. Durch die Experimente sollte vor allem zuverlässig ermittelt werden, in welchem Maße Wasser, das in erheblichen Mengen auf den Koks auftrifft — wie etwa bei überkommenden Seen —, in den Lufträumen des geschütteten Kokses aufgenommen wird. Es war weiterhin zu prüfen, ob das eingedrungene Wasser schnell durch den Koks hindurchrinnt und wieder vom Schiff abfließt. Es ist offensichtlich, daß eine große, längere Zeit im Koks festgehaltene Wassermenge eine zusätzliche Last darstellt, die, da ihr Schwerpunkt hoch liegt und da sie im allgemeinen auch an einer Schiffseite größer sein wird als an der anderen, unter allen Umständen zu einer Verringerung der Stabilität führen muß. Weitere Versuche sollten zeigen, wieviel Wasser das einzelne bereits längere Zeit Wind und Wetter ausgesetzte Koksstück etwa bei Regen „aufsaugen“ und über lange Zeit festhalten kann, und schließlich wurde geprüft, ob der auf Deck aufgestapelte und nur durch zwischen Holzstützen gespannten dünnen Maschendraht seitlich gehaltene Koks noch genügend festliegt und als fest mit dem Schiff verbunden angesehen werden kann, um nennenswerte Auftriebskräfte auf das Schiff zu übertragen.

Die Hauptversuche wurden an einem Decksquerschnitt, der eine Nachbildung eines Teils des Schutzdecks der „Irene Oldendorff“ mit Luken, Schanzkleid und Schanzkleidpforten im Maßstab 1 : 16 darstellte, durchgeführt. (Bild 5). Vor

Beginn der Experimente mit diesem Modell wurde in Vorversuchen mit koksgefüllten Rohren festgestellt, welche Größe die Koksstücke haben müßten, die auf das Modell zu schütten waren. Die Verhältnisse am Modell sollten denen des großen Schiffes genau entsprechen. Das bedeutet u. a., daß die Ausflußzeiten an den im Maßstab 1 : 16 verkleinerten Modell sich zu den Ausflußzeiten auf der „Irene Oldendorff“ ebenso verhalten müssen wie die Periode der Rollschwingungen eines im Maßstab 1 : 16 verkleinerten kompletten schwimmenden Schiffsmodells zu der Rollperiode des großen Schiffes. Auch ohne Vertiefung in die Ähnlichkeitsmechanik ist einzusehen, daß, wenn etwa beim Schiff während einer Hin- und Herbewegung die Hälfte der aufgenommenen Wassermenge wieder frei wird, dies auch beim Modell während einer Hin- und Herbewegung der Fall sein muß. Die Perioden der Rollschwingungen für Modell und Schiff verhalten sich wie $1 : \sqrt[3]{16} = 1 : 4$ und ebenso müssen sich also auch die Ausflußzeiten zueinander verhalten.

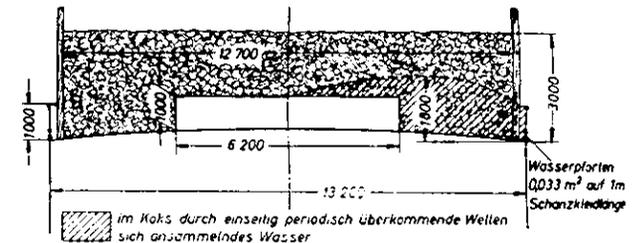


Bild 5

Die Versuche hatten folgende Ergebnisse⁶⁾:

1. Wasser, wenn es in größeren Mengen, etwa durch überkommene Seen von oben oder seitlich auf den auf Deck geschütteten Koks auftrifft, wird nahezu vollständig aufgenommen. Der geschüttete Koks verhält sich etwa wie ein weitmaschiges Sieb.
2. Das in den geschütteten Koks eingedrungene Wasser wird nicht ebenso schnell wieder freigegeben. Das Eindringen

6) Siehe auch W. Stumer: „Forschungshette für Schiffstechnik“, Band 2, Heft 7.

gen geschieht über eine große Fläche, es ist praktisch kein Widerstand zu überwinden; dagegen muß das Wasser sich beim Durchfließen und beim Ausfließen seinen Weg durch die Koksmasse und zum weitaus größten Teil auch durch die Schanzkleidpforten suchen. Bild 6 zeigt maßstäblich wie

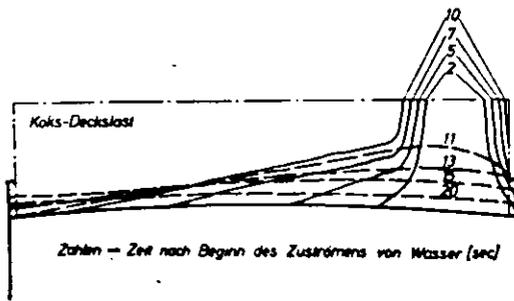


Bild 6

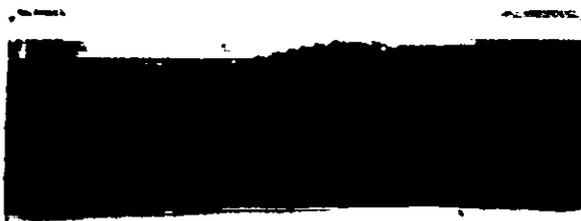


Bild 7

sich oben seitlich auf die Deckslast gegossenes Wasser im Koks zunächst ausbreitet und wie es ausfließt. Das Bild wurde aus einer großen Zahl von Fotos zusammengestellt. Ein solches Foto zeigt Bild 7. Bild 8 gibt Kurven „Wassermenge im Koks über der Zeit“ für 12 l gleichmäßig in 10 sec

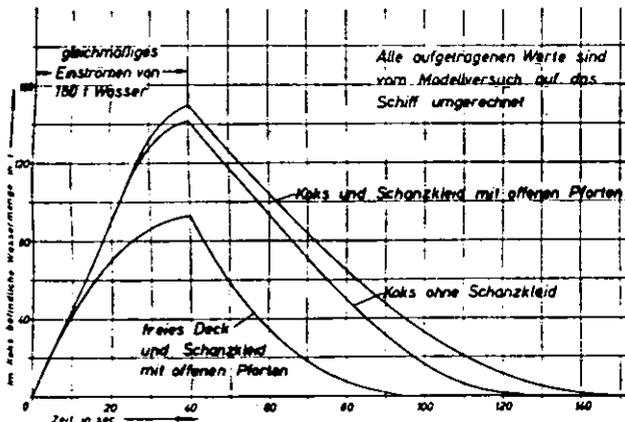


Bild 8

In Koksdecksladung festgehaltene Wassermenge, über der Zeit aufgetragen

eingegossenes Wasser wieder. Den 12 l in 10 sec würden für das Schiff 180 t in 40 sec entsprechen, die etwa durch eine See seitlich auf die Deckslast geschleudert wurden. Die Versuche wurden für

Koks mit Schanzkleid und offenen Pforten,
Koks ohne Schanzkleid,
freies Deck mit Schanzkleid und offenen Pforten
ausgeführt.

Es zeigte sich, daß eine Koksladung auf Deck, ob mit oder ohne Schanzkleid, den Wiederabfluß auf Deck gekommener Seen sehr beträchtlich verzögert. Sie kann deshalb zu einer Ansammlung von Wasser auf Deck führen, die weit größer ist als die Ansammlung, die auf einem freien Deck statt-

findet, wenn dies von einem Schanzkleid mit normalen Wasserpforten eingefaßt ist. Auch weit größere Pforten als wie sie auf der „Irene Oldendorff“ vorhanden waren, z. B. durchlaufende Schlitze, würden die durch die Koksladung bewirkte Verzögerung des Abfließens nicht wesentlich beeinflussen.

Aus den Kurven von Bild 8 wurde berechnet, welche Wassermengen sich auf Deck ansammeln. Folgende Annahmen wurden gemacht:

Schanzkleid 1 m hoch,
Pfortenquerschnitt 0,033 m² auf 1 m Schanzkleidlänge,
Schiffsgeschwindigkeit 10 Knoten,
jede Welle schleudert 20 t Wasser aufs Deck.

Die Begegnungsperiode, d. h. die Zeit, die zwischen dem Auftreffen von zwei aufeinanderfolgenden Wellenbergen verstreicht, wurde zu 15 sec angenommen. Als mittlere auf Deck festgehaltene Wassermenge ergibt sich bei 20 t pro Welle auf Deck gegebenem Wasser:

	ohne Koks t	mit Koks t
nach 1 Welle	10	18
nach 3 Wellen	25	47
nach 5 Wellen	30	64
nach 7 Wellen	30	77
nach 12 Wellen und mehr	30	90

Mit 90 t ist die Kokslast etwa wie in Bild 5 gezeichnet aufgefüllt. Die Rechnung wurde im wesentlichen bestätigt durch Versuche, bei denen in gleichen Zeitabständen gleiche Wassermengen seitlich auf das Deck mit und ohne Kokslast geschüttet wurden.

3. Wenn die Koksmasse von Wasser durchflutet ist, werden die einzelnen Stücke gegeneinander beweglicher, da sie mit geringerem Druck aufeinander lasten. Einfache Versuche, bei denen das Modell von Hand geneigt und wieder aufgerichtet wurde, zeigten bei völlig überflutetem Koks ein Rutschen der oberen Schichten schon bei einem Neigungswinkel, der nur etwa ein Drittel desjenigen betrug, der trockenen Koks zum Rutschen brachte.

4. Die hygroskopische Aufsaugung erbringt bei längerer Zeit in Wasser eingetauchten, normal abgelagerten Koks mittlerer Stückgröße eine Gewichtsvermehrung von etwa 3 %. Dieses Wasser kann nur durch Austrocknen wieder aus dem Koks herausgebracht werden.

Die Ergebnisse der Versuche werden später bei der Rekonstruktion des Unfallherganges benutzt. Schon hier sei aber betont, daß aus den Versuchen klar zu folgern ist, daß Koks als Decksladung ganz andere Eigenschaften hat als eine kompakte Holzlast. Koks weist überkommendes Wasser nicht ab. Im Gegenteil, bei aufeinanderfolgenden Brechern kommt es zu einer Ansammlung von Wasser auf Deck. Ob mit einem zusätzlichen Auftrieb von nennenswerter Größe gerechnet werden kann, insbesondere wenn, wie im vorliegenden Fall, wegen des großen Freibords die Decksladung erst bei Neigungswinkeln zu Wasser kommt, bei denen selbst trockener Koks schon zu rutschen beginnt, ist zumindest sehr zweifelhaft. Durch das Leichter-beweglich-Werden der durchfluteten Koksladung können bei starkem Überholen des Schiffes seitliche Kräfte von solcher Größe auf Maschendraht und Stützen kommen, daß diese brechen und die Ladung über Bord geht. Das ist durchaus kein sehr seltenes, vereinzelt dastehendes Ereignis. Z. B. berichteten verschiedene Zeugen über derartige Fälle. Allerdings geht auch eine Holzlast gelegentlich über Bord. Das Überbordgehen der Ladung ist vom Standpunkt der Stabilität des Schiffes meist vorteilhaft, da ein hochgelegenes Gewicht verschwindet. Es wird ja auch von den Versicherungen ein Unterschied gemacht zwischen der Sicherheit des Schiffes und der geringeren Sicherheit der Decksladung.

Stabilität im glatten Wasser

Für die Sicherheit des Schiffes gegen Kentern sind die Hebelarme der Stabilität die entscheidende Größe. Hebelarm mal Schiffsgewicht gibt das Stabilitätsmoment, welches das Schiff nach Neigung wiederaufrichtet. Die für die einzelnen Neigungswinkel bei sonst ungestörtem Schiff gültigen Hebelarme werden üblicherweise in der Hebelarmkurve dargestellt. (Bild 9). Das Gesagte gilt ohne Einschränkung für glattes Wasser.

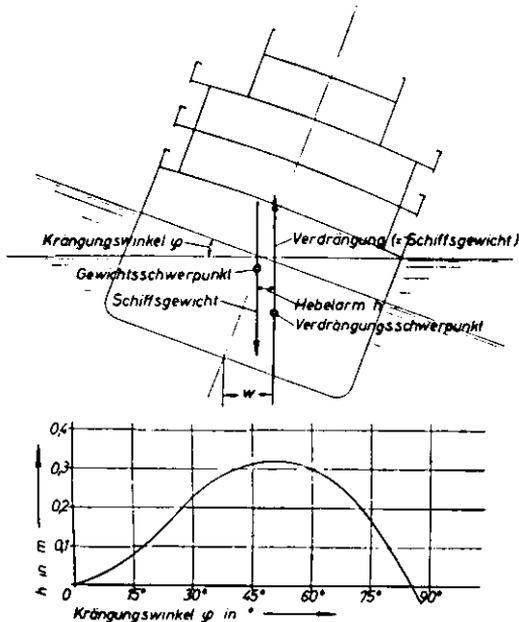


Bild 9

Der Hebelarm ist der senkrechte Abstand der resultierenden Gewichtskraft, die man sich durch den Gewichtsschwerpunkt und senkrecht zum Wasserspiegel nach unten gerichtet zu denken hat, von der resultierenden Auftriebskraft, die man sich durch den Schwerpunkt des eingetauchten Schiffsvolumens (Verdrängungsschwerpunkt) und senkrecht zum Wasserspiegel nach oben wirkend vorzustellen hat. Die Lage des letztgenannten Verdrängungsschwerpunktes ist nur von der Form des eingetauchten Schiffsteils abhängig, also prinzipiell einfach zu berechnen. Dagegen ist die Lage des Gewichtsschwerpunktes von der Verteilung der Gewichte, die insgesamt das Schiffsgewicht bilden, abhängig. Wie aus Bild 9 zu entnehmen ist, bedeutet eine höhere Lage des Gewichtsschwerpunktes als gezeichnet, daß die Hebelarme kleiner werden. Faßt man einen bestimmten Neigungswinkel ins Auge, so gibt es eine Lage, bei der der Hebelarm gleich Null wird, und wenn der Gewichtsschwerpunkt noch höher liegt, wird der Hebel negativ, was bedeutet, daß nicht mehr ein aufrichtendes, sondern ein kenterndes Moment auftritt. Für ein bestimmtes und auf einen bestimmten Tiefgang abgeladenes Schiff ist also die Stabilität nur noch durch Veränderung der Höhenlage des Gewichtsschwerpunktes zu beeinflussen.

Da die rechnerische Ermittlung dieses Punktes wegen der vielen Teilgewichte, aus denen sich das Schiffsgewicht zusammensetzt, auf praktische Schwierigkeiten stößt, wird ein Krängungsversuch gemacht. Er besteht im Prinzip einfach darin, daß man das Schiff durch seitliche Verschiebung eines bestimmten Gewichtes um eine bestimmte Strecke neigt. Es wird also ein krängendes Moment aufgebracht, dessen Größe man kennt. Für den sich einstellenden und leicht zu messenden Neigungswinkel muß das bekannte krängende Moment gerade gleich dem Stabilitätsmoment sein, man kennt also auch dieses, und da das Schiffsgewicht aus dem Tiefgang gleichfalls bekannt ist, auch den Hebelarm. Damit liegt der Abstand der Krafrichtungen (Bild 9) fest, und da für das Schiff die Lage des Verdrängungsschwerpunktes, also auch die Richtung der resultierenden Auftriebskraft bekannt ist, ist damit die Lage des Gewichtsschwerpunktes als Schnittpunkt der Gewichtskraft und der Symmetrielinie (auf dieser muß er ja liegen, sonst könnte das Schiff nicht aufrecht schwimmen) bekannt.

Die Lage des Gewichtsschwerpunktes ist nun natürlich sehr verschieden, je nach der Beladung des Schiffes. Es wären also streng genommen Krängungsversuche ⁷⁾ für jede Beladung auszuführen. Das wird auch von manchen Fachleuten vorgeschlagen. Zur Zeit geht man aber anders vor. Es werden die im Schiffsbetrieb hinzukommenden wechselnden Gewichte — Ladung, Brennstoff und Vorräte — bei der Ausarbeitung der Stabilitätsunterlagen durch Rechnung berücksichtigt. Der Krängungsversuch wird im allgemeinen nur einmal mit dem fertigen leeren Schiff durchgeführt.

Es lagen nur die Ergebnisse von Krängungsversuchen vor, die mit drei Schwesterschiffen angestellt wurden. Der ungünstigste Versuch, d. h. der, welcher die höchste Lage des Gewichtsschwerpunktes ergab, wurde auf den weiteren Rechnungen zugrunde gelegt. Auf Grund folgender Schwerpunktabstände wurde die Höhe des Gewichtsschwerpunktes des gesamten beladenen Schiffes errechnet:

Teilgewicht	Schwerpunktabstand v. Kiel		Moment
	t	m	
Schiff seeklar	1390	5,52	7677
Ladung Raum I u. Ia	1243	5,08	6314
Ladung Raum II u. IIa	1068	5,08	5425
Ladung Deck vorne	170	10,00	1700
Ladung Deck achtern	269	9,80	2636
Brennstoff Tank II Mitte	57	0,42	24
Brennstoff in Tagestanks	29	5,50	130
Speisewassertank IV, Mitte	35	0,42	15
Proviand und Effekten	10	8,00	80
Frischwasser	15	0,42	6
Ballast Vorpiek	62	3,50	217
Ballast Tank I voll	90	0,45	41
Ballast Tank Bb. u. Stb. voll	105	0,48	50
Ballast Tank VII 85 % voll	32	0,55	18
	4575		24333

Höhe des Gewichtsschwerpunktes über Kiel = $\frac{24333}{4575} = 5,32$ m

Für die Verdrängung von 4575 t ergaben sich damit Hebelarme, die durch die obere Begrenzungskurve des Streifens auf Bild 10 wiedergegeben werden.

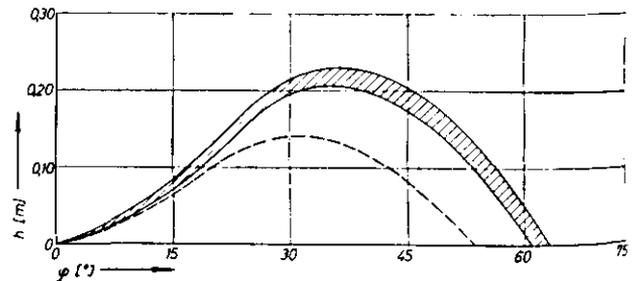


Bild 10

Einigen der aufgeführten Einzelgewichte und Schwerpunktabstände haftet eine gewisse Unsicherheit an. Das gilt auch für die abgelesenen Tiefgänge. Schließlich ist es möglich, daß der Koks durch Aufsaugung von Regen, als er in den Schleppkähnen lag, einen Gewichtszuwachs von etwa 1 % (es fiel nur wenig Regen in der fraglichen Zeit) erfahren hat. Als Resultat einer ganzen Anzahl von Rechnungen, in denen die Auswirkung dieser Unsicherheiten auf die Hebelarme geprüft wurden, ergab sich der in Bild gezeichnete Streifen. Innerhalb dieses Streifens ist die Hebelarmkurve anzunehmen, die für glattes Wasser zur Zeit des Untergangs zu gelten hätte. Aus von der Schiffs-

⁷⁾ Oder auch andere Versuche, z. B. Rollversuche, die im Ergebnis auf dasselbe hinauskommen.

leitung aufgestellten Stauplänen früherer Reisen wurde derjenige Fall herausgesucht, der die ungünstigste Hebelarmkurve ergab: gestrichelte Kurve auf Bild 10. Er ist nicht unbedeutend ungünstiger als der Streifen.

Der Stabilität des Schiffes, also den aufrichtenden Momenten Schiffsgewicht mal Hebelarm, müssen nun, um zu einem Urteil über die Gefährdung zu kommen, die äußeren krängenden Momente gegenübergestellt werden. In Bild 11

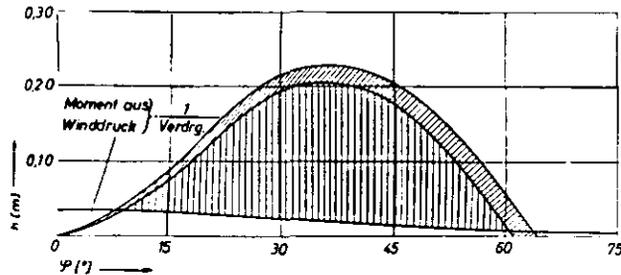


Bild 11

Die krängenden Momente werden mit dem Faktor $\frac{1}{\text{Verdrängung}}$ multipliziert, um sie mit den Hebelarmen der statischen Stabilität vergleichen zu können

sind dem gefundenen Streifen krängende Momente gegenübergestellt, die sich aus dem Druck des Windes auf das Schiff ergeben. Die Windgeschwindigkeit wurde entsprechend Beaufort 10 angesetzt. Es stellt sich ein Krängungswinkel von etwa 8 Grad ein. Durch Windböen kann das Schiff noch weiter, bis etwa 14 Grad, geneigt werden, doch nur für einen kurzen Augenblick. Auch die Momente, die durch Hartruderlegen hinzukommen könnten, bringen nur eine geringfügige Erhöhung der Kurve. — In Bild 12 ist

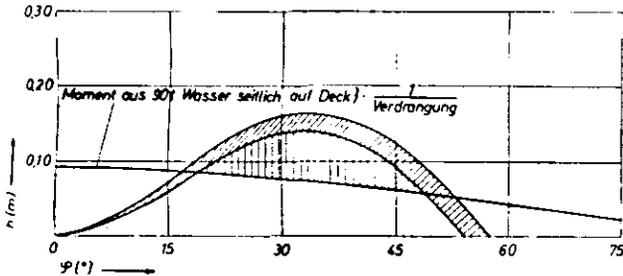


Bild 12

das krängende Moment, das bei 90 t zusätzlicher im Koks festgehaltener Wasserlast auftritt, einem Streifen mit reduzierter Höhe gegenübergestellt. Die Wasserlast im Koks ist, wie auf Bild 5 gezeichnet, angenommen. Verringert wurde die Höhe des Streifens, weil die Wasserlast ein zusätzliches Gewicht auf Deck darstellt; die Verdrängung wird dadurch größer, der Gewichtsschwerpunkt verschiebt sich nach oben und die Hebelarme werden kleiner. — Bild 13 schließlich

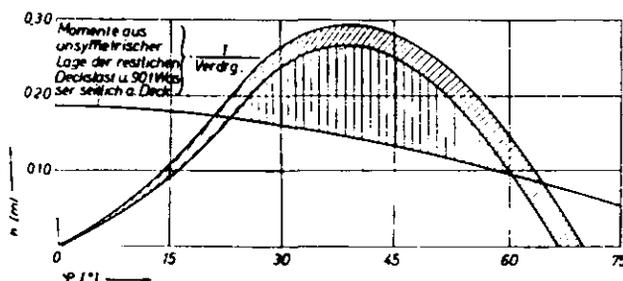


Bild 13

gibt die Verhältnisse wieder, wenn ein Teil der Deckslast (Bild 14) über Bord gegangen ist. Jetzt tritt eine Verbesserung der Stabilität auf, was seinen Ausdruck in einer höheren Lage des Streifens findet.

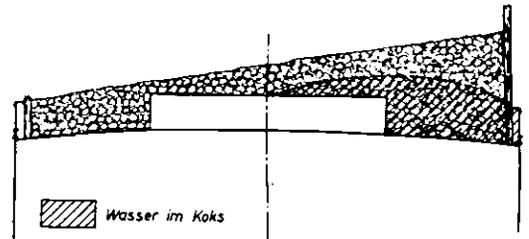


Bild 14

Bei allen vorgenommenen Gegenüberstellungen zeigt sich, daß ein Bereich positiver Stabilitätsmomente (|||||schaffiert), also auch positiver Hebel bestehen bleibt. Unter Einwirkung dieser krängenden Momente würde das Schiff also nicht kentern. Zugrunde gelegt wurde allerdings die für glattes Wasser gültige Stabilitätskurve. Im nächsten Abschnitt wird untersucht werden, welche Änderungen der Stabilität zu erwarten sind, wenn das Schiff solchen krängenden Momenten im Seegang ausgesetzt ist. Vorher sei noch auf folgendes hingewiesen: Es wurden dem Stabilitätsmoment die drei Arten von krängenden Momenten gegenübergestellt, die an der „Irene Oldendorff“ auf ihrer letzten Reise auftreten konnten. In jedem Fall waren gewisse Annahmen notwendig, aber diese Annahmen sind von verschieden hoher Zuverlässigkeit und auch die Ergebnisse sind verschieden zu interpretieren.

Der Fall der Krängung durch Winddruck (Bild 11) zeigt, daß allein durch den Wind unter gar keinen Umständen ein Kentern hervorgerufen werden kann. Die Windgeschwindigkeit mag selbst um 50 oder 100 % unterschätzt sein (was nicht wahrscheinlich ist), das Winddruckmoment bleibt doch so gering, daß die Folgerung aus der Rechnung uneingeschränkt gilt.

Gefahrbringender ist der in Bild 13 wiedergegebene Fall. Ginge dort aber noch mehr von der Deckslast über Bord, so würde die verbleibende Stabilität größer, nicht geringer werden. Es scheint also so, als ob durch Überbordgehen der Deckslast keine so große Kentergefahr entstehen könnte wie durch an Deck geschleudertes und am Abfließen gehindertes Wasser (Bild 12). Das gilt natürlich nur, wenn ein großer Teil der Deckslast schnell, möglichst während einer Halbschwingung, über Bord geht, nicht, wenn die Deckslast sich im Verlaufe einer Folge von Rollschwingungen allmählich immer mehr nach einer Seite verlagert und dort etwa durch weit über den glattgestauten Koks hinausragende Stützen festgehalten wird. Und es gilt selbstverständlich auch nur, solange dabei keine beträchtlichen Verletzungen des Schiffes auftreten. Solche Verletzungen sind nicht unmöglich, doch bei dem guten Zustand des Schiffes nicht wahrscheinlich, jedenfalls nicht in der Phase, in der das Kentern eingeleitet wurde. In dieser Hinsicht verhält sich Koks günstiger als Holz, wie auch aus den Zeugenaussagen hervorgeht. Wenn es zum Überbordgehen der Deckslast kommt, geht Holz als kompakte Masse über Bord, wobei die Gefahr besteht, daß Lüfter abgerissen und Luken aufgedeckt werden. Diese Gefahr besteht bei Koks nicht im gleichen Maße.

Nach den Rechnungen hat also der auf Bild 12 dargestellte Fall als der kritischste zu gelten. Die bei diesem notwendigerweise zu treffende Schätzung über die Wassermengen, die auf Deck geschleudert und teilweise im Koks festgehalten werden, ist allerdings recht unsicher. Eine Vorstellung geben Beobachtungen, die M ö c k e l auf einem Fischdampfer machte*): „Ab und zu kamen in Brückennähe über die Luvreling leichte Brecher, und beim Überholen schöpfte die Leereling grünes Wasser. Plötzlich überlief

*) M ö c k e l: „Über die Stabilitätsgefährdung von Fischdampfern bei hohem Seegang von achtern“. Schiff und Hafen, 1949, S. 3.

eine schräg von achtern aufkommende hohe Welle das Schiff gerade in dem Augenblick, als sie sich brach, und überflutete mit großer Gewalt das Deck fast in seiner ganzen Länge so, daß das Wasser auf dem Vordeck bis zu etwa zwei Drittel der Höhe des Schanzkleides reichte. Unter dieser zusätzlichen Last tauchte das Schiff so tief ein, daß sich beim Passieren einiger weiterer rasch aufeinanderfolgenden Wellen von beiden Seiten grünes Wasser an Deck ergoß und dieses innerhalb weniger Minuten fast bis zur Relinghöhe auffüllte. Nach dem Schiffsplan errechnet sich die übernommene Wassermenge zu etwa 123 Tonnen“.

Die Windstärke wird von Möckel mit 9 bis 10 angegeben, der Seegang kam von Steuerbord, etwa 70° achterlicher als quer, Wellenlänge 65 bis 70 m, Wellenhöhe 5 bis 6 m, Geschwindigkeit des Fischdampfers 10 bis 11 Knoten, Länge 48 m, Breite 8 m, Tiefgang vorn 4,6 m, achtern 3,65 m, Rollperiode 9 sec. Höhe der Reling über Ladelinie mittschiffs etwa 1,60 m (geschätzt). Dagegen für „Irene Oldendorff“: Länge 81,6 m, Breite 13,2 m, mittlerer Tiefgang 5,43 m, Höhe der Reling mittschiffs über Ladelinie ca. 3,40 m, außer kurzer Back keine von Bord zu Bord gehenden Aufbauten. Seegang und Wind waren also etwa gleich, die Reling lag bei „Irene Oldendorff“ zwar doppelt so hoch über der Ladelinie, andererseits ist aber die freie Deckfläche neben Aufbauten und Luken gut dreimal so groß. Man kann wohl ganz roh mit etwa gleichgroßen auf Deck kommenden Wassermengen rechnen, wobei noch zu erwähnen ist, daß die Beobachtung nördlich der Orkney-Inseln, also in freier See, und nicht in einem Gebiet gemacht wurde, in dem der auflaufende Meeresboden zu höheren und steileren Wellen führt. Dazu kommt bei der „Irene Oldendorff“ die gemäß den Versuchen zu erwartende weit stärkere Ansammlung des überkommenden Wassers wegen des auf Deck liegenden Kokes. Bei dem Fischdampfer wurde also die „Wanne“, gebildet aus Vordeck, den Wänden von Back und Brückenhaus und den Schanzkleidern, aufgefüllt. Hätte man mit einer ähnlichen Auffüllung der Wanne und der Kokslast auch hier zu rechnen, so käme man auf eine zusätzliche Wasserlast von solcher Größe, daß das Schiff sicher kentern würde. Das wäre aber zweifellos weit übertrieben. Die hier angenommene Wasserlast, von der nur etwa ein Fünftel der Kokslast auf Deck gefüllt wird (90 t, in Bild 5 eingetragen) wurde als Ergebnis der Versuche eingesetzt, die ja — hierauf sei nochmals ausdrücklich hingewiesen — mit Sicherheit ergaben, daß auch, wenn die einzelne Welle nur relativ geringe Mengen auf das Deck bringt, sehr viel größere Mengen angesammelt werden, weil der Abfluß viel langsamer erfolgt als der Zufluß. Auf dem freien Deck neben der vordersten Luke, wo kein Koks lag, wurde auch kein Wasser angenommen. Eine Vergrößerung der an Deck festgehaltenen Wassermenge würde ferner nicht nur zu einer Erhöhung der Kurve der krängenden Momente, sondern — im Gegensatz zu den beiden anderen Fällen — gleichzeitig zu einer Erniedrigung der Hebelarmkurve führen. Dieser Fall ist also wohl der gefährlichste.

Stabilität im Seegang

Da während des Unterganges schwerer Seegang herrschte, ist es m. E. in einer Betrachtung über die Ursachen des Unterganges unerlässlich, auch die Stabilitätsverhältnisse im Seegang so eingehend zu untersuchen, wie es nach dem Stand des Wissens möglich ist. Auf diesem Gebiet der Schiffstheorie ist noch manches problematisch, von einer rechnerischen genügend genauen Bestimmung der Bewegungen des Schiffes im Seegang sind wir noch weit entfernt. Die Untersuchung wird deshalb hier in folgender Weise geführt: Zunächst werden Erfahrungsstatsachen mitgeteilt, die eine Antwort auf die Frage geben, ob ein Schiff von quer auftreffenden Wellen, nur infolge der dadurch hervorgerufenen Rollschwingungen, zum Kentern gebracht werden kann. Sodann wird auf rechnerischem Wege untersucht, ob diese Aussagen für schräg von vorn oder hinten auftreffende Wellen modifiziert werden müssen. Schließlich wird diese rechnerische Untersuchung für den Fall des

zusätzlich einem äußeren krängenden Moment unterworfenen Schiffes wiederholt. Als Moment wird dabei dasjenige eingesetzt, das sich bereits in glattem Wasser als das gefährlichste erwies.

Man hat versucht, wenigstens für den einfachsten Fall — quer unter 90° einkommende regelmäßige Wellen — eine allgemeine Lösung für die sich einstellenden Rollschwingungen aufzustellen, und hat auch damit einen gewissen Erfolg erzielt. Qualitativ übersieht man jedenfalls die Verhältnisse; man kann vorhersagen, bei welchem Verhältnis der Eigenperioden von Welle und Schiff große Ausschläge zu erwarten sind. Die Frage nach der Größe in Grad der durch den Seegang erzwungenen Neigungswinkel kann aber auch für diesen einfachen Fall nur durch Versuche beantwortet werden. Ein wichtiges Ergebnis solcher Versuche: Es gelang keinem Experimentator, ein Schiffsmodell, sofern dies nur positive Stabilität in der aufrechten Lage aufwies, durch Wellen zum Kentern zu bringen. Dieses Resultat gilt für Wellen auf tiefem Wasser, also nicht für auf ein Ufer auflaufende Brandungswellen. Es gilt selbstverständlich auch nur für ein intaktes Schiff; denn es ist natürlich möglich, daß durch ein Leck oder eine Öffnung im Deck Wasser ins Schiffsinnere dringt und dadurch das Schiff langsam, u. U. einseitig, vollläuft. Es gilt auch nur für quereinkommende Wellen, denn ein Schiff oder ein Schiffsmodell, das ohne Antrieb und ohne Steuer Wellen ausgesetzt ist, wird immer querschlagen.

Eine Erklärung für diesen experimentellen Befund mag mit dem Folgenden gegeben sein: Nicht nur das nach Neigungen auftretende aufrichtende Stabilitätsmoment ist proportional den Hebelarmen, sondern auch das aus der Schräge der Wellen stammende krängende Seegangsmoment. Wird also das eine klein, so auch das andere. Anschaulich zeigt dies folgendes häufig zu beobachtendes Schauspiel: Ein vollgeschlagenes offenes Boot kann aufrecht schwimmen, es liegt dann allerdings fast mit seinem ganzen Rumpf unterhalb der Wasseroberfläche. Es hat eine sehr geringe Stabilität, was man erfährt, wenn man es besteigen will: es kentert sofort. Dagegen wird es, wenn es nicht gerade in den Bereich der stark brechenden Wellen am auflaufenden Strand gerät, von der See nicht umgeworfen; die Wellen laufen gewissermaßen darüber hinweg. Wenden wir nun diese Erfahrungstatsache auf die „Irene Oldendorff“ an, so besagt dies: Unter der Voraussetzung, daß die Hebelarmkurve für glattes Wasser noch einen positiven Bereich aufweist, wird das Schiff durch quer von der Seite kommende Seen nicht zum Kentern zu bringen sein.

Bisher haben wir allein den Fall der senkrecht von der Seite aufs Schiff treffenden Wellen betrachtet. Das Wrack liegt auf Grund ja auch etwa senkrecht zu der damals herrschenden Wellenrichtung. Der Kurs des Schiffes wird aber NO gewesen sein (Zwangsweg), die See kam in der ersten Phase des Unfalls also etwa 45 Grad achterlicher als quer ein. Die Lösung des Problems, die Stabilität eines durch schräg von hinten kommende Wellen überholten Schiffes zu bestimmen, das durch das Ruder gezwungen wird, auf diesem Kurs zu bleiben, befindet sich noch in den Anfängen. Erfahrungen der Seeleute sowie relativ viele Unfälle, die auf zu geringe Stabilität zurückgeführt wurden und bei denen die See schräg von achtern kam, lassen vermuten, daß gerade diese Lage des Schiffes zu den Wellen besondere Gefahren birgt. Seit den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts findet man auch in der Fachliteratur Rechnungen, die anzeigen, daß das rechts von hinten oder vorn kommenden Wellen getroffene Schiff in der Lage auf dem Wellenberg eine weitaus geringere Stabilität aufweist als im glatten Wasser. Neuerdings hat Grim wesentliche Fortschritte für diesen Fall erzielt⁹⁾. Auf Grund seiner Rechnungen und vieler Versuche kommt Grim zu folgender Feststellung: „Es wäre also physikalisch durchaus begründet, die Stabilitätsbeanspruchung im Seegang nach der Hebelarmkurve für das Schiff auf dem Wellenberg zu beurteilen. Diese Lage des Schiffes wird ebenso wie für Festig-

⁹⁾ Grim: „Rollschwingungen, Stabilität und Sicherheit im Seegang“. Forschungshefte für Schiffstechnik, 1. Heft 1952, S. 18.

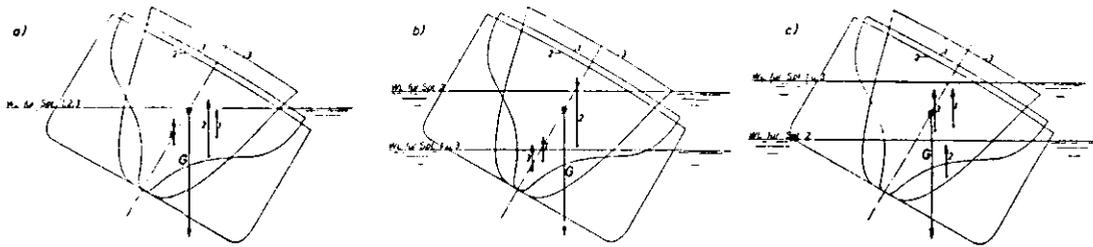


Bild 14 a

keitsbeanspruchungen auch für die Stabilitätsbeanspruchung die ungünstigste sein. Wohl jedes Seeschiff kann, wie auch die in einer anderen Arbeit berechneten Grenzkurven für das Mitlaufen eines Schiffes mit den Wellen zeigen, bei See von achtern in diese gefährliche Lage kommen“. Die Arbeiten dieses Forschers gaben auch manchen Hinweis für das hier zu behandelnde Problem der Stabilität bei schräg von hinten kommenden Seen.

Zunächst sei das zu behandelnde Problem der Anschauung nähergebracht. Wir stellen uns dazu das Schiff der Länge nach aufgeteilt, also in Spantensektionen zerlegt, vor. In Bild 14 a werden drei charakteristische Fälle betrachtet:

- Schiff in glattem Wasser, zum Vergleich,
- Schiffsmitte auf Wellenberg, Wellen schreiten in Kursrichtung fort, Wellenlänge (Tal bis Tal) etwa gleich Schiffslänge,
- Schiffsmitte in Wellental, sonst wie b).

Für jeden Fall sind die Umriss je einer Vor-, Mittel- und Achterschiffssektion in 30 Grad Neigung zum Horizont gezeichnet. Man erkennt ohne Mühe, daß im Wellental die (maßstäblich richtig eingezeichneten) Hebelarme für die einzelnen Sektionen größer, auf dem Wellenberg dagegen kleiner werden als für glattes Wasser. Für das Wellental z. B. ergeben die Auftriebskräfte der Schiffsenden noch positive Momente, für den Wellenberg dagegen negative von beträchtlicher Größe. Grundsätzlich das gleiche findet man für schräg einkommende See. Bereits diesen einfachen Skizzen ist zu entnehmen, daß in der Lage Schiff auf Wellenberg die Stabilität kleiner sein wird als in glattem Wasser.

In der folgenden Untersuchung wurde die „Irene Oldendorff“ auf verschiedene Weise in Wellen von 7 m Höhe gelegt. Für einige Lagen der Wellen zum Schiff wurden dann die Hebelarme rechnerisch bestimmt, unter der Voraussetzung statischer Druckverteilung, d. h. proportional mit der Tiefe anwachsendem Wasserdruck. Die Ermittlung der Hebelarme geschah im Prinzip auf dem üblichen Wege. Zuerst wurde mittels Integrator ein Pantokarenendiagramm aufgestellt und daraus dann mit einer Höhe des Gewichtsschwerpunktes von 5,32 m über Kiel (entsprechend der oberen Kurve des Streifens) die Hebelarme errechnet¹⁰⁾. Für die so ermittelten Hebelarme mußte eine neue Darstellung gefunden werden, da zu den zwei Veränderlichen Neigung und Hebelarm noch eine dritte, die Zeit, kommt. Dazu wurde angenommen, daß beim Passieren der Welle das Schiff gleichen Kurs und gleiche Geschwindigkeit beibehält. Das ist nach den Untersuchungen Grims nicht ganz richtig, es tritt z. B. gelegentlich ein vorübergehendes Mitlaufen mit der Welle auf, doch besagt das nur, daß das Schiff die verschiedenen Lagen in der Welle nicht genau gleich schnell passiert. Hebungen und Senkungen des Schiffes wurden in der Art berücksichtigt, daß alle Hebel für die Verdrängung von 4575 t berechnet wurden.

¹⁰⁾ Rechnungen dieser Art wurden am Lehrstuhl für Entwerfen von Schiffen und Schiffstheorie an der Technischen Hochschule Hannover bereits in größerer Zahl, auch für andere Schiffe, durchgeführt. Dabei wurde ein Rechenverfahren von den Schiffbauingenieuren B. Arndt und S. Roden entwickelt, daß auch weitere Fragen, wie z. B. den Einfluß des Smith-Effekts auf die Stabilität, zu beurteilen gestattet.

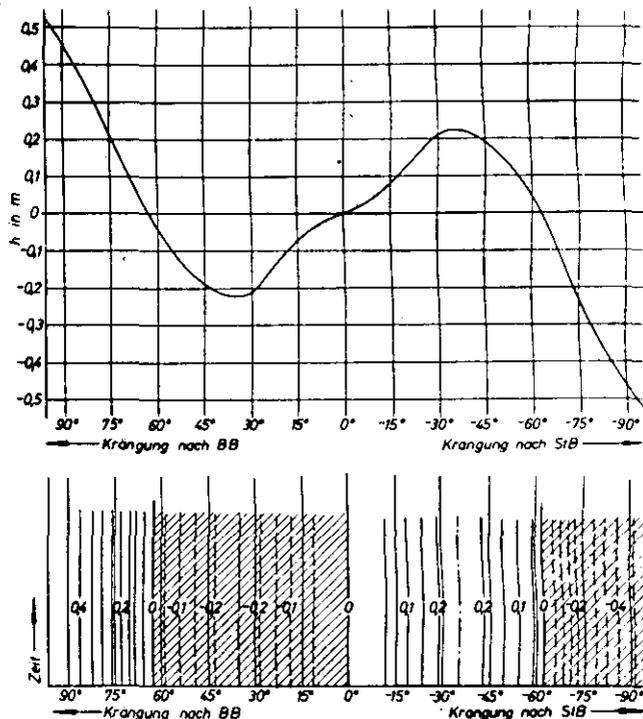


Bild 15

Es wurde eine Darstellung nach Art der topographischen Karten gewählt. Nach oben wurde die Zeit, nach rechts und links die Neigung und als Schichtlinien die Hebelarme in cm aufgetragen. Ein Vertikalschnitt durch das „Hebelarmgebirge“ gibt also die bekannte und auch in den vorliegenden Ausführungen bereits wiederholt benutzte Darstellung. Solche Schnitte werden auch zur Unterstützung der Anschauung neben der „topographischen Darstellung“ gegeben. Zur Erleichterung des Hineinfindens in die neue Darstellungsweise sind zunächst auf Bild 15 die für glattes Wasser geltenden Hebelarme in dieser Art aufgezeichnet. Bild 16 stellt die Hebelarme bei seitlich unter 90 Grad auftretenden Wellen von 60 m Länge dar, die auf Bild 15 noch geraden Hebelarmschichtlinien erscheinen jetzt gekrümmt. Aber die Größen der Hebelarme, insbesondere das Maximum und der positive Bereich bleiben unverändert, sie werden nur zu anderen Winkeln (auf den glatten, ebenen Wasserspiegel bezogen) verschoben. Das wird erst anders, wenn die Wellen von hinten oder vorn kommen. Bild 17 z. B. zeigt die Verformung des Hebelarmgebirges bei genau von hinten kommender See (Wellenlänge 80 m) und 10 Knoten Schiffsgeschwindigkeit. Hier ist zwar die Nullage — das ist diejenige Lage, bei der die Symmetrieebene des Schiffes zu den von der Welle am Ort des Schiffes gebildeten effektiven mittleren Abhang senkrecht steht — wieder gerade, aber die Hebelarmschichtlinien zeigen an, daß jetzt die Höhe des Maximums und die Breite des positiven Bereichs nicht mehr konstant sind. Das Minimum tritt auf, wenn gerade ein Wellenberg die Schiffsmitte passiert. Auch der positive Bereich (in den Hebelarmkurven üblicher Art, hier Schnittkurven, als „Umfang“ bezeichnet) wird im Berg schmaler. Das Gegenteil gilt, wenn ein Tal

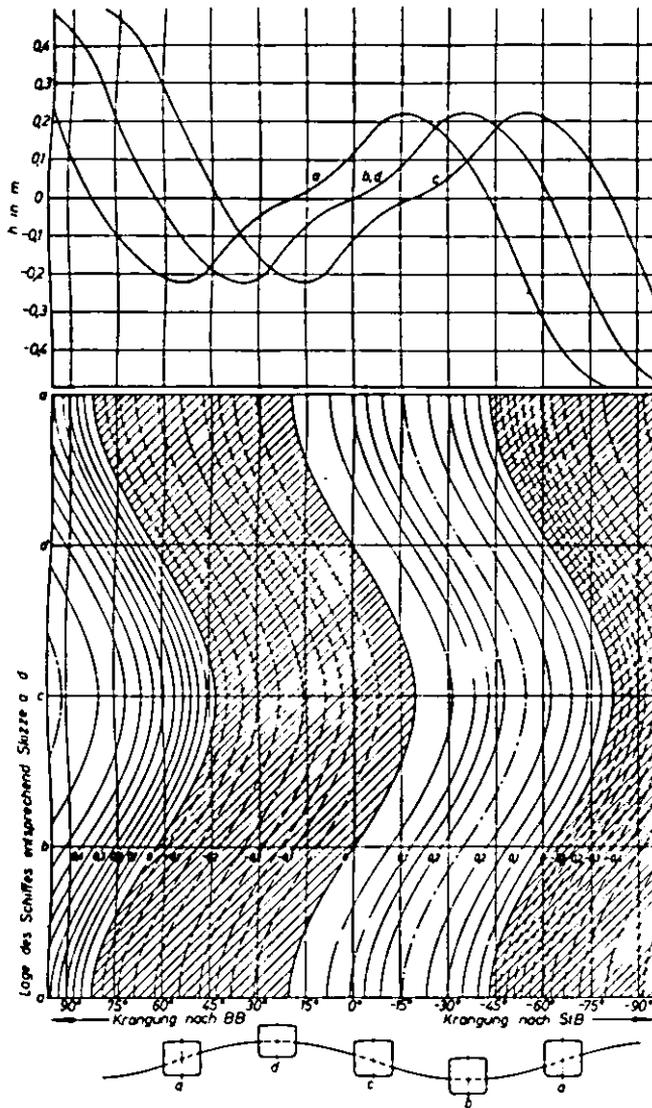


Bild 16

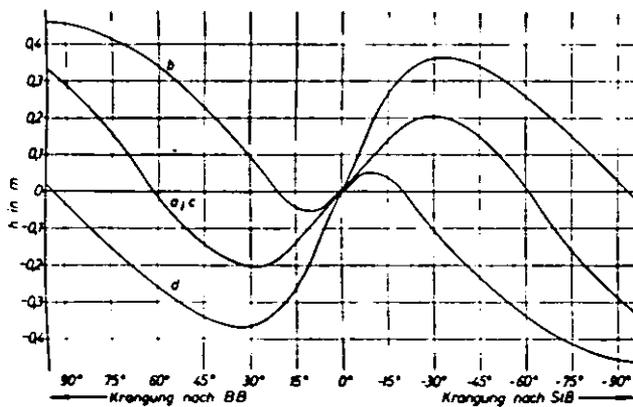


Bild 18

die Schiffsmittle passiert; die Hebelarme werden größer als in glattem Wasser und der positive Bereich wird breiter. Stellt man sich die Hebelarme als Höhenrücken vor, so wird für das mit der Mitte auf dem Wellenberg befindliche Schiff dieser Höhenrücken niedriger und schmaler, für das mit der Mitte auf dem Tal befindliche Schiff dagegen höher und breiter (Bild 18). In der gleichen Weise wurde nun auch der Fall der schräg unter 45 Grad von hinten kommenden Wellen (60 m lang) behandelt. Bild 19 zeigt das Ergebnis. Hier tritt nun sowohl eine seitliche Verschiebung der Null-

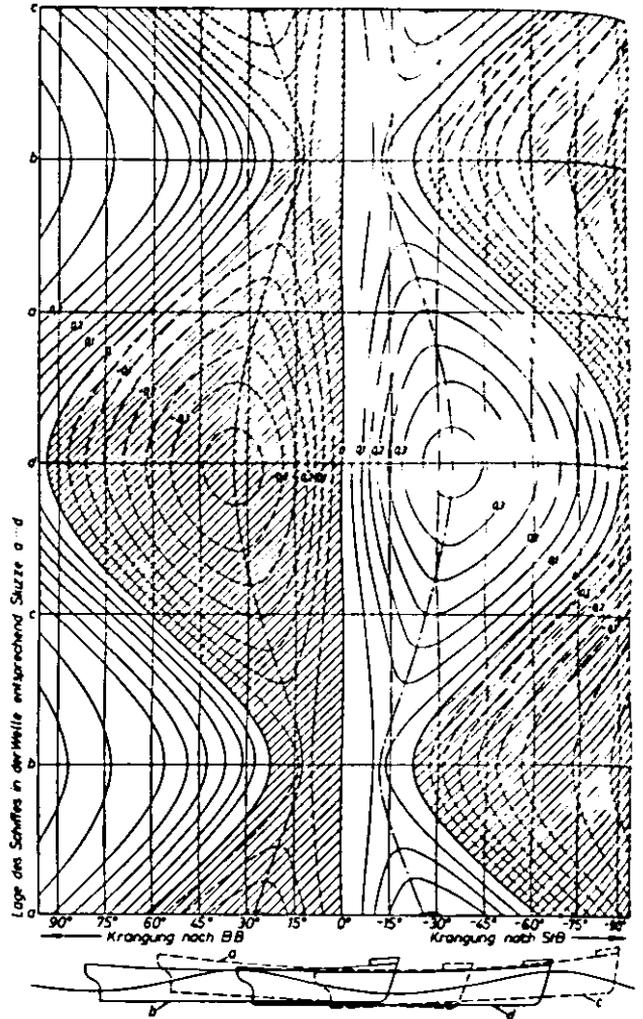


Bild 17

lage wie auch eine Verflachung und Erhöhung des Hebelarmrückens auf. Bild 20 gibt einzelne Lagen von Schiff zu Welle wieder und Bild 21 die zugehörigen Schnittkurven.

Es zeigt sich also, daß im Seegang im allgemeinen ein Schwanken der Stabilität um einen Mittelwert eintritt. Dieser Mittelwert entspricht etwa der Stabilität in glattem Wasser. Die einzige Ausnahme stellt quereinkommende See dar. Gerade diesem letzten Fall legte man aber bisher fast ausschließlich zugrunde, wenn etwas Quantitatives über die Stabilität im Seegang ausgesagt werden sollte. Man wurde dazu verführt durch die Rollschwingungen des Schiffes, die in der Lage quer zur See die größten Werte annehmen. Die Schichtbilder der Hebelarme zeigen nun, warum dieser Weg keinen Erfolg bringen konnte; Bild 16 zeigt ja die gleichen Hebelarme wie Bild 15, nur verschoben. Wenn hier auch nicht auf die voraussichtlich weitreichenden Konsequenzen eingegangen werden kann, die aus diesen Erkenntnissen für Beurteilung und Bemessung der Stabilität folgen, so mag doch mit Bezug auf die Rollschwingungen darauf hingewiesen sein, daß ihre Größe nur in Verbindung mit der jeweils gerade gültigen Hebelarmschnittkurve Schlüsse auf die Stabilität zuläßt.

Die Schwankung der Hebel um den Glattwasserwert ist für ein bestimmtes Schiff und bestimmte Höhe, Länge und Richtung der Wellen zum Schiff eine konstante Größe, sie ist nicht proportional dem für glattes Wasser gültigen Hebelarmen. Mit anderen Worten: Die Vertiefungen und Erhöhungen des Hebelarmrückens treten unter den gemachten Voraussetzungen in gleicher Größe auf, gleichgültig wie hoch der Rücken im Mittel ist. Für ein bestimmtes Schiff kann unter Annahme der maximal für die

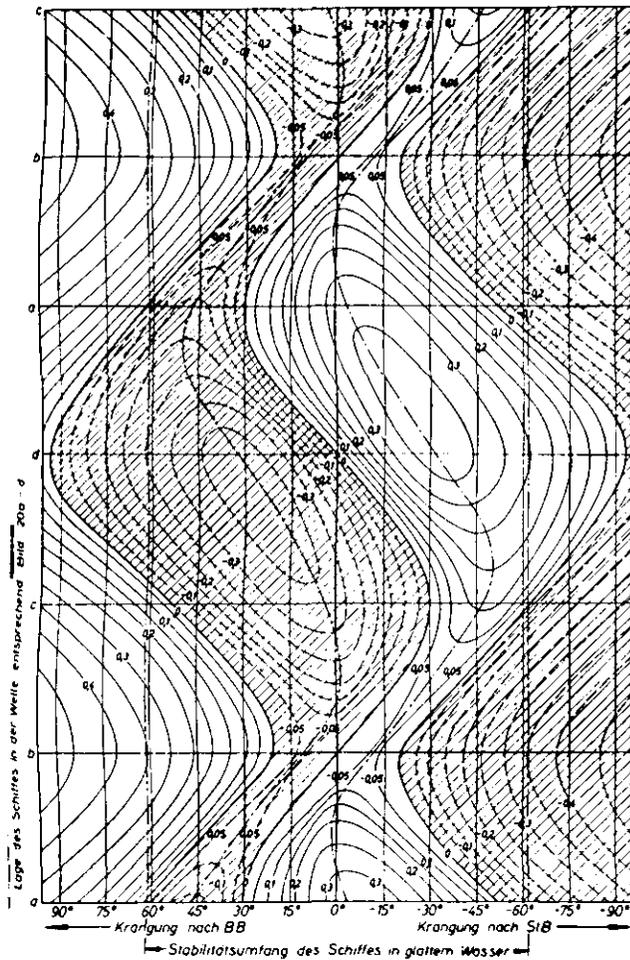


Bild 19

verschiedenen Wellenlängen möglichen Wellenhöhen (recht zuverlässige statistisch ermittelte Werte sind hierfür vorhanden)¹¹⁾ die größtmögliche Vertiefung berechnet werden. Sie betrage z. B. 15 cm, die Glattwasserhöhe 20 cm, dann bleiben auch im ungünstigsten Fall 5 cm übrig, beträgt die größte Höhe der Hebelarme in glattem Wasser aber nur 12 cm, so bleibt offenbar nichts mehr übrig, es ist zeitweise keine Stabilität mehr vorhanden. Prinzipiell ähnliche Überlegungen gelten auch für die Breite des Hebelarmrückens, für die positiven Bereiche der üblichen Hebelarmkurven also. Die Glattwasserstabilität hat also eine große Bedeutung auch für das Schiff im Seegang: ist sie zu gering, so kann das Schiff im Seegang instabil werden. Die oben erwähnte experimentelle Feststellung, daß durch quereinkommende Seen kein Schiff zum Kentern gebracht werden kann, steht in vollem Einklang mit diesem Ergebnis. Würde auch in diesem Fall eine Erniedrigung der Hebelarme auftreten, so müßte ein Schiff oder Modell mit genügend geringer Glattwasserstabilität zeitweise labil, also zum Kentern zu bringen sein.

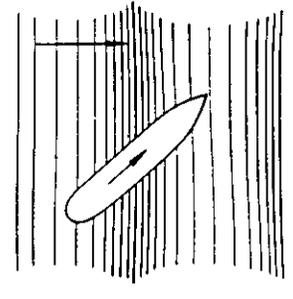
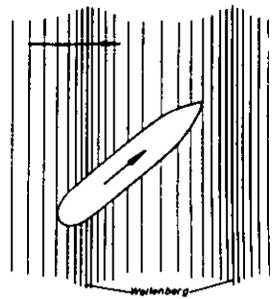
Eine eingehende Untersuchung des eigentlichen Kentervorgangs wird zweifellos ergeben, daß auch die Zeitdauer, während der das Schiff labil ist, auf das Kentern von Einfluß ist. Labile Zustände treten bei See von vorn ebenso auf wie bei See von hinten. Nur passieren die Wellen viel schneller, wenn sich Schiffsgeschwindigkeit und Wellengeschwindigkeit addieren. Das Schiff findet nicht Zeit, in den nur Bruchteile von Sekunden währenden labilen Lagen zu kentern. Dagegen ist bei den das Schiff u. U. langsam überholenden Wellen ein Kentern viel eher zu erwarten.

Zu prüfen ist danach, ob die „Irene Oldendorff“ in solche labilen Lagen gekommen sein kann. Wie Bild 19 zeigt, ist

11) S. S. Ocean Vulcan Sea Trials, London 1953.

a) Schiff vor dem Wellenberg

b) Schiff auf dem Wellenberg



c) Schiff hinter dem Wellenberg

d) Schiff im Wellental

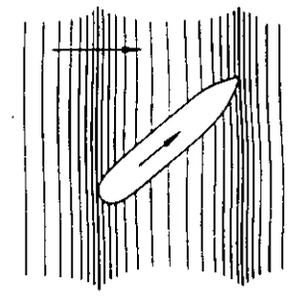
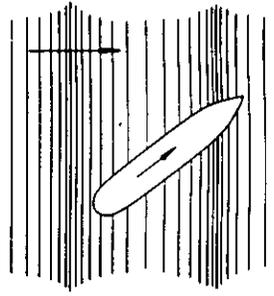


Bild 20

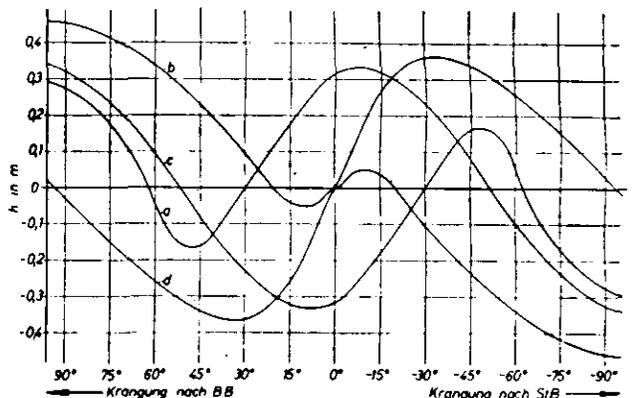


Bild 21

die Stabilität des „trockenen“ Schiffes auch in den hohen Wellen noch in allen Lagen positiv. Das gilt aber nicht mehr, wenn wir eine mäßige zusätzliche, vorübergehend im Koks festgehaltene Wasserlast annehmen, so wie sie für Bild 12 angenommen wurde. Damit schrumpft die Glattwasserkurve auf den ||||| schraffierten Bereich. Für das von Seen unter 45 Grad von achtern getroffene Schiff ergibt sich mit derselben zusätzlichen Wasserlast die auf den Bildern 22 und 23 wiedergegebene Stabilität. In den etwa 2,5 Sekunden lang dauernden Lagen auf dem Wellenberg (mit b bezeichnet) gibt es in dem Winkelbereich von 90 Grad nach Steuerbord bis 90 Grad nach Backbord keine stabile Lage. Wie auch die Schnittkurve b (Bild 23) zeigt, dreht rechts von + 29 Grad (+ bedeutet Krängung nach Backbord) das Stabilitätsmoment rechts herum (schräg schraffierter Bereich), verringert also die Neigung bis zu 0°; dies ist aber keine Gleichgewichtslage, das Schiff wird also weiter nach Steuerbord geneigt. Für Steuerbordneigungswinkel ist das Moment immer rechtsdrehend, die Neigung wird vergrößert. Links von + 29° wirkt auf das Schiff ein linksdrehendes Moment, das Schiff wird also weiter nach Backbord übergeneigt. Eine stabile Gleichgewichtslage ist nicht vorhanden, sie wäre gekennzeichnet durch einen Schnitt der Hebelarmkurve mit der Abszisse von unten nach oben, d. h. mit positiver Steigung. Erst die Lage c weist wieder eine solche

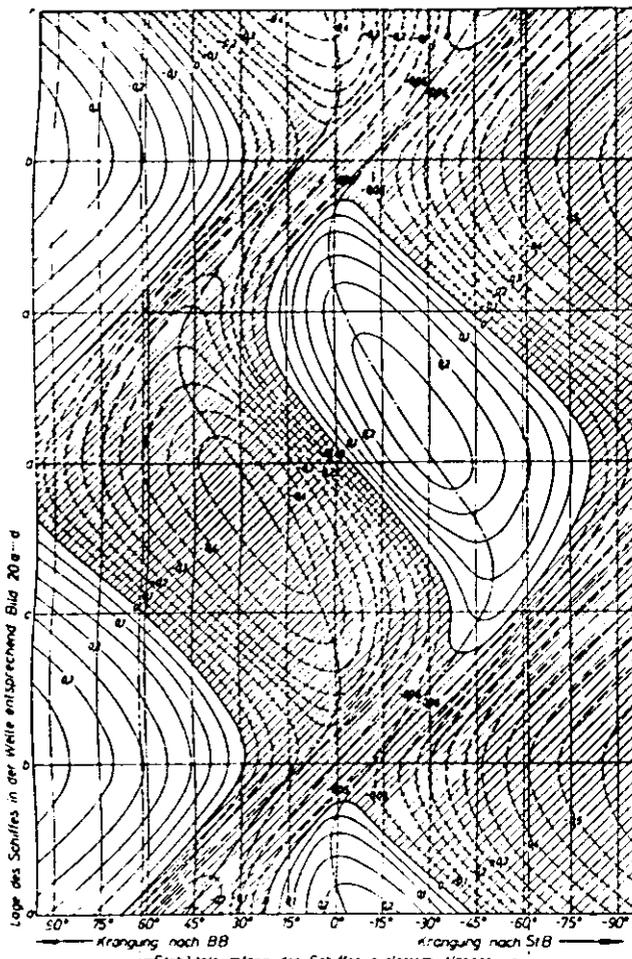


Bild 22

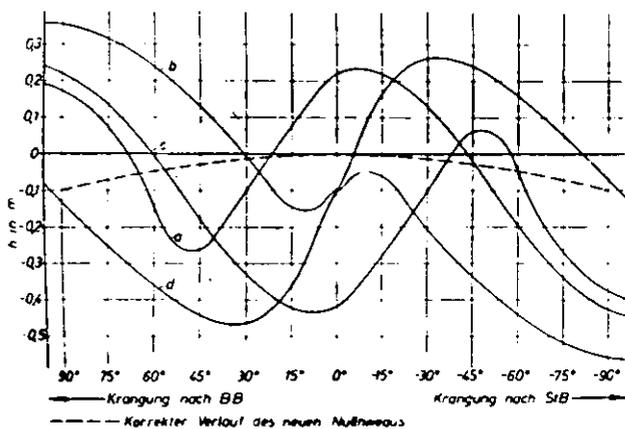


Bild 23

Gleichgewichtslage auf, nämlich die Linie 0 in Bild 22, soweit sie den schraffierten Bereich auf der rechten Seite begrenzt. Damit ist eine mögliche Ursache für das Kentern des unverletzten Schiffes gefunden. Die Verringerung der Stabilität durch Wasser in der Koksdecksladung zusammen mit der Verringerung der Stabilität, die bei dem gesteuerten Kurs unvermeidbar zeitweise auftreten muß, führt jedenfalls zum periodisch labilen Schiff.

Es liegt auf der Hand, daß man zu qualitativ ähnlichen Schlüssen kommen würde, wenn man nicht eine zusätzliche Wasserlast im Koks, sondern eine seitliche Verlagerung des Kokes angenommen hätte. Bei genügend niedrigen Glattwasserhebelarmen kann im Seegang, bei von vorn oder

hinten kommenden großen Wellen, die Stabilität jedenfalls zeitweise verlorengehen.

Erfahrungswerte über Stabilität

Man wird die Frage stellen: Vorausgesetzt, das über Stabilitätsgefahren bei schräg von hinten kommender See Gesagte sei richtig, wie ist es dann zu erklären, daß weitaus die meisten Schiffe sicher ihren Weg fahren, ohne zu kentern? Die Antwort darauf ist aber bereits angedeutet worden. Die Schwankungen sind nicht abhängig von der Höhe des Gewichtsschwerpunktes. Man muß also die Stabilität für glattes Wasser so groß machen, daß sie nicht nur den für das betr. Schiff unvermeidbaren Beanspruchungen durch krängende Momente — herrührend von Winddruck, Ladungsverschiebung, Rudermanöver, freies Wasser an Deck oder in Tanks — genügt, sondern einen Zuschlag aufweist, der den Schwankungen der Stabilität im Seegang Rechnung trägt. Die rechnerische Berücksichtigung der erwähnten krängenden Momente gehört zum Standardwissen der Schiffbau-techniker. Für Binnenschiffe gibt es kein Stabilitätsproblem.

Bisher kannte man diese zusätzliche Bedingung für Seegang nicht. Wenn trotzdem Kenterfälle selten auftraten, so nur deshalb, weil man die Stabilität größer machte als wie sie auf Grund der zu erwartenden krängenden Momente sein müßte. Die Differenz ist eine „Sicherheit“; man konnte bisher nicht sagen, weshalb man sie eigentlich brauchte. Aber eine jahrhundertelange Erfahrung, die sich nicht nur auf Unfälle, sondern auch auf das Verhalten von Schiffen im Seegang stützt, lehrte, daß eine solche Sicherheit nötig war. Man „merkt“ z. B., wenn ein Schiff nur noch ein geringes Aufrichtevermögen hat. Natürlich ist dieses subjektive Urteil unsicher und Unfälle, wie auch der hier behandelte, sind ein Beweis, daß es nicht ausreicht.

Erfahrungswerte aus einer sehr umfassenden Sammlung aller Unfälle die irgend mit zu geringer Stabilität in Verbindung zu bringen waren, wurden von R a h o l a ¹²⁾ aufgestellt. Auf statistischem Wege also kommt Rahola zu einer Bewertung der Hebelarmkurven für glattes Wasser in ungenügende, kritische und ausreichende. Als kritisch ist

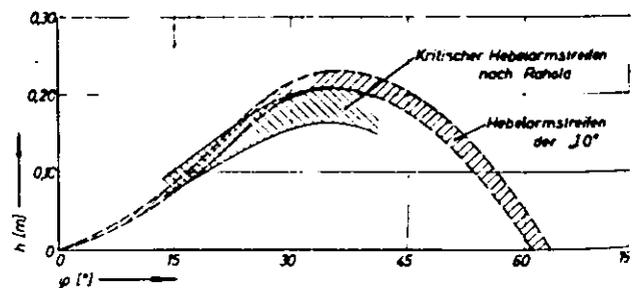


Bild 24

danach der in Bild 24 aufgetragene Streifen anzusehen. Kurven, die über dem Streifen liegen, sind ausreichend. Kurven, die darunter liegen, ungenügend.

Gestrichelt ist in Bild 24 der Streifen eingetragen, der nach dem oben Gesagten die für „Irene Oldendorff“ gültige Glattwasserkurve enthält. Der Vergleich führt zu dem Urteil, daß die Hebelarme nicht als unzureichend anzusehen sind, steht also im Einklang mit dem Schluß, der hier gezogen wurde. (Bilder 15, 19, 20, 21 und zugehöriger Text). Es wurde dann eine zusätzliche Wasserlast im Koks angenommen. Mit sehr maßvollen Annahmen hierfür, die gleichen, die für die Bilder 5, 12, 22 und 23 gemacht wurden, ergaben sich im Seegang periodisch wiederkehrende labile Zustände. Der bei dieser zusätzlichen Wasserlast gültige Hebelarm-

12) Rahola: „The Judging of the Stability of Ships and the Determination of the Minimum Amount of Stability“, Helsinki 1929.

streifen für glattes Wasser, in Bild 12 der Teil des Streifens über der jetzt als Basis zu betrachtenden Kurve „Moment aus 90 t Wasser seitlich auf Deck $\frac{1}{\text{Verdrängung}}$ “ wurde in Bild 25 gleichfalls dem Rahola-Streifen gegenübergestellt. Er liegt im ungenügenden Gebiet. Die Schlüsse aus der Rahola-Statistik stimmten also mit den hier auf kausalem Wege gefundenen Ergebnissen überein.

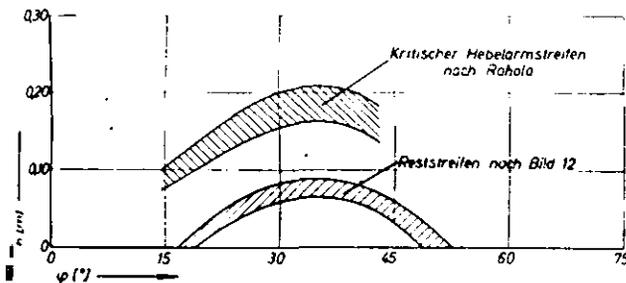


Bild 25

Ablauf des Kenterns

Es wurde dargelegt, wie das unverletzbar stabile Schiff im Seegang in labile Lagen geraten kann. Es wurde auch schon gesagt, daß der Einfluß der Zeiten, in denen das Schiff im labilen Zustand verharrt, auf das Kentern hier noch nicht geklärt werden konnte. Möglich erscheint, daß der gesamte Kentervorgang sich auf mehrere solcher labilen Perioden verteilt. Es gelingt dann dem Schiff nicht, die in der labilen Periode erreichte Neigung in der folgenden stabilen wieder rückgängig zu machen. Auf jeden Fall kann natürlich ein Kentern eintreten, wenn das Schiff lange in einem labilen Bereich bleibt.

Grim¹³⁾ machte einen Versuch, bei dem ein durch ein Gewicht um 15° in ruhigem Wasser gekrängtes Modell an einem langen Draht auf einem Wellenberg geführt wurde. Es trat ein langsam beginnendes und dann immer schneller werdendes Kentern ein. Ähnliche Vorgänge werden von Schiffen berichtet, die von der See langsam überholt werden. Wenn es dabei nicht immer zu einem vollständigen Kentern kam, so mag das ein Beweis dafür sein, daß die Zeitdauer des labilen Zustandes eine wichtige Rolle spielt. Bei der „Irene Oldendorff“ überholte alle 10 Sekunden etwa ein Berg schräg von hinten das Schiff, alle 10 Sekunden trat also ein solcher labiler Zustand ein, der, wenn man von einem Mitlaufen des Schiffes mit der Welle absieht, instabile Perioden von etwa 2—3 Sek. Dauer zur Folge gehabt haben müßte. Diese Zeit wird kaum ausgereicht haben, um das Schiff mit einem Schläge kentern lassen. Die relativ geringe Glattwasserstabilität, die nur vorhanden sein darf, um bei schräg von hinten kommender See zu labilen Zuständen zu kommen, ist — wie ausführlich behandelt — hier durch das von Koks und ganz vorn vom Schanzkleid festgehaltene Wasser möglicherweise auch durch seitliche Verlagerung der Deckslast zu erklären.

Ergebnisse

1. Koks als Deckslast

- Durch die See auf den Koks geschleudertes Wasser wird so gut wie nicht abgewiesen. Es dringt in den Koks ein, in striktem Gegensatz zu kompakter Holzladung, die das Wasser abweist.
- Eingedrungenes Wasser läuft nur langsam wieder ab. Eine Ansammlung in dem unteren Teil der Deckslastung ist durchaus möglich.
- Der mit Wasser aufgefüllte Teil des Kokes ist viel leichter beweglich. Dadurch wird ein seitliches Verrutschen der Ladung begünstigt.

13) Siehe Fußnote 9).

- Durch Verrutschen der Decksladung oder schon allein durch Wasseransammlung erfährt die Stabilität beträchtliche Einbußen.
- Geht ein Teil der Decksladung über Bord, so wird die Stabilität wieder günstiger.
- Der Beitrag, den die Decksladung bei größeren Neigungen zum Auftrieb und damit zur Stabilität liefert, wird bei geschüttetem Koks meist sehr gering.

2. Einfluß von Seegang

- Wellen, etwa von einer Länge gleich Schiffslänge, die das Schiff direkt oder schräg von vorn oder hinten passieren, verändern die Stabilität periodisch. Eine quantitative Untersuchung, die als erster Schritt anzusehen ist, zeigt, daß z. B. ein schräg von hinten kommender Wellenberg die Stabilität um ein beträchtliches Maß herabzusetzen vermag.
- Diese Verringerung der Stabilität ist nicht von der Höhenlage des Gewichtsschwerpunkts, sondern allein von der Geometrie von Schiff und Welle abhängig. Es kann also durch genügend reichliche Bemessung der Glattwasserstabilität dafür Sorge getragen werden, daß keine labilen Zustände eintreten.

Der Anlaß zu den hier wiedergegebenen Rechnungen und Versuchen war der Untergang der „Irene Oldendorff“. Aber sie gelten natürlich grundsätzlich für alle Schiffe. Insbesondere erleidet jedes Schiff im Seegang Stabilitätseinbußen, die bei geringer Glattwasserstabilität zu einem zeitweise labilen Schiff führen können. Experimente Grims wiesen auf solche Möglichkeiten bereits hin, wie auch manch ein Unfall. Hier wurde über eine zahlenmäßige Berechnung der Stabilitätsverringering berichtet, die als erster Schritt auf diesem wichtigen Gebiet gelten möge.

Weiterarbeit

Die Untersuchungen über die Stabilitätseinbuße im Seegang werden fortgesetzt. Für die Zukunft ist es sehr vielversprechend, daß der Technische Ausschuß des Seeverkehrsrats sie in das Programm der förderungswürdigen Entwicklungsarbeiten aufgenommen hat und deswegen seit Monaten Mittel vom Bundesverkehrsministerium, Abteilung Seeverkehr, zur Verfügung gestellt werden. Für Probleme, die zwar in das Gebiet der Forschung gehören, sich aber eng mit den praktischen Fragen berühren — z. T. vor diesen geklärt werden müssen — hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft Mittel bereitgestellt. Mit diesen Hilfen wird es gelingen, folgende Probleme zu lösen oder einer Lösung näherzubringen:

- Welche Korrekturen erfordern die gefundenen Werte auf Grund des sogenannten Smith-Effekts, d. h. auf Grund der Druckverteilung in der Welle, die sich aus der Orbitalbewegung der Wasserteilchen ergibt? In diesem Rahmen soll auch versucht werden, Aufschluß über die Beeinflussung der Drucke durch den Schiffskörper zu erhalten.
- Wie wirken sich die Stabilitätseinbußen im Seegang auf Schiffe verschiedener Größe aus? Diese Frage — verbunden selbstverständlich mit Freibord und Freibordvorschrift — wird hoffentlich zu kausal gegründeten Erkenntnissen führen, die helfen können, die Sicherheit der kleinen Schiffe zu verbessern.
- Wie schnell kentert ein Schiff? Hierzu werden Experimente nötig sein. Kennen wir aber den zeitlichen Ablauf des Kentervorgangs, so werden wir auch imstande sein, zu beurteilen, ob überhaupt, und wenn, wie lange labile Zustände ohne Gefahr für das Schiff anhalten dürfen. Diese Frage wird sich voraussichtlich im Rahmen einer umfassenden Behandlung der Rollschwingungen klären lassen, die auch bereits in Angriff genommen wurde. Bisher hat man sich auf linear ansteigende oder etwas stärker, gemäß einer Parabelfunktion ansteigende Rückstellmomente (d. s. die Stabilitätsmomente) beschränkt¹⁴⁾. Die allgemeine Schwingungslehre hat Rück-

stellmomenten, wie sie für große Rollschwingungen auftreten — zunächst Anstieg, dann Wiederabfall auf Null — bisher keine Beachtung geschenkt; Ausleihen von diesem breit entwickelten Gebiet der Mechanik sind deshalb kaum möglich.

Bei diesen Arbeiten wird der Verfasser von einigen Ingenieuren unterstützt, die auch schon sehr wesentlich zu den hier geschilderten Untersuchungen beitrugen. Dipl.-Ing. W. S t u m m e r bearbeitete die Versuche mit dem Koks und wird darüber ausführlich in den Forschungsheften für Schiffstechnik berichten. Die Schiffbauingenieure B. A r n d t und S. R o d e n halfen gleichfalls bei den Koksversuchen

und führten dann die gesamten Berechnungen über die Stabilität in glattem Wasser und im Seegang durch. Es gelang ihnen dabei, ein Verfahren für derartige Berechnungen zu entwickeln, das sich bereits als zweckmäßig erwiesen hat. Die oben als letzter Punkt erwähnte Untersuchung der Rollschwingungen¹⁴⁾ hat Dipl.-Ing. O. K r a p p i n g e r angefaßt. Schließlich möchte ich die vom Landgericht Lübeck außerordentlich sorgfältig durchgeführten Zeugenvernehmungen erwähnen, ohne die es nicht möglich gewesen wäre, den Ausreiszustand des Schiffes, das Anfangsglied der Kette der Rechnungen, zu rekonstruieren.

¹⁴⁾ Wendel: „Rollschwingungen und Hebelarmkurve“. Zeitschrift Schiffbau, Berlin, 1940.

7. Internationale Konferenz für Schiffshydrodynamik 1954

(früher intern. Konferenz der Leiter der Schiffbauversuchsanstalten)

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. F. Horn

Der 6. internationalen Konferenz der Leiter der Schiffbauversuchsanstalten (ship tank superintendents), die im September 1951 in Washington/USA stattfand, folgte auf Einladung der Vertreter der skandinavischen Länder Dänemark, Finnland, Norwegen, Schweden vom 20. bis zum 31. August 1954 die 7. Konferenz dieser Art, wenn auch unter dem geänderten Titel „Konferenz für Schiffshydrodynamik“, in Skandinavien, und zwar nacheinander in Oslo, Göteborg und Kopenhagen.

Um es gleich vorwegzunehmen: Die Änderung des Titels war von dem ständigen Komitee, das die Konferenz zwischen den Tagungen vertreten hat, mit der Begründung provisorisch eingeführt worden, daß der ursprüngliche Kreis der Konferenzteilnehmer, der im wesentlichen auf die Leiter der Schiffbauversuchsanstalten beschränkt gewesen war, sich im Laufe der Zeit mehr und mehr auch auf solche nicht unmittelbar zu den Schiffbauversuchsanstalten gehörigen Persönlichkeiten ausgedehnt habe, die vom wissenschaftlichen Standpunkt, insbesondere von dem der Hydrodynamik aus, an den Arbeiten der Versuchsanstalten interessiert seien und diese durch ihre eigenen Arbeiten zu fördern suchten. Eine in diesem Wandel begründete Änderung des ursprünglichen Titels wurde auch von dem Plenum der diesjährigen Konferenz, der die Frage über den endgültigen Titel zur Entscheidung vorgelegt wurde, durchaus anerkannt. Jedoch fand der spezielle Vorschlag des ständigen Komitees („Konferenz für Schiffshydrodynamik“) nicht die Billigung des Plenums, weil dessen Mehrheit befürchtete, daß ein derart allgemeiner Titel einer uferlosen Ausdehnung der von der Konferenz zu bearbeitenden Aufgaben Vorschub leisten und dadurch die unbedingt erforderliche Konzentration auf die speziellen, für die Arbeiten der Konferenz nach wie vor im Vordergrund stehenden Aufgaben des von den Schleppanstalten betriebenen Schiffbauversuchswesens beeinträchtigt werden könnte. Nach längerer Diskussion einigte man sich schließlich darauf, daß die Konferenz in Zukunft den Namen „International Towing Tank Conference“ (ITTC) führen solle. Für diese Lösung sprach, abgesehen von der prägnanten Kürze, wesentlich die Tatsache, daß sich für entsprechende regionale Institutionen, so in Amerika (ATTC) und England, die Bezeichnung „Towing Tank Conference“ bereits eingebürgert hätte. —

Die allgemeinen Ziele und die Bedeutung der Konferenz hatte der Bericht, der bereits an den sechs früheren Konferenzen (erste 1933) teilgenommen hatte, in seinem Bericht über die 6. Konferenz, die im September 1951 in Washington stattfand, in Nr. 46/47 und 49 des Jahrgangs 1951 dieser Zeitschrift ziemlich ausführlich und unter kurzem geschichtlichen Rückblick auf deren Gründung und frühere Tagun-

gen berichtet. Einer solchen Einführung bedarf es daher diesmal nicht mehr.

Auf der diesjährigen Konferenz waren 17 Länder mit zusammen rund 80 Delegierten vertreten und zwar, abgesehen von den bereits genannten einladenden vier skandinavischen Ländern, Belgien, Canada, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Holland, Indien, Italien, Japan, Jugoslawien, Österreich, Spanien und USA. Von den nichtskandinavischen Ländern hatten Großbritannien und USA besonders große Delegationen entsandt. Deutschland war durch sechs Delegierte vertreten.

Zur Beratung standen die folgenden fünf Themen:

1. Oberflächenreibung und künstliche Turbulenzerzeugung;
2. Maßstabeffekt bei Propellern und Propulsionsfaktoren;
3. Vergleichende Karvitations-Versuche mit Propellern;
4. See-Eigenschaften der Schiffe;
5. Darstellung der Daten über Widerstand und Vortrieb.

Die Themen 1, 2 und 5 hatten bereits bei allen früheren Konferenzen zur Debatte gestanden. Thema 3 war bei der Konferenz in London 1948, 4 in Washington 1951 neu aufgenommen worden. Bei der letzteren Konferenz waren die Themen 1 und 2 noch in je zwei Teile, die aus den obigen Titeln ohne weiteres ersichtlich sind, aufgespalten gewesen. Es hatte sich aber als zweckmäßig erwiesen, sie in Zukunft nicht mehr getrennt zu behandeln und ihre Bearbeitung je einem und demselben Komitee zu übertragen.

Die fünf für die obigen Themen eingesetzten Komitees hatten die Aufgabe, in der Zwischenzeit zwischen der 6. und 7. Konferenz nach den von der ersteren beschlossenen Richtlinien sowohl Gemeinschaftsprogramme, an deren Durchführung mehrere Versuchsanstalten beteiligt waren, möglichst einheitlich zu steuern als auch allgemein sich mit denjenigen Anstalten, die Forschungen auf dem betr. Gebiet zu unternehmen gesonnen waren, in enger Verbindung zu halten. Jedes Komitee hatte dann auf Grund der in der Zwischenzeit durchgeführten Arbeiten und dabei erzielten Ergebnisse der neuen Konferenz einen zusammenfassenden Bericht vorzulegen, der zugleich Empfehlungen für wünschenswerte Art der Weiterarbeit enthalten und als Grundlage für die Beratungen der Konferenz dienen sollte. Sämtliche Konferenzmitglieder, die sich zur Teilnahme angemeldet hatten, erhielten diese Berichte im voraus zugeschickt; teilweise konnte dies so frühzeitig geschehen, daß die Teilnehmer auch noch die ersten schriftlichen Diskussionsbeiträge zu den Berichten vor der Konferenz zugestellt er-