

XIII. Die Entwicklung und der heutige Stand der aktivierten Schiffsstabilisierung

Von Dr. phil. H. Hort, Berlin-Charlottenburg.

Inhalt:

Es werden zunächst die verschiedenen aktivierten Schiffsstabilisierungsvorrichtungen in ihrer Auswirkung auf das Schiff geschildert, welche die Schlingerbewegung des Schiffes in der Nähe seiner Eigenschwingungsperiode abdämpfen. Die schon durch die unzureichende Größe dieser Anlagen nur beschränkte Dämpfungswirkung wird dargelegt. Eine weitere Beschränkung der Wirkung, die nicht durch die unzureichende Größe bedingt wird, kann durch die Berücksichtigung der von den Eigenschwingungen entfernter liegenden, erzwungenen Schwingungen wenigstens teilweise behoben werden.

Die Vorschläge zur Bekämpfung auch der resonanzfernen Schwingungen werden besprochen und beurteilt.

Abschließend wird eine für besondere Fälle in Frage kommende neuartige Schiffsstabilisierung beschrieben, welche dem Zustandekommen von Schlingern praktisch überhaupt vorbeugt, und zwar dadurch, daß durch die Erniedrigung der metazentrischen Höhe des Schiffes im Bereich der kleinen Schiffsneigungen einmal den Wellen die Möglichkeit einer größeren Momentauswirkung auf das Schiff genommen und ferner eine so lange Eigenschwingungsdauer des Schiffes geschaffen wird, daß eine Resonanz zwischen den Relativperioden der Wellen und der Eigenschwingung des Schiffes nicht eintreten kann, bzw. wenn eine solche Resonanz einmal vorkommt, dann nur noch so kleine Momente der resultierenden Komponente der Wellenlänge entstehen, daß auch diese Resonanz wirkungslos bleibt. Der durch die kleine metazentrische Höhe bedingten Eigenschaft des Schiffes, sich leicht schräg zu legen, wird durch eine kraftgesteuerte Schräglagenbekämpfung begegnet. Berechnungsunterlagen sowie Ergebnisse von Versuchen mit einem durch eine derartige Einrichtung stabilisierten Schiffmodell im künstlich erzeugten Wellengang werden mitgeteilt.

Einteilung:

- I. Einleitung.
- II. Erste Aufgabe der aktivierten Schiffsstabilisierung:
Dämpfung der Schlingerbewegungen in Schiffseigenschwingungsnähe mittels kraftgesteuerter Großpendel (Schlingertanks oder Kreisel), Flossen und Trägheitsringe.
- III. Erweiterung der Aufgabe zu II:
Nunmehr zusätzlich auch Bekämpfung der Schlingerbewegungen außerhalb der Schiffseigenschwingungsnähe mittels der unter II aufgeführten Vorrichtungen.
- IV. Noch weiter gestellte Aufgabe:
Verhinderung aller wesentlichen Schlingerbewegungen durch Verkleinern der metazentrischen Höhe und Verlängern der Schlingerdauer des Schiffes bei gleichzeitiger Bekämpfung der Schlagseiten mittels kraftgesteuerter Schräglagentanks.

I. Einleitung:

Die Schiffsstabilisierung durch aktivierte Großpendel — Schlingertanks oder Kreisel — ist in den letzten Jahren durch praktische Erfahrungen und grundsätzliche Erörterungen wesentlich gefördert worden. Zunächst dürfte hier hinsichtlich der Erfahrungen der Großversuch mit der 3-Kreisel-Anlage auf dem italienischen Turbinenschiff „Conte di Savoya“ zu nennen sein. (Über diese während dreier Jahre gesammelten Erfahrungen*) liegen Ver-

*) Über das Schrifttum vgl. das Verzeichnis am Ende des Aufsatzes.

öffentlichungen der amerikanischen Ingenieure Basset und Hodgkinson und der Italiener Dr. de Santis und Dr. Russo sowie eine zusammenfassende Mitteilung der Reederei vor. Das Wesentliche der Veröffentlichungen ist, daß diese aktivierte Schlingerdämpfung sich praktisch als nützlich erwiesen hat. Sie war während 14% der Fahrzeit in Betrieb. Nur bei Schlingerwinkeln über 6° wurde sie angestellt. Bekämpft werden nur die Schlingerwinkel in der Nähe der Schiffsresonanz, d. h. es wird Energieentziehung aus dem schwingenden Schiff betrieben. Es liegt also im wesentlichen der Sonderfall der 90° -Phasenverschiebung zwischen Schiffsschlingerwinkel und Kreiselmoment vor. Der aktivierte Kreisel zeigt vorstehendes Verhalten, wie es auch grundsätzlich ein natürlich schwingender Kreisel mit ausreichender Dämpfung zeigen würde. Daß man den Kreisel ständig aktiviert betreibt, gemäß dem Sperry-Prinzip, ist mit Rücksicht auf den größeren Aufwand nur dadurch gerechtfertigt, daß der aktivierte Kreisel eine größere Wirkung als der natürlich schwingende zeigt.

Diese Ergebnisse werden nun im wesentlichen durch die neueren Versuche mit aktivierten Schlingertanks bestätigt. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich zunächst auf die aktivierten Schlingertanks, können aber gleichzeitig auf die aktivierten Kreisel angewendet werden. Wo Unterschiede vorliegen, werden sie erwähnt.

Die Frage, ob nur Eigenschwingungen und die in der Nähe der Schiffsresonanz liegenden erzwungenen Schwingungen oder auch zusätzlich die in Resonanzferne liegenden erzwungenen Schwingungen bekämpft werden sollen, muß unter praktischen Gesichtspunkten erörtert werden. Die Erfahrungen im Seegang wie an jedem Pendel zeigen, daß die der Resonanz ferner liegenden Schwingungen meist klein sind und zunächst vernachlässigt werden können. Andererseits ist der Aufwand an Meß- und Kommandogeräten und auch der Energiebedarf zur Bekämpfung der größeren erzwungenen Resonanzfernen Schwingungen groß.

Im nachstehenden ist die aktivierte Schiffsstabilisierung entsprechend ihrer geschichtlichen Entwicklung in drei Stufen behandelt.

II. Erste Aufgabe der aktivierten Schiffsstabilisierung.

In dem wohlbekannten oberen Diagramm des Bildes 1 sind die Schlingerdämpfungsverhältnisse zunächst für den nichtaktivierten Schlingertank dargelegt. Die Aufschaukelung in der Nähe der Grundeigenschwingung des Schiffes wird durch die Wirkung des „abgestimmten“ Tanks zum Verschwinden gebracht. Dafür treten die lange und kurze (aufgespaltene) zweite Eigenschwingung auf. Diese werden durch kräftige Dämpfungskopplung zwischen Schiff und Tankflüssigkeit möglichst unschädlich gemacht. Man erkennt nun aus der mittleren Ordinatenhöhe der so entstehenden Kurve 00 der Schlingerdämpfung des Bildes 1, daß dann selbst bei ausreichenden Schlingertankanlagen bzw. Kreiselgrößen eine nur begrenzte Wirkung auch in Resonanznähe zu erwarten ist. Diese wird aber noch wesentlich kleiner bei nicht ausreichenden Tank- bzw. Kreiselabmessungen, d. h. also, bei starkem Seegang von mehr als etwa 3° Wellenschräge. Ferner verschwindet die Dämpfungswirkung in Resonanzferne, d. h. also, bei reinen erzwungenen Schwingungen. (Sind jedoch den reinen erzwungenen Schwingungen, wie es praktisch ständig der Fall ist, auch Eigenschwingungen des Schiffes überlagert, so werden diese durch die Schlingerdämpfungsanlage mit abgedämpft.) Während diese Verhältnisse grundsätzlich die gleichen für Tanks und Kreisel sind, erkennt man in dem oberen Teil des Bildes 1 einen offenbaren Nachteil der Schlingerdämpfungstanks gegenüber der Kreiseldämpfung, nämlich die weitere Vergrößerung des Schiffsneigungswinkels bei unendlich langen Wellenperioden, d. h. also, bei Schräglagen.

Im unteren Teil des Bildes 1 sind die Verhältnisse der Phasenverschiebung Δ zwischen Wellen und Schiff bzw. Schiff und Tank schematisch dargestellt. Die gezeichnete Kurve möge etwa für beide Werte gelten. Sie zeigt eine ständige Veränderung der Phasenverschiebung von 0 über 90° bis 180° , entsprechend einer ständigen Abnahme der erzwungenen Schiffschwingungsperioden von $T = \infty$ bis $T = 0$. Erforderlich wäre bekanntlich zur vollkommenen Wellenmomentbekämpfung, daß die resultierende Phasenverschiebung zwischen Welle und Tankflüssigkeit $= \Delta \frac{\text{Tank}}{\text{Welle}}$ ständig 180° beträgt. Erreicht wird in Bild 1 dieser Zustand nur in der Nähe der Schiffs-eigenschwingung, während $\Delta \frac{\text{Tank}}{\text{Welle}}$ in dem Diagramm links von diesem Wert von 0° bis 180° und rechts davon von 180° bis 360° steigt.

Der Übergang von dem normalen Resonanzschwingungszustand mit 90° -Phasenverschiebung zu den benachbarten Zuständen, insbesondere zu den kurzen Schwingungen mit größerer Phasenverschiebung, kann nun einen

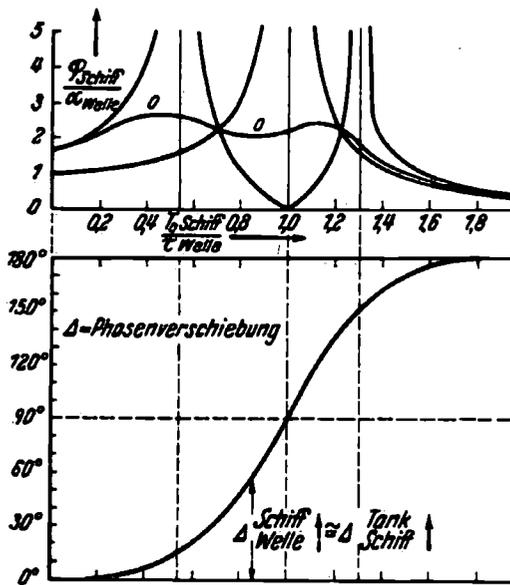


Bild 1. Natürlich schwingender Dämpfungstank.

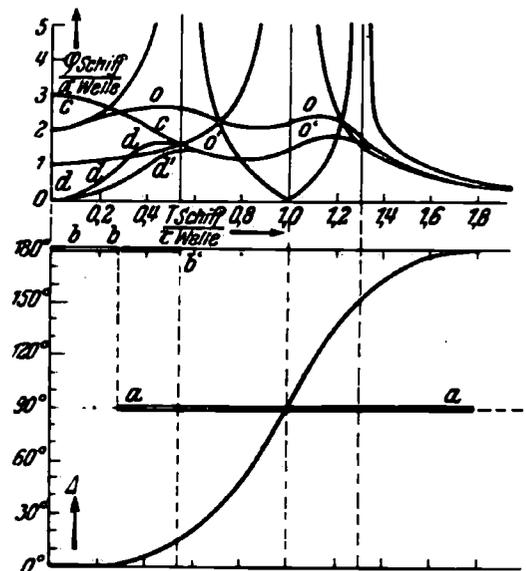


Bild 2. Aktivierter Stabilisierungstank mit 90° Phasenverschiebung und Schräglagenbekämpfung.

labilen Charakter annehmen, wie praktische Beobachtungen bei kurzen Relativwellen im Seegang von vorn ergeben haben, und es ist ernstlich dafür Sorge zu tragen, beispielsweise durch die oben erwähnte kräftige Dämpfungskopplung zwischen Schiff und Pendel, daß niemals eine solche plötzlich auftretende Phasenänderung zu großen Schlingerbewegungen des Schiffes von kurzer Periode führt. Diese Verhältnisse gelten somit für Tanks und Kreisel in gleicher Weise hinsichtlich der Schlinger-Verhältnisse bei den langen und kurzen zweiten Resonanzen.

Man muß zunächst die Frage aufwerfen, ob die Aktivierung eines Großpendels, allein unter Berücksichtigung der Schiffseigenschwingungen, Zweck hat und wie sie sich auswirkt. Die eingangs angeführten praktischen Ergebnisse mit den Kreiseln auf „Conte di Savoya“ sprechen für den grundsätzlichen Wert dieser einfachsten Form der Aktivierung. Diese hat in der Hauptsache ihre Wirkung darin, daß die durch die Dämpfungskopplung erreichte Kurve 00 des Bildes 1 beträchtlich gesenkt und somit das Gebiet des Kurventeiles, welches unterhalb der ungedämpften Ursprungsschlingerkurve läuft, verbreitert wird.

Bei der resonanznahen Aktivierung der Großpendel wird die natürliche Pendelbewegung, welche unter dem Einfluß der Schiffsschwingungen unmittelbar eintritt, durch einen Aktivierungsmotor, der in Abhängigkeit von der Schlingerbewegung des Schiffes geschaltet wird, teils verstärkt, teils exakter an die Schiffsbewegung gefesselt. Die Steuerung des Aktivierungsmotors erfolgt beim Großkreisel notwendig durch einen Wendezweiger, der den Motor jedesmal im Schlingerumkehrpunkt des Schiffes umschaltet, während die Steuerung des Motors beim Schlingertank zur Förderung der Flüssigkeitsbewegung durch einen Horizontalkreisel eingeleitet wird, der im wesentlichen die Motorwirkung bei Durchgang des Schiffes durch seine mittlere Nulllage (Wendetangentenpunkt) umschaltet. Hierdurch wird also in beiden Großpendelfällen jeweils die erforderliche 90° -Phasenverschiebung der Dämpfungsmomente gegen die Schiffsschlingerbewegung sichergestellt.

In Bild 2 ist eine aktivierte Schlingertankdämpfung mit reiner 90° -Phasenverschiebung in ihrer Wirkung gemäß Bild 1 dargestellt. In der unteren Bildhälfte entspricht die Horizontale aa durch die Ordinate $\Delta = 90^\circ$ dieser Wirkung. Hier vermehrt also die Fördereinrichtung einmal die natürliche Bewegung der Tankflüssigkeit und hält darüber hinaus gleichzeitig das Gesetz der 90° -Phasenverschiebung auch ober- und unterhalb der eigentlichen Resonanz aufrecht. Es ist also eine wesentliche Verbesserung der Phaseinstellung gegenüber dem unteren Teil des Bildes 1 des natürlich schwingenden Tanks erreicht. Die Förderung der Dämpfungsflüssigkeit erfolgt dabei im wesentlichen ständig „Deck ab“, bei Förderrichtungswechsel im Schiffsnulldurchgang, wie im einzelnen in dem Vortrag Hort*) dargelegt ist.

Das Kommando „Deck ab“ würde nun bei reinen Schräglagen eine weitere wesentliche Verschlechterung der Tankaktivierung gegenüber der Kreiselaktivierung bedeuten. Diese Verschlechterung wird durch die Linie cc des oberen Teiles von Bild 2 angedeutet. Dieser Nachteil muß beseitigt werden, da er sonst dazu führen könnte, daß der aktivierte Kreisel die aktivierten Tanks verdrängt, obwohl letztere hinsichtlich Gewicht, Raum, Anschaffungs-, Instandhaltungs- und Betriebskosten nur einen Bruchteil von dem erfordern, was gleich große Kreiselstabilisierungsanlagen benötigen.

Aus vorstehenden Überlegungen heraus entstand nun das im Jahrbuch 1934 beschriebene Steuergerät, welches in Resonanznähe das Kommando „Deck ab“ = 90° -Phasenverschiebung und für Schräglagen das Kommando „Deck auf“ = 180° -Phasenverschiebung gibt. Hier tritt die selbsttätige sogenannte „abgeleitete Schräglagenbekämpfung“ in Erscheinung, zum Unterschied von einer durch eine besondere Schaltung noch zu ermöglichenden „direkten Schräglagenbekämpfung“, über welche weiter unten noch zu sprechen ist. Durch die Einführung des abgeleiteten „Deck auf“-Kommandos für Schräglagen geht nun die Horizontale aa in Bild 2 in der Nähe der Werte $\frac{T_0}{T} = 0$, entsprechend Schräglagen, sprunghaft in die kurze Horizontale bb durch die Ordinate $\Delta = 180^\circ$ über.

Es liegt also in der Nähe der Ursprungsresonanz 90° -Phasenverschiebung vor und bei unendlich langen Relativwellen (Schräglagen) 180° -Phasenverschiebung entsprechend der hier erforderlichen Schräglagenbekämpfung. Hier ergibt sich nun sogar eine Überlegenheit der Tankaktivierung gegenüber der Kreiselaktivierung, wie der Kurvenzweig dd im oberen Teil von Bild 2 zeigt, da ja eine Kreiselaktivierung für Schräglagenbekämpfung nicht verwendbar ist. Wenn auch die Tankaktivierung in erster Linie zur Schlingerdämpfung beitragen soll, so muß sie gemäß vorstehendem also auch zur Schräglagenbekämpfung geeignet sein, besonders bei nicht zu steifen Schiffen. Diese Wirkung muß natürlich

*) Über das Schrifttum vgl. das Verzeichnis am Ende des Aufsatzes.

mit einfachen Mitteln, gewissermaßen nebenher, erreicht werden, damit sie voll berechtigt ist. Ein Steuergerät, das nur die 90° -Phasenverschiebung gewährleistet, aber nicht die Schräglagenbekämpfung, dürfte die praktische Anwendbarkeit der Tankaktivierung in Frage stellen. Da ferner auch die aktivierten Stabilisierungstanks immer nur bedingt wirksam sein können, weil ihre Größe ebenfalls durch die Seetüchtigkeitsforderungen des Schiffes begrenzt ist, muß auch eine solche Anlage in Anschaffung und Wartung billig und einfach sein, damit sie sich im Schiffsbetrieb auf die Dauer einführt.

Bei dem im Jahrbuch 1934 beschriebenen Steuergerät hat sich nun eine weitere Vervollkommnung in der Praxis für bestimmte Fälle als nützlich erwiesen. Um dieses näher zu erläutern, betrachten wir nochmals die Phasenverschiebung nach Bild 2, unterer Teil. Der Übergang vom Kommando „Deck ab“ zu „Deck auf“, d. h. von 90° -Phasenverschiebung zu 180° -Phasenverschiebung, vollzieht sich in der Nähe von $\frac{T_0}{\tau} = 0$. In dem angrenzenden Gebiet der langsamen zweiten Resonanz entsteht naturgemäß eine Zone der Kommandounsicherheit, welche bei Seegang von achtern stören kann. Weiterhin kommt das abgeleitete Kommando „Deck auf“ bei reinen Schräglagen in gewissen Fällen etwas spät, zum Beispiel bei Passagierschiffen, auf denen die Last der hin- und herflutenden Menschen schnell anders verteilt wird. In diesen beiden Fällen, welche also grundsätzlich ferner von der Ursprungsresonanz liegen, hat sich nun als praktisch vorteilhaft die „direkte Schräglagenbekämpfung“ an Stelle der „abgeleiteten Schräglagenbekämpfung“ erwiesen. Bei dieser wird durch eine direkte Kontaktgabe zwischen Kreisel und Schiff ohne Verwendung der beiden Phasenregler die 180° -Phasenverschiebung unmittelbar eingeleitet. Der Übergang zu dieser direkten, rein statischen Schräglagenbekämpfung erfolgt nach Bedarf durch Legen eines Schalters von Hand. Diese Maßnahme ist natürlich nur zulässig, wenn ein wesentliches Schlingern in Resonanznähe nicht vorliegt, weil ja in diesem Falle keine Dämpfungswirkung mit Phasenverschiebung von 90° möglich wäre. Die Wirkung der direkten Schräglagenbekämpfung ist in der unteren Hälfte von Bild 2 durch die Verlängerung der Geraden bb bis b' angedeutet, in der oberen Bildhälfte durch entsprechende Verlängerung des Kurventeiles dd bis d' . Es verschwindet jetzt infolge dieser Maßnahme die Störung durch Seegang von achtern, wie auch erreicht wird, daß das Schiff keinerlei Schlagseiten einnimmt.

Die vorbeschriebene direkte Schräglagenbekämpfung hat sich bei den aktivierten Schlingerdämpfungstanks auf dem Seebäder-Motorschiff „Königin Luise“ der Hamburg-Amerika Linie als außerordentlich wirkungsvoll erwiesen. Diese Anlage wurde bereits während dreier Sommer zur vollen Zufriedenheit des Schiffskommandos regelmäßig benutzt, beispielsweise im Jahre 1935 während 50% der Fahrtzeit des Schiffes. Diese Zahl ist fast viermal größer als die einleitend genannten, für die Kreiselstabilisierung auf „Conte di Savoya“ angegebenen 14%. Der Grund für dieses häufigere Inbetriebnehmen der Stabilisierungsanlage auf „Königin Luise“ beruht in der einfachen Art der Inbetriebnahme und in der billigen Betriebsweise. Die Anlage kann in etwa 10 Minuten betriebsklar sein und benötigt maximal 30 kW, während die Großkreisel einer Schiffsstabilisierungsanlage mehrere Stunden Anlaufzeit erfordern und einen sehr großen Kraftbedarf allein für die Aufrechterhaltung ihrer Tourenzahl benötigen.

Bei der besonderen Ausbildung der Stabilisierungsanlage auf „Königin Luise“ ist der Wassertransport im Falle der „Deck auf“-Kommandos bei Seegang von achtern praktisch nur gering, da nur ein verhältnismäßig kleines Gebläse vorgesehen ist. Die Hauptwirkung dürfte daher darin zu suchen sein, daß durch das „Deck auf“-Kommando bei Seegang von achtern allein

die statische Gebläsewirkung die Entstehung der langsamen zweiten Resonanz verhindert.

Die vorstehend beschriebenen Maßnahmen der selbsttätigen „abgeleiteten“ und der „direkten“ Schräglagenbekämpfung sind nun offenbar bereits erste Schritte zur Lösung der Aufgabe der Bekämpfung der resonanzfernen Schlingerbewegungen.

Schlingerbewegungen, über welche im nachstehenden berichtet werden soll. Ehe hierauf eingegangen wird, sei noch kurz erwähnt, daß die Schlingertanks auch ohne Verwendung von besonderen Fördereinrichtungen nur durch zweckmäßige Steuerung der Flüssigkeitsbewegung im Takte der Schlingerbewegung eine gewisse Aktivierung erhalten können. Diese Aktivierung kann natürlich nicht zur Schräglagenbekämpfung herangezogen werden, weil ja die Fördereinrichtung fehlt. Wohl aber kann sie zur Verstärkung der Flüssigkeitsbewegung und zur gesetzmäßigen Anpassung derselben an die Schiffsbewegung im Sinne des oben Ausgeführten benutzt werden. Derartige Steuerungen sind von O. Föppl und von H. Hort angegeben*).

In Bild 3 ist ein Schlingerdiagramm wiedergegeben, welches auf einem Schiff, das mit einer Schiffsstabilisierung nach den vorgenannten Gesichtspunkten ausgerüstet ist, aufgenommen

wurde. In dem Bild sind die Schlingerwinkel und die Tankwasserbewegung gleichzeitig aufgeschrieben, und zwar einmal für abgestellte Schlingertanks und dann für angestellte Stabilisierung. Man erkennt deutlich, daß bei angestellter Stabilisierung die einsetzende Schlingerbewegung des Schiffes in

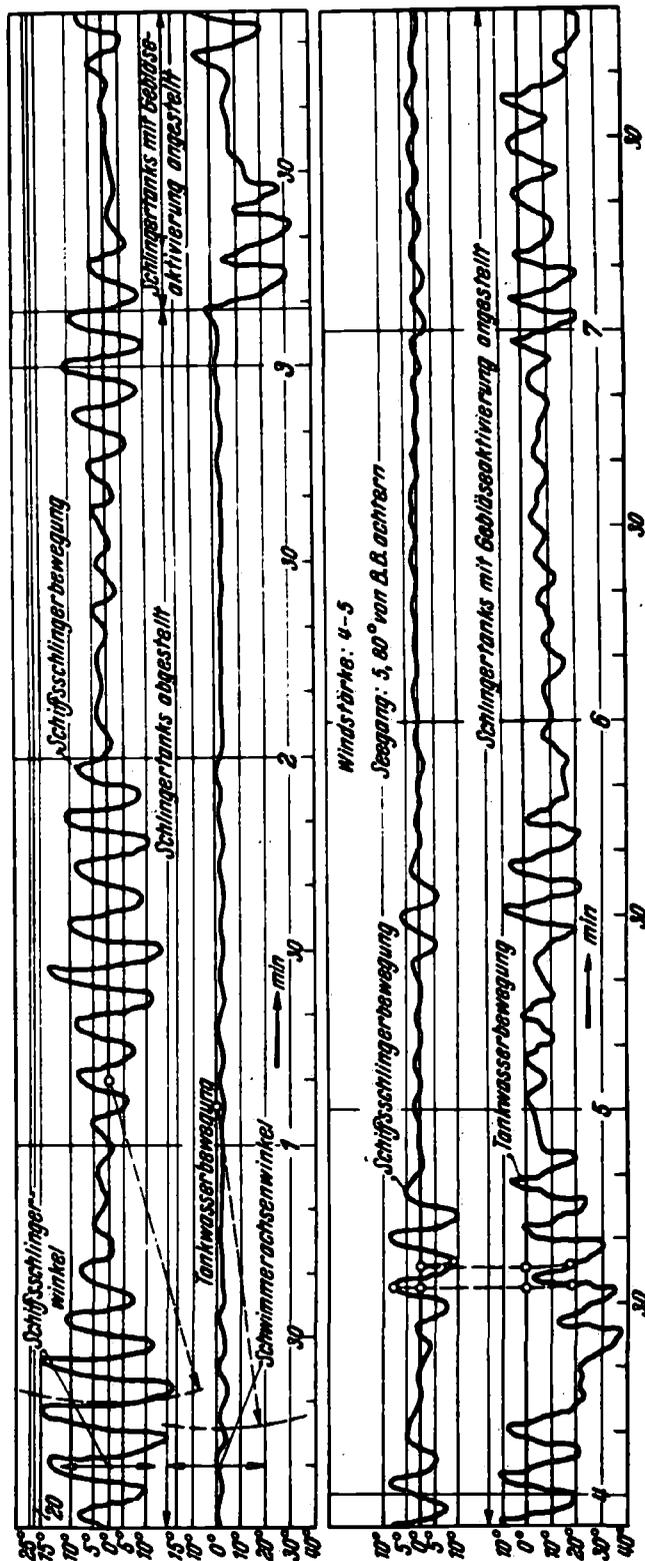


Bild 3. Schlingerdämpfungsversuche im Seegang mit einem Schiff mit einem Schiff von rd. 800 t Verdrängung und 7,5 sek. Schwingungsdauer.

*) Über das Schrifttum vergl. das Verzeichnis am Ende des Aufsatzes.

die Tankwasserbewegung übergeführt wird, wobei natürlich die 90° -Phasenverschiebung zwischen Schiffs- und Tankwasserbewegung sichergestellt sein muß. Auch bei kleinsten Schlingerbewegungen setzt bereits eine kräftige Tankwasserbewegung ein, wodurch jede größere Schiffschlingerbewegung von vornherein verhindert wird.

Abschließend sei zu diesem Teil noch erwähnt, daß außer den beiden Großpendelarten auch die bekannten Flossen und Trägheitsringe ebenfalls nach den gleichen Gesichtspunkten in der Resonanznähe kraftgesteuert bewegt und somit zur Schlingerdämpfung herangezogen werden können. In beiden Fällen müssen die Aktivierungsmotore durch Wendezeiger gesteuert werden. Entfernter von der Resonanz sind auch hier wesentliche Schlingerwinkelverkleinerungen (abgesehen von Eigenschwingungsdämpfungen) ebenso wie bei den erwähnten Großpendeln nicht zu erwarten. Die Flossen- und Trägheitsringstabilisierungen haben jedoch den Vorteil vor den Pendelstabilisierungen voraus, daß hier keine langen und kurzen zweiten Resonanzen auftreten können. Will man die Flossenstabilisierung noch zur Schräglagenbekämpfung heranziehen, was zur Vermeidung der entgegengesetzten Wirkung zweckmäßig ist, so wäre noch zusätzlich ein Horizontkreislauf für die Kommandogabe für die Schräglagenbekämpfung zu verwenden.

III. Erweiterung der Aufgabe zu II.

Nunmehr sei die Aufgabe gestellt, auch die Schlingerbewegung **a u ß e r h a l b** der **Schiffseigenschwingungsnähe** mittels der unter II aufgeführten kraftgesteuerten Vorrichtungen zusätzlich zu bekämpfen. Einleitend seien hier nochmals die beiden Ursachen dafür angeführt, warum die beschriebene Schiffsstabilisierung unvollkommen ist. Einmal kann sie aus praktischen Gründen der Schiffssicherheit und Schiffsabmessungen nicht so groß ausgebildet werden, daß sie auch einem größeren Seegange voll gewachsen wäre, und ferner besitzen außerdem die Pendelstabilisierungen noch den Nachteil der aufgespaltenen zweiten Resonanzen, welche gerade in Eigenschwingungsferne sehr störend sind und durch die 90° -Phasenverschiebungs-Stabilisierung zu II allein nicht voll ausgeglichen werden können, sondern bisher außerdem durch eine ausreichende Dämpfungskopplung zwischen Schiff und Pendel zu bekämpfen waren.

Der erstere Mangel der nicht genügenden Gegenmomentgröße aller Stabilisierungseinrichtungen kann nun auch durch vollkommenste Berücksichtigung aller erzwungenen Schwingungen nicht behoben werden, so daß also auch für letzteren Fall mit Schlingern des Schiffes, und zwar ebenfalls mit Eigenschwingungen zu rechnen ist. Ferner spielen die Eigenschwingungen ständig eine wesentliche Rolle bei stark ungleichmäßigem Seegang. Dem zweiten, also nur für die Großpendel bestehenden Mangel wird durch die Berücksichtigung der erzwungenen Schwingungen jedoch günstig entgegen gewirkt, wie sich auch aus den Beobachtungen mit der direkten Schräglagenbekämpfung bei Seegang von achtern auf „Königin Luise“ ergibt. Es ist hier weiterhin dann möglich, die bisher erforderliche Dämpfungskopplung zwischen Schiff und Pendel zu verringern, was sich wieder vorteilhaft auf die kräftigere Bewegung der Pendelmassen auswirkt. (Nach vorstehendem hat also die Berücksichtigung der erzwungenen Schwingungen besonders für die Stabilisierungstanks und -kreislauf praktische Bedeutung wegen der Bekämpfung der langsamen und schnellen zweiten Resonanzen.)

In diesem Zusammenhang des Vergleichs der Wirkung der 90° -Phasenverschiebungs-Stabilisierung und der zusätzlich resonanzfernen Schiffsstabilisierung sei auch als aufschlußreich auf den Entwicklungsgang der von dem bekannten Stabilisierungsfachmann Prof. Minorski vorgeschlagenen Schiffsstabilisierungen hingewiesen*). Professor Minorski beschäftigte

*) Über das Schrifttum vergl. das Verzeichnis am Ende des Aufsatzes.

sich zunächst mit der erweiterten allgemeinen Aufgabe der Bekämpfung aller, auch der erzwungenen Schwingungen durch im Schiff quer verschiebliche Massen und fand Lösungen dafür. Schließlich ging er zur 90°-Phasenverschiebungs-Stabilisierung mit aktivierten Schlingertanks über, d. h., zur Schlingerdämpfung gemäß der Abhandlung unter II, und betonte ausdrücklich, daß diese Art der Schlingerbekämpfung noch am meisten allen praktischen Anforderungen gerecht werde.

Vorschläge zur Bekämpfung der erzwungenen Schwingungen des Schiffes, auch in Resonanzferne, sind von einer ganzen Reihe von Fachleuten gemacht worden. Es seien hier die Namen Föppl, Späth, Boella genannt*). Die drei Autoren gehen von der Aufgabe der direkten Messung der Wellen und daraus der Wellenmomente auf das Schiff aus und leiten aus diesen Messungen die erforderlichen Kommandos für die Erzeugung der Gegenmomente zu den Wellenmomenten ab. Es würde zu weit führen, diese Vorschläge im einzelnen hier zu schildern. Zweifelsohne bestehen große praktische Schwierigkeiten, aus den an der Außenhaut des Schiffes gemessenen Wellenformen die jeweils resultierenden Wellenmomente auf das Schiff einwandfrei zu ermitteln, und es wäre ein wesentlicher Fortschritt, wenn es gelänge, mit anderen zuverlässigeren und einfacheren Meßarten diese resultierenden Wellenmomente zu messen bzw. zu berücksichtigen.

Aus den unteren Teilen der Bilder 1 und 2 ergibt sich nun, daß die zur Bekämpfung der erzwungenen Schwingungen erforderliche Einstellung der Phasenverschiebung Δ eine Funktion der jeweiligen Größe der Schwingungsperioden des Schiffes ist. Es wurde daher der Versuch unternommen, auf Grund dieses Zusammenhanges das für die aktivierten Schlingertanks zu II verwendete Steuergerät weiter zu entwickeln. Durch diese Weiterentwicklung wird die Möglichkeit geschaffen, auch selbsttätig die verschiedenen resonanzfernen Schwingungen des Schiffes außer den Eigenschwingungen zu bekämpfen. In Bild 4 stellt die Kurve e die Phasenverschiebung zwischen Schiff und Tank bei idealer Aktivierung mit vollkommener, auch der Wellenmomentgröße nach ausreichender Bekämpfung aller erzwungenen Schwingungen dar. (Die Summe der Phasenverschiebungen zwischen Welle und Schiff einerseits und Schiff und Tank andererseits = Phasenverschiebung zwischen Welle und Tankfüllung beträgt hier also ständig 180°.) Es ist dabei erreicht, daß das Schiff keinerlei Eigenschwingungen ausführt und somit auch Eigenschwingungen des Schiffes nicht abgedämpft zu werden brauchen. Die Idealkurve e ist praktisch zweifelsohne nicht brauchbar, weil ja der Idealzustand reiner erzwungener Schwingungen niemals vorkommt, sondern weil vielmehr, besonders bei starkem und bei ungleichmäßigem Seegang, die Eigenschwingungen des Schiffes neben allen erzwungenen Schwingungen noch eine wesentliche Rolle mitspielen. Infolgedessen ist auch bei der Bekämpfung der erzwungenen Schwingungen wesentlich, daß gleichzeitig die auftretenden Eigenschwingungen kräftig abgedämpft werden, besonders dann, wenn große Schwingungen auftreten, welche bekanntlich in erster Linie als Eigenschwingungen anzusprechen sind. Um dieser Forderung gerecht zu werden, ist nun die Steuerung der Phasenverschiebung zwischen Schiff und Tankflüssigkeit statt nach der Kurve e des Bildes 4 zweckmäßig nach der Kurve e' durchzuführen, was bedeutet, daß eine Komponente der Wasserbewegung ständig zur Dämp-

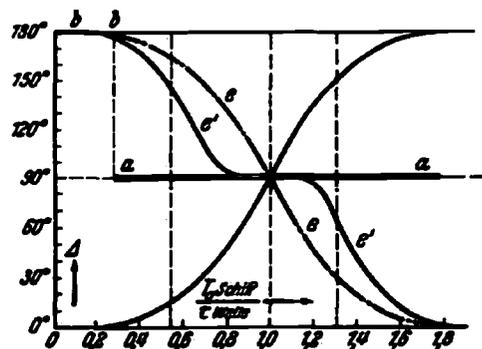


Bild 4. Aktivierter Stabilisierungstank nach Bild 2 unter zusätzlicher Berücksichtigung der resonanzfernen Schwingungen.

*) Über das Schrifttum vergl. das Verzeichnis am Ende des Aufsatzes.

fung der Schiffseigenschwingungen herangezogen wird, während die andere Komponente zur Bekämpfung der erzwungenen Schwingungen dient. Es ist somit die Aufgabe gestellt, die horizontale Gerade aa , welche die bisher durch das Steuergerät erzwungene 90° -Phasenverschiebung wiedergibt, durch eine Beeinflussung des SteuergerätKommandos in die Kurve e' überzuführen, wobei darauf hingewiesen sei, daß der Teil bb , der zur Geraden aa gehört, nach den früheren Darlegungen bereits mit e' zusammenfällt, so daß also die in der Kurve e' mitenthaltene Forderung der Schräglagenbekämpfung bereits von dem bisherigen Steuergerät in der bekannten Weise geleistet wird.

Wie dem Aufsatz aus dem Jahrbuch der Schiffbau-Technischen Gesellschaft 1934 zu entnehmen ist, werden die Kommandos zur Erzwingung der Geraden aa in Bild 4 entsprechend der 90° -Phasenverschiebung zwischen Schiff und Tankfüllung durch 2 Phasenregler sichergestellt, die in Abhängigkeit vom Schlingerwinkel des Schiffes bewegt werden und so die Förderrichtungen bei Durchgang des Schiffes durch seine mittlere Nullage (Wendetangentenpunkte) unschalten. Die Flüssigkeitsdrosselung in den beiden Phasenreglern ist verschieden stark so eingestellt, daß die Kommandos zeitlich richtig fallen. Nun ist es möglich, durch Verändern des Maßes der Drosselungen an den beiden Phasenreglern diese Kommandos früher oder später zu legen und so die Gerade aa in die beiden Kurvenzweige $e'e'$ überzuführen. Durch Verstärken der Drosselung wird dabei das Kommando später und durch Vermindern früher gelegt. Erstere Maßnahme entspricht in Bild 4 dem Kurventeil links von dem Schiffseigenschwingungspunkt, letztere Maßnahme dem Kurventeil rechts davon. Dem Späterlegen des Kommandos entsprechen die langsamen erzwungenen Schwingungen und dem Früherlegen des Kommandos die kurzen erzwungenen Schwingungen. Die kleineren Ordinaten der Kurve $e'e'$ gegenüber ee bedeuten, daß die Kommandoverlegung mit Rücksicht auf die Abdämpfung der immer vorhandenen Schiffseigen schwingungen nicht so weit getrieben wird, wie theoretisch bei reinen erzwungenen Schwingungen notwendig wäre.

Da die Kurve e' eine Funktion der Perioden der erzwungenen Schiffsschwingungen ist, ist es naheliegend, die Drosselung der Phasenregler in Abhängigkeit von diesen Perioden zu verändern bzw. in Abhängigkeit von der jeweiligen Schlingerperiode des Schiffes im Vergleich zu der normalen Eigenschlingerperiode. Es ergibt sich dabei nach dem oben Angeführten das einfache Gesetz, daß, während in der Nähe der Eigenschwingung des Schiffes der Kommandowechsel für die Förderrichtungen bei Durchgang des Schiffes durch seine mittlere Nullage erfolgen muß, dieser Kommandowechsel später erfolgen muß, wenn das Schiff langsamer schwingt, und früher erfolgen muß, wenn das Schiff schneller schwingt. Es kommt also darauf hinaus, durch ein entsprechend ausgebildetes Zeitmeßgerät festzustellen, ob das Schiff langsamere oder schnellere Schwingungen gegenüber seiner Eigenschwingung ausführt, und in Abhängigkeit von diesen Zeitabweichungen die Drosselung an den Phasenreglern selbsttätig zu verstärken oder zu vermindern. Bei sehr großen Zeitabweichungen können sogar für die langsamen Schwingungen (Seegang von achtern) die „direkten Deck-auf-Kommandos“ = 180° -Phasenverschiebung gemäß den Erfahrungen auf dem Seebäder-Motorschiff „Königin Luise“ und für die sehr schnellen Schwingungen (Seegang von vorne) „direkte Deck-ab-Kommandos“ = 0° -Phasenverschiebung selbsttätig eingeschaltet werden.

Ein derartiges Zeitmeßgerät könnte beispielsweise durch Anordnung von mehreren verschieden schnell schwingenden Pendeln geschaffen werden, von denen eins auf die mittlere Eigenschwingungsdauer des Schiffes abgestimmt ist, während ein Teil der Pendel stufenweise schneller und ein anderer Teil stufenweise langsamer schwingt. Eine solche Pendelgruppe wäre mit

ihren Drehachsen parallel zur Schlingerachse, etwa auf einem erhöhten Punkt im Schiff, aufzustellen. Jeweils würde das Pendel, in dessen Eigenschwingungsnähe die gerade vorliegende erzwungene Schiffsschwingungsperiode liegt, zu den stärksten Ausschlägen angeregt und könnte zur entsprechenden Verstellung der Drosseln am Steuergerät herangezogen werden.

Ferner könnte man beispielsweise auch die Schlingerperiode des Schiffes aus Schlingerwinkel und Schlingergeschwindigkeit als einen elektrischen Drehvektor erfassen und dessen Umlaufgeschwindigkeit mit der Umlaufgeschwindigkeit eines zweiten Drehvektors vergleichen, der entsprechend der mittleren Schlingerperiode des Schiffes umläuft. Endlich kann man von einem konstant umlaufenden Motor durch periodisches Umschalten der Drehrichtungen im Takt der Schiffsschwingungen Wegstrecken zurücklegen lassen, welche bei langen Schiffsschwingungen länger ausfallen und bei kurzen Schiffsschwingungen kürzer. Auch aus diesen Werten kann dann die oben beschriebene Beeinflussung der Drosselung der Phasenregler abgeleitet werden.

Auch für die oben erwähnten reinen Klappensteuerungen der Tanks ohne zusätzliche Fördereinrichtungen ist die vorerwähnte Beeinflussung des Umschalt-Kommandozeitpunktes des Steuergerätes vorteilhaft zu verwenden.

Dieses beschriebene, nur in Abhängigkeit von den Abweichungen der erzwungenen Schiffsschwingungsperioden des Schiffes arbeitende Phasenänderungsgerät dürfte alle anderen für den gleichen Zweck bisher vorgeschlagenen Geräte an Einfachheit des Aufbaues und der Wirkung übertreffen. Seine praktische Erprobung ist begonnen worden.

IV. Noch weiter gestellte Aufgabe der Schiffsstabilisierung.

Ein wesentliches Ergebnis der vorhergegangenen Betrachtungen ist die Erkenntnis, daß auch die vollkonmestete Schiffsstabilisierung nach einer der aufgeführten Arten nur eine begrenzte Wirkung besitzt, weil die Forderung der Seetüchtigkeit des Schiffes eine beliebige Größe der Stabilisierungsanlage nicht zuläßt. Vielmehr dürfte die noch zulässige Größe nach den bisherigen Erfahrungen nur etwa 3° Wellenschräge bekämpfen können, bezogen auf die üblichen im Schiffbau zu fordernden metazentrischen Höhen. Letzterer Zusatz ist notwendig, da bekanntlich das Wellenmoment auf das Schiff das Produkt ist aus relativer Wellenschräge, metazentrischer Höhe und Verdrängung.

Da häufig Wellenschrägen von mehr als 3° auftreten, genügen dann diese Schiffsstabilisierungseinrichtungen bereits ihrer Größe nach nicht mehr.

Vorstehende Überlegungen haben nun zu der im folgenden beschriebenen Stabilisierung geführt. Hier wird dem Schiff in der Nähe seiner Nulllage eine ganz geringe Stabilität, also ein kleines \overline{MG} , etwa durch freie Oberflächen im Doppelboden des Schiffes, gegeben. Dieses hat zur Folge, daß einmal die Wellenmomente auf das Schiff ebenfalls klein werden und weiterhin die Eigenschwingungsdauer des Schiffes in der Nähe seiner Nulllage sehr groß wird. Rein formelnäßig kommt die Verkleinerung des \overline{MG} in der bekannten Schwingungsgleichung

$$Jx \cdot \ddot{\varphi} + 2 \cdot W \cdot \dot{\varphi} + D \cdot \overline{MG} \cdot \varphi = D \cdot \overline{MG} \cdot a \cdot \sin \omega \cdot t$$

dadurch zum Ausdruck, daß die beiden Glieder, welche mit dem Werte \overline{MG} behaftet sind, praktisch verschwinden. Damit wird aber auch der Schlingerwinkel $\varphi = 0$.

Damit das Schiff nun auch trotz seiner geringen Anfangsstabilität ständig aufrecht fährt, sind Schräglagenbekämpfungstanks vorgesehen, welche selbsttätig durch „direkte Schräglagenbekämpfung“ gemäß der Anordnung der obenerwähnten Anlage auf dem Seebäder-Motorschiff „Königin Luise“ alle Momente auf das Schiff von sehr langer Dauer, wie Winddruck, ein-

seitigen Brennstoffverbrauch, Übertreten von Passagieren usw., ausgleichen und das Schiff ständig aufrechterhalten.

Das Gebiet der geringen Stabilität wird durch Bemessung des Wasserstandes in den Doppelbodentanks auf etwa $\pm 3^\circ$ begrenzt. Das \overline{MG} liegt in diesem Bereich beispielsweise bei 0,1 m und die Schwingungsdauer des Schiffes bei rund 40—60 Sekunden. Wird der Schiffsneigungswinkel größer

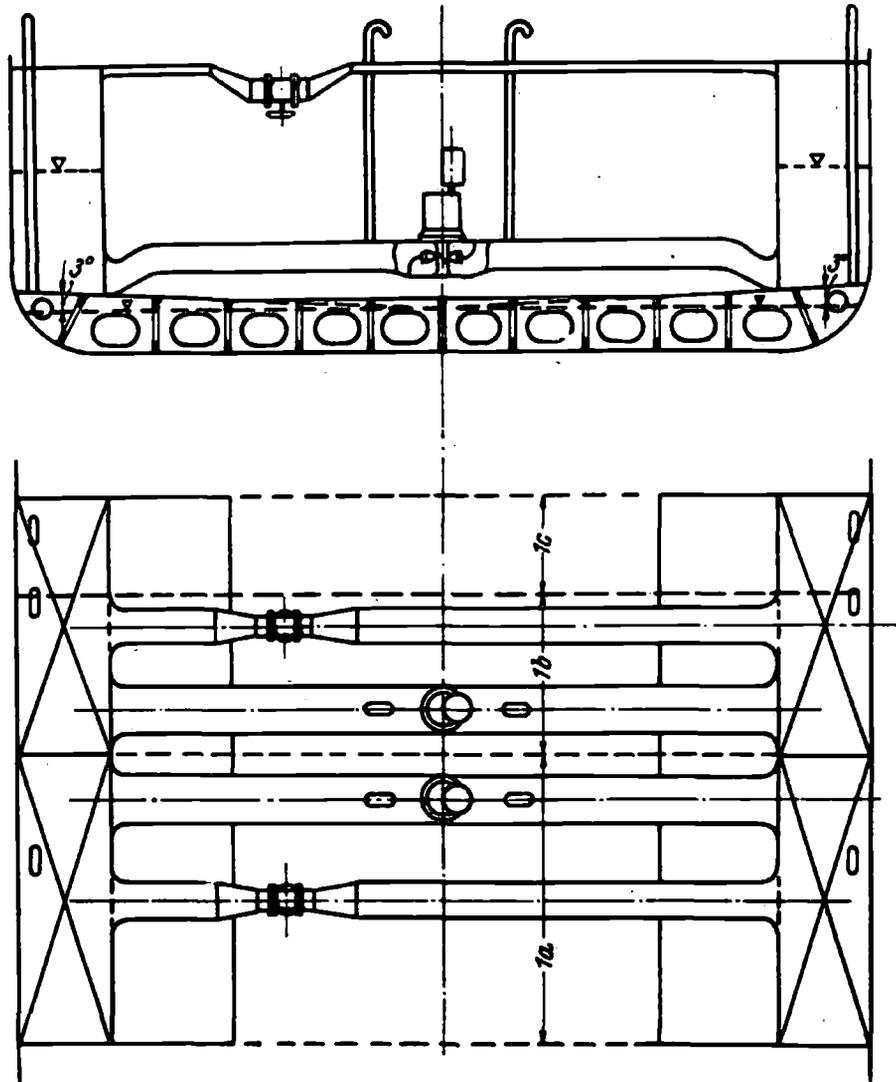


Bild 5. Aktivierte Schiffsstabilisierung mit Verstimmungs- und Sebräglagenbekämpfungstanks.

als $\pm 3^\circ$, dann beginnt die normale Schiffsteifigkeit zu wirken, da die freien Oberflächen nunmehr einseitig an der Decke des Doppelbodens festgelegt werden und praktisch nicht mehr wirken. Bei dem kleinen \overline{MG} von 0,1 m sind die auf das Schiff wirkenden Wellenmomente ebenfalls entsprechend klein. Bei der langen Schwingungsdauer des Schiffes kommt der Fall der Resonanz zwischen Eigenperiode des Schiffes und relativer Wellenperiode praktisch nicht mehr vor. Die Dämpfungswirkungen der Hautreibung außerhalb des Schiffes sowie der Flüssigkeitsmassen im Doppelboden, deren Oberfläche im Raum ständig horizontal liegt, ist bei dem kleinen \overline{MG} von so großer Wirkung, daß eine etwa auftretende Schiffsschwingung praktisch aperiodisch durch sie abgedämpft wird.

Bild 5 gibt eine Schiffsstabilisierung nach den geschilderten Gesichtspunkten wieder. Es sind drei verschieden große Flachtanks 1a, 1b, 1c im Doppelboden des Schiffes vorgesehen, die bei Nichtbenutzung bzw. Außerbetriebsetzung, etwa durch Öffnen von Flutventilen, erforderlichenfalls sehr schnell vollständig gefüllt werden können. Soll die freie Oberfläche

angestellt werden. so werden die Tanks nacheinander, etwa mit Tank 1a beginnend, durch eine Lenzpumpe bis zu einem durch die Höhe eines Saugstutzens genau festgelegten Wasserstand entleert. Durch das stufenweise Einschalten der Tanks wird das \overline{MG} des Schiffes allmählich vermindert, und es wird somit die Möglichkeit geschaffen, die Verminderung des \overline{MG} durch die freien Oberflächen dem jeweiligen Belastungszustand des Schiffes anzupassen. In den Flach tanks sind Schlagschotte mit Luftöffnungen eingebaut zum Zwecke einer ausreichend kräftigen Dämpfung der Tankflüssigkeitsbewegungen. Entlüftungsrohre in beiden Tanks tragen der Füllung und Entleerung derselben Rechnung. Die Flüssigkeitsoberfläche in den Flach tanks ist, wie oben erwähnt, praktisch horizontal gerichtet, d. h. es besteht eine Phasenverschiebung von 0° zwischen Schiff und Tankflüssigkeit. Sollte

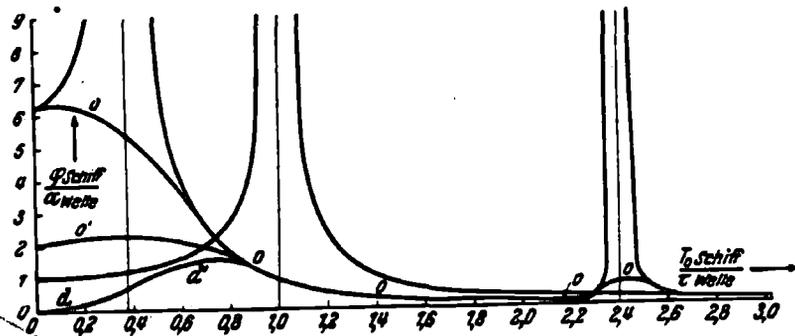


Bild 6. Verstimmungstank mit 0° Phasenverschiebung und getrenntem Schräglagenbekämpfungstank.

die Flüssigkeitsmasse einmal zu Schwingungen angeregt werden, so dämpfen die Drossleinrichtungen in den Doppelboden-Flach tanks die Tankflüssigkeits-Schwingungen möglichst aperiodisch ab. Diese Tanks wirken dadurch, daß sie die Eigenschwingungsdauer des Schiffes wesentlich vergrößern, indem sie diese also „verstimmen“. Man kann sie daher auch „Verstimmungstanks“ nennen, im Gegensatz zu den bisher verwendeten „Dämpfungstanks“, welche bekanntlich mit 90° -Phasenverschiebung zur Schiffsschlingerbewegung arbeiten sollen.

Zur Schräglagenbekämpfung dienen die beiden Hochtankpaare mit vollständig getrennten Verstellpropeller-Anlagen, welche unter dem Einfluß eines Horizontkreisels die Tankflüssigkeit ständig nach der hohen Schiffseite fördern und so das Schiff aufrechterhalten. Um diesen Betrieb möglichst sicher zu gestalten, sind die beiden Tankpaare vollständig getrennt voneinander angeordnet. Sie können entweder parallel arbeiten oder es kann auch eine einzelne Anlage benutzt werden, während die andere als Reserve dient.

Durch besondere Klappen in dem Flüssigkeitsverbindungs kanal, welche unter Federkraft- oder Gewichtswirkungen zunächst geschlossen sind und nur bei richtigen Kommandos der Schräglagenbekämpfung und arbeitendem Propeller selbsttätig geöffnet werden, wird Sicherheit geschaffen, daß in den Hochtanks ein unbeabsichtigter Flüssigkeitsausgleich niemals eintreten kann. Zur vollständigen Abstellung der Hochtanks bei Nichtbenutzung werden die an der Tankdecke befindlichen Luftöffnungen außerdem durch Absperrorgane geschlossen.

In Bild 6 sind die Schwingungsverhältnisse eines Verstimmungstanks gemäß der üblichen Darstellung des Bildes 1 wiedergegeben. Man erkennt einmal, daß die Eigenschwingungsdauer des Tanks hier nicht mehr auf die Eigenschwingungsdauer des Schiffes abgestimmt ist wie bei den bisher bekannten Dämpfungstanks, sondern wesentlich kürzer ist. Sie ist weniger als halb so groß. Ferner liegen die zweiten Resonanzen, insbesondere die kurzen, sehr viel weiter weg von der ersten Resonanz. Die bei den auch hier im Flach tank notwendigen Drosselungen entstehende Dämpfungs-

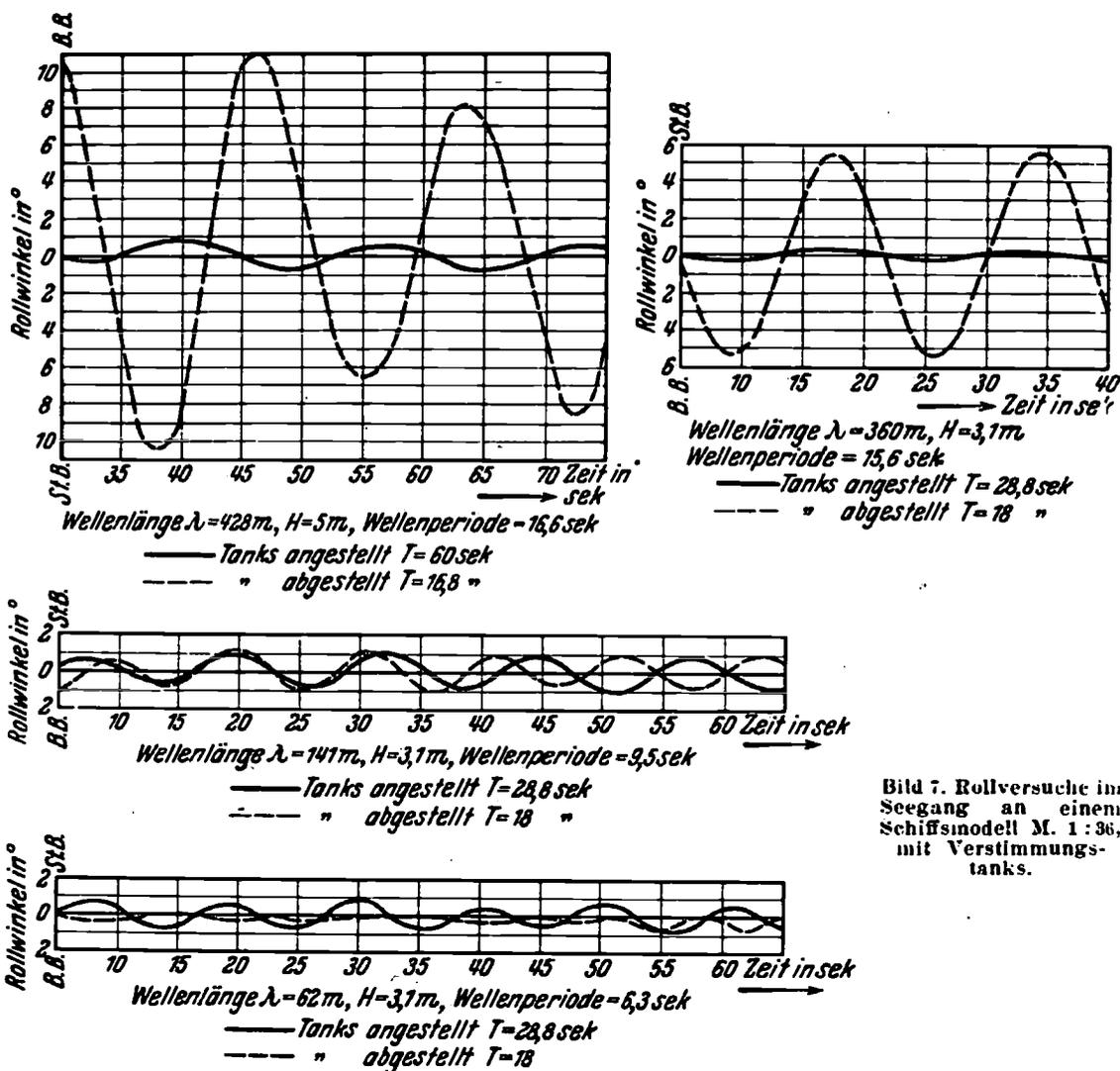


Bild 7. Rollversuche im Seegang an einem Schiffsinmodell M. 1 : 36, mit Verstimmungstanks.

kurve 00 liegt nun wesentlich tiefer als bei den Kurven der Bilder 1 und 2, insbesondere verschwindet der Einfluß der kurzen zweiten Resonanz vollständig, was besonders auch durch die Begrenzung der Wasserverdrängung in den Verstimmungstanks auf $\pm 3^\circ$ Schiffsneigung erreicht wird. Bei der langsamen zweiten Resonanz kommt nun weiter als von ausschlaggebender Bedeutung die Wirkung der Schräglagen-Bekämpfungstanks hinzu, durch welche die resultierende Kurve bis in den Nullpunkt herunter gezogen wird (Kurventeil $d d'$).

In Bild 7 sind Vergleichskurven eines Schiffsinmodells im künstlich erzeugten Seegang für abgestellte und angestellte Verstimmungstanks wiedergegeben. Die Kurven wurden in der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt an dem Modell eines Schiffes gewonnen, welches nach den Vorschlägen des Herrn Dr.-Ing. E. Förster, Hamburg, für Studienzwecke gebaut war. Man erkennt, daß das langsamer schwingende Schiff mit angestellten Verstimmungstanks dem Wellenangriff praktisch nicht mehr ausgesetzt ist. Bild 8 zeigt eine Ausschlingerkurve des Modells bei ausgeschalteten und angestellten freien Oberflächen. Man sieht im letzteren Fall die fast aperiodische Dämpfung des Schiffes, entsprechend der für diesen Fall besonders wirksamen Hautreibung an der Außenhaut des Schiffes und in den Verstimmungstanks. In Bild 9 sind Schwingungskurven gemäß Bild 6 wiedergegeben, welche im A-Werk der Siemens Apparate und Maschinen G. m. b. H. an einem mechanischen Modell gewonnen wurden.

Das Modell stellt die Schwingungsverhältnisse eines etwa 20 000 t großen Passagierschiffes im Maßstab 1 : 25 dar. Die vorgesehenen freien Oberflächen vermindern das \overline{MG} des Schiffes von 0,6 auf 0,1 m und erhöhen seine

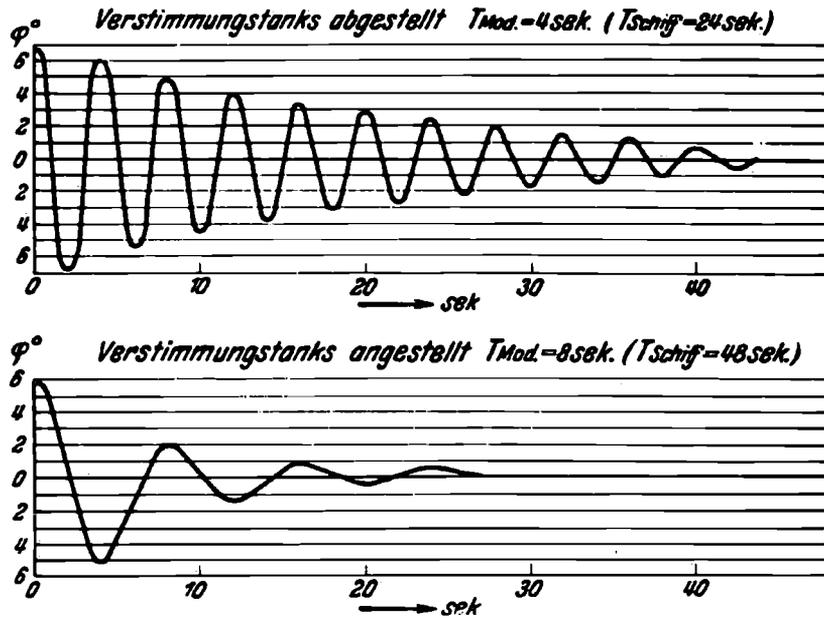


Bild 8. Ausschlingerversuche des Schiffmodells M 1 : 36 mit ab- und angestellten Verstimmungstanks (Verkleinerung 1/3).

Schwingungsdauer von 23 sec auf 56 sec. Es zeigt sich auch aus den Kurven des Bildes 9, daß die Verstimmungstanks die Resonanzerscheinungen in der Nähe der Schiffseigenschwingung vollständig auslöschten, ohne in den Gebieten der langen und kurzen zweiten Resonanzen zu störenden Erscheinungen zu führen. Die entsprechenden 8 Versuchspunkte der Versuche von Bild 7 fallen in die Kurven des Bildes 9 hinein, wodurch eine gegenseitige Bestätigung der beiden Versuchsgruppen gegeben ist.

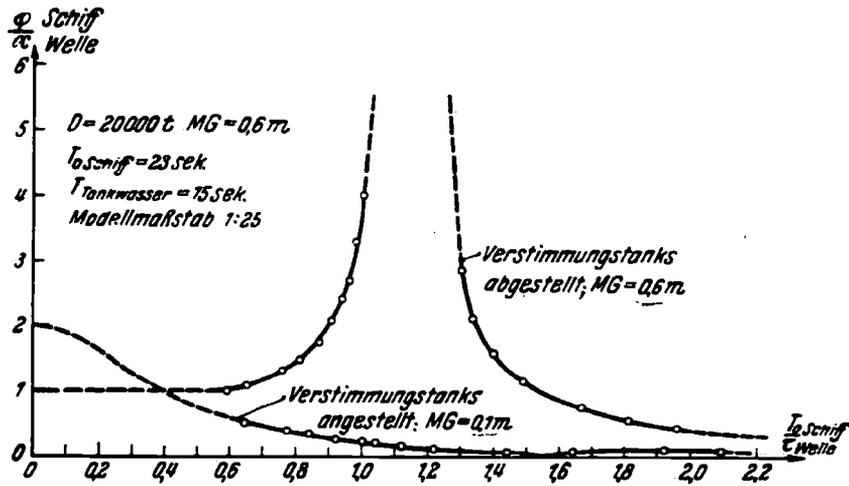


Bild 9. Schlingerdämpfungsversuche an einem mechanischen Schiffmodell mit Verstimmungstank. Erregende Wellenschräge = 3°.

In Bild 10 sind die Ausschlingerkurven des mechanischen Modelles für abgestellte und angestellte Verstimmungstanks wiedergegeben. Auch hier ist die kräftige Dämpfungswirkung der Verstimmungstanks zu erkennen.

Aus den vorstehenden Darlegungen ergibt sich die Zweckmäßigkeit des besprochenen Vorschlages.

Zweifellos wird diese Art der Schiffsstabilisierungstanks nicht für alle Verhältnisse des Schiffbaues anwendbar sein. Besonders günstig dürften die Verhältnisse für die reinen Fahrgastschiffe liegen. Hier ist von vornherein die natürliche metazentrische Höhe des Schiffes nicht so groß und schwankt

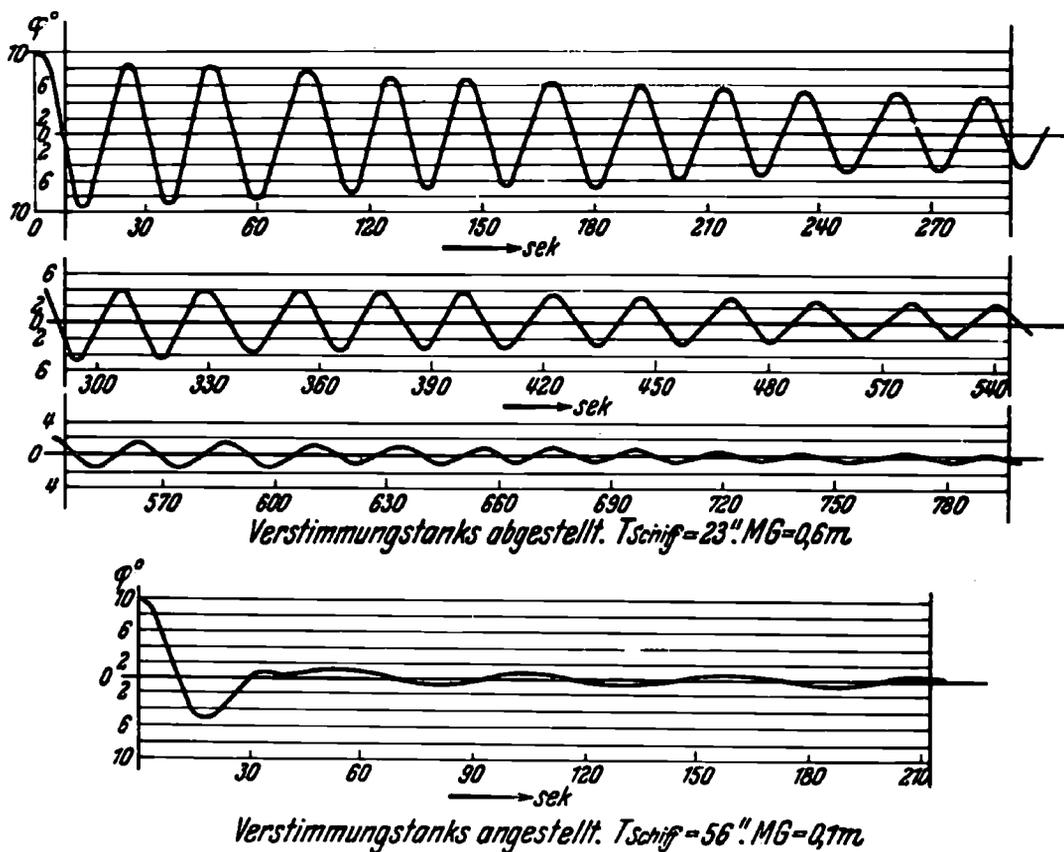


Bild 10. Ausschlingerversuche eines mechanischen Schiffsmodells mit ab- und angestellten Verstimmungstanks.

bei entsprechenden Maßnahmen nur unwesentlich. Infolgedessen können Verstimmungstanks von mäßigem Ausmaß bereits die nötige MG -Verminde rung herbeiführen.

Die hier erstmals bekanntgegebene Art der Schiffsstabilisierung bei kleiner metazentrischer Höhe ist naturgemäß zunächst durch den praktischen Schiffbauer gründlich zu prüfen gewesen. Es ist in höchstem Maße anzuerkennen, daß die technische Leitung der Hamburg-Amerika Linie, die Herren Direktoren **Bleicken** und **Gödecken**, für die praktische Erprobung des Gedankens sich eingesetzt haben, wodurch es ermöglicht wurde, daß die Stabilisierung erstmals auf einem 20 000 t-Fahrgastschiff für „Kraft durch Freude“ eingebaut wird.

Anschließend seien Teile eines Lehrfilmes der Schlingerdämpfungsanlagen gemäß Teil II vorgeführt.

Schrifttum.

- Basset & Hodgkinson, Z. S. Trans. Inst. of Naval Architects and Marine Engineers, November 1935.
 de Santis und Russo, wie vor, September 1936.
 Bauer, G., Schiffsmaschinenbau II.
 Boella, M., Engl. Patent Nr. 447 259/1934.
 Chalmers, T. W., Automatic Stabilisation of Ships.
 Föppl, O., Z. S. Werft, Reederei, Hafen 1934, Heft 6.
 — Wöhlerinstitut, Braunschweig 1935, Heft 25.
 Horn, F., Theorie des Schiffes.
 Hort, H., Jahrbuch der Schiffbau-Technischen Gesellschaft 1934.
 Minorsky, N., Z. S. The Engineer vom 17. August 1934.
 Späth, W., Z. S. Schiffbau vom 1. Februar 1936.

★

Vorsitzender, Ministerialdirektor **Prezse**:

Ich danke Herrn Dr. Hort für die Bekanntgabe der neuesten Erfahrungen auf dem Gebiete der Schiffsstabilisierung, insbesondere für die Vorführung des sehr lehrreichen Films. Die Erörterung soll im Anschluß an den dritten Vortrag stattfinden. (Vgl. S. 323.)