

30 | Juni 1956

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

cand. arch. nav. K.H. Krekeler

Bericht über Modellversuche zur Kontrolle der Integratorverfahren für Stabilitätsberechnungen

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Prof. Dr.-Ing. G. Weinblum

Bericht über Modellversuche zur Kontrolle der Integrator-
verfahren für Stabilitätsberechnungen

von

cand. arch. nav. K.H. Krekeler

Hamburg, 5. 6. 1956

Im Rahmen der Untersuchungen über Methoden zur Bestimmung der Stabilitätseigenschaften von Schiffen, welche das Institut für Schiffbau der Universität Hamburg durchführt, wird im folgenden eine Versuchsreihe beschrieben, welche den Vergleich der Integratormethoden mit Messungen am Modell unter dem Momentenindikator zum Gegenstand hat. Der Rahmen der Fragestellung, aus denen sich die Notwendigkeit dieser Untersuchungen ergibt, ist in einem Vorbericht von H. Thieme dargestellt worden. Der vorliegende Bericht soll im wesentlichen die experimentelle Durchführung der Untersuchungen mittels der durch das Bundesverkehrsministerium bereitgestellten Geräte beschreiben und den Verlauf der Abweichungen der beiden Methoden an zwei Teilergebnissen darstellen; eine kritische Auswertung der gesamten vorliegenden Messergebnisse mit Diskussion und Abschätzung der auftretenden Fehlerkomponenten soll in Kürze folgen.

Die Messungen sollten mit dem von dem Lehrstuhl für Entwerfen von Schiffen und Schiffstheorie an der Technischen Hochschule Hannover angefertigten Einheitslinienrisses und dem danach angefertigten Modell durchgeführt werden. Die entsprechenden Berechnungen waren vollständig durchgeführt. Bei den praktischen Messungen am Modell zeigte sich aber, dass dieses 2 m lange aus Teakholz hergestellte Modell trotz guter Verarbeitung und Anstrich den langen Liegezeiten im Wasser nicht gewachsen war. Es zeigten sich Formveränderungen und das Modell platzte im Boden in einer Länge von 1,5 m auf und wurde somit für die Messungen unbrauchbar, da auf Erhaltung der Schiffsformen grösster Wert gelegt werden musste.

Auf eine Anfrage hin, stellte jedoch die HSVA ein 2,65 m langes Kunststoff-Modell der Taylor-Versuchs-Serie zur Verfügung.

Abmessungen des Modells:

Lpp:	2,620 m
LüA:	2,675 m
B:	0,350 m
H:	0,246 m

In der vorliegenden Form und wie es für die Schleppversuche gebraucht worden war, konnte es nicht für die Untersuchungen mit dem Momenterindikator verwendet werden.

Die äussere Modellform war aus einem Polyesterharz hergestellt und mit Holzleisten ausgesteift. Die Seitenhöhen waren unregelmässig entsprechend einem Schiff mit Back und Poop. In der Werkstatt des Institutes für Schiffbau wurde nun das Modell umgebaut. Die Seitenhöhe des Modelles wurde auf gleiche Höhe gebracht. Vor- und Achterschiff wurden mit einem festen Deck versehen. In der Mitte des Schiffes wurde Platz gelassen zum Einbau der Ballasteinrichtung, die weiter unten beschrieben wird. Der Raum zum Einbau des Ballastes wurde vom Vor- und Hinterschiff durch je ein Schott abgetrennt

Die Ballasteinrichtung: (siehe Skizze)

Auf eine Grundplatte aus 8 mm starken Aluminium sind zwei Stützbleche aufgehängt, zwischen denen sich drei Stangen befinden, die zur Aufnahme des Ballastgewichtes dienen. Die Ballastgewichte haben ein Gewicht von ca. 3 000gr. Sie sind auf 1 gr. genau gewogen. Damit sie keinen grossen Einfluss auf die Höhenlage des Gewichtsschwerpunktes ausüben, sind die runden Gewichte ausgewuchtet worden. Im ganzen können ca. 60 kg Ballast angenommen werden. Die Ballasteinrichtung liegt in einem Rahmen aus einem Winkelprofil und wird durch einen Gummiring und Fett abgedichtet, so dass bei Neigungen über Seite Deck zu Wasser kein Wasser eindringen kann. Die Befestigung geschieht durch 22 Senkschrauben. Der Aus- und Einbau der Einrichtung erfolgt mit Hilfe eines Flaschenzuges. Das Modell bleibt dabei im Wasser liegen, um eine Beschädigung des Modelles, welches mit vollem Ballast immerhin 130 kg wiegt, zu vermeiden.

Umbau von Indikator und Wanne.

Der Indikator und die Wanne waren für 1,5 - 2,0 m lange Modelle eingerichtet. Um mit dem 2,67 m langen Modell arbeiten zu können, wurde die Wanne auf 3,20 m verlängert. Der Indikator, der bislang

an der Wanne befestigt war, wurde von ihr gelöst. Für ihn wurde ein fahrbares Gestell gebaut. Dieses war notwendig geworden, da man die lange Wanne nicht leicht in die Waage bringen und gleichzeitig den Indikator horizontrieren kann. Weiterhin besteht nun die Möglichkeit, den Indikator beim Arbeiten am Modell zur Seite zu fahren, damit er nicht hindert und keine Stösse erleidet. Durch seine Aufstellung ist es möglich, den Indikator, unabhängig von der Lage der Wanne, schnell und genau zu justieren.

Der Modellkopf, der bislang zum Modell gehörte, wurde mit dem Indikator zusammen ausbalanciert. Er gehört nun zum Gerät; dadurch wird die Auswertung der Versuche etwas erleichtert.

Die Anzeigeskala, die bislang mit einer Einteilung von 0,5 zu 0,5 cmkg hatte, wurde mit einer Einteilung von 0,1 zu 0,1 cmkg versehen, um eine genauere Ablesung der Momente zu gewährleisten.

Indikatoreichung: (siehe Skizze)

Ein Hohlzylinder (1) wurde mit zwei Winkelstreben (2) versehen, auf denen die Grundplatte (3) aufgeschraubt werden konnte. Die Winkelstreben waren mit dem Hohlzylinder fest verbunden. Drehbar um den Hohlzylinder war ein Ausleger mit Masseinteilung (4) befestigt, an dem das Moment angebracht werden konnte.

Vorgang der Eichung:

Die Eichvorrichtung wurde ohne Grundplatte und Messingschrauben mit Hilfe der Gewichte (6) austariert. Nun wurde der Modellkopf angeschraubt und der zu messende Winkel eingestellt. Der Ausleger wurde waagrecht eingestellt und dann mit Hilfe der Schrauben (5) fest mit dem Hohlzylinder verbunden. Nach Ablesen des Anfangsmomentes wurden nun durch Verschieben der Gewichte (6) zusätzliche Momente aufgebracht und die Anzeige des Gerätes abgelesen.

Die Differenz der aufgebrachten Momente zu den abgelesenen Momenten wurde über die abgelesenen Momente aufgetragen (siehe beigelegte Skizze). (3a).

Die Auswertung der Eichung.

Wie schon gesagt wurde die Differenz abgelesener Wert - aufgebrauchtes Moment über die abgelesenen Momente aufgetragen. Dabei zeigte es sich, dass der Streubereich der Messpunkte bei kleineren Momenten f relativ grösser war als im Bereich der grösseren Momentenwerte.

Als Berichtigungskurve wurde die Gerade genommen, ausgehend vom Nullpunkt durch die Mitte des Streubereiches. Der Streubereich zeigte eine konstante Tendenz zum Negativen. Da der Streubereich bei kleinen Momenten grösser war, wurde der prozentuale Fehler abweichend von der Berichtigungsgeraden noch einmal über die abgelesenen Momente aufgetragen. Die in das Bild 3 eingetragenen Messpunkte sind die gemittelten Werte im Bereich von 5° zu 5° Neigung. Es zeigt sich, dass beim Berichtigen der erhaltenen abgelesenen Momente an Hand der Kurve Bild 3 bei kleinen Momenten bis 5 cmkg der mittlere Fehler 1 % betragen kann. Dieser Wert fällt dann bei grösseren Momenten aber sehr rasch ab, und erreicht bei Momenten von 45 cmkg bis 75 cmkg den Wert 0,05 %. Dabei ist zu bemerken dass die Möglichkeit negative Abweichungen zu bekommen im Bereich bis 40 cmkg weit grösser ist, als dass man positive Abweichungen bekäme.

Weiterhin wurde folgendes bei der Auswertung bemerkt. Es waren fünf Neigungen durchgeeicht worden (0° , 20° , 40° , 60° , 80°). Alle fünf Eichungen wurden über dieselbe Basis aufgetragen. Dabei zeigte es sich, dass alle fünf Kurven den gleichen etwa sinusförmigen Kurvenverlauf hatten, allerdings mit einer geringen Streuung. Woran dieses lag konnte noch nicht geklärt werden.

Bestimmung des Gewichtsschwerpunktes (siehe Skizze)

Zur Bestimmung des Gewichtsschwerpunktes des Modelles wurde das Modell über einem als Waagebalken auf einer Schneide liegenden Stahl-lineal solange verschoben, bis es sich im labilen Gleichgewicht befand.- Aus dem horizontalen Abstand Seite Deck - Schneidemitte wurde der Schwerpunkt der Höhe nach bestimmt.

Um die Schwerpunktentfernung an der Mittschiffsebene zu ermitteln, wurde das Modell entsprechend mit der Decksfläche auf das Lineal gelegt.- In beiden Fällen konnte eine Genauigkeit von $\pm 0,2$ mm erreicht werden.

Als unabhängige Methode wurde dann das Modell mit der Decksplatte direkt auf die Schneide gelegt und auf einem vertikal angebrachten Mast Gewichte verschoben, bis das Gesamtsystem im indifferenten Gleichgewicht war, der Schwerpunktabstand wurde dann durch einfache Momentenrechnung bestimmt.

Momentenmessung, mit dem Indikator.

Die Momentenmessung wurde nach der Gebrauchsanweisung der Firma Kempf und Remmers für die Stabilitätswaage F 02 durchgeführt. Die erste Messung erfolgte für das leere Modell ohne Ballast. Das Modell wurde mit dem Indikator verbunden, die Messungen erfolgten von 5° zu 5° , beginnend mit -5° bis Ende des Messbereiches. Die zweite Messung erfolgte mit vollem Ballast. Bei jedem weiteren Versuch wurden nun ein bzw. zwei Ballaststücke entfernt. Da sich beim Handtieren an der Stabilitätswaage, insbesondere beim Einstellen des Modellkopfs nicht vermeiden lässt, dass Wasser und Modell in Schwingungen geraten, wurde eine Dämpfungseinrichtung eingebaut. Sie bestand aus einer Reihe von Naturschwämmen, die in Höhe der Wasserlinie an den Wänden des Tanks angebracht wurden und deren Porengrösse der Art der auftretenden Wellen angepasst war. Trotzdem musste zwischen zwei Winkeleinstellungen mindestens 4 Minuten gewartet werden. Jede Messreihe dauerte, einschliesslich Ein- und Ausbau des Ballastes, ungefähr drei bis vier Stunden.

Die eingebaute Ballasteinrichtung gab dem Modell eine sehr hohe Schwerpunktlage, welche, zusammen mit der Formunsymmetrie des Modells zu Beginn einer jeden Messung eine Schlagseite bewirkte, die sich bei Messungen mit unsymmetrischer Verteilung des Ballastes bis zu 23° vergrösserte, In gewissen Beladungszuständen war ausserdem die Herstellung einer Anfangsschlagseite erforderlich, um innerhalb der Messreihe die auftretenden Momente in ihrem Absolutbetrag im Messbe-

reich des Indikators zu halten. Das hatte zur Folge, dass jede Messung bei 0° ein negatives Moment ergab. Die erhaltenen Werte wurden zur Kontrolle in Kurvenform aufgetragen. Bild 4,5 . Auf den Berechnungsblättern für die einzelnen Messungen wurden in Spalte 1 die gemessenen Werte eingetragen. In Spalte 2 werden diese Werte korrigiert um die Anzeige des Indikators ohne Belastung (Nullpunktberichtigung). In Spalte 3 wird diese verbesserte Ablesung multipliziert mit dem aus der Steigung der Eichgeraden ermittelten Skalenfaktor 1,0066. Spalte 4 schliesslich enthält die Korrektur für das Moment, das sich aus der seitlichen Abweichung der Schwerpunktlage bei Neigung 0° ergibt. Nach Abzug dieser Korrektur und Division durch das Modellgewicht erhalten wir in Spalte 6 dann den gesuchten Wert des Hebelarmes.

Modell leer

G (kg)	\bar{G}_h (cm)	M (cmkg)	\bar{G}_k (cm)	M_k (cmkg)
49,3	8,52	420,00	+ 0,25	+ 12,320

\bar{G} üb. Basis 24,25 - 8,52 cm = 15,73 cm
 $\bar{G}_k = + 0,25$ (nach Steuerbord aus Mitte Schiff)

Deck zu Wasser: 45°
 Nullpunkt: ± 0 cmkg

φ	① Ablesung cmkg	② Ablesung Nullpunkt	③ $\textcircled{2} \cdot 1,0066$ cmkg	④ $M_k \cdot \cos \varphi$ cmkg	⑤ $\textcircled{3} + \textcircled{4}$ cmkg	⑥ $h = \frac{\textcircled{5}}{G}$ cm
0°	- 5,50	0	- 5,536	+ 12,320	+ 6,789	+ 0,1377
5°	- 5,05		- 5,083	+ 12,278	+ 7,195	+ 0,1459
10°	- 4,40		- 4,429	+ 12,130	+ 7,701	+ 0,1562
15°	- 3,15		- 3,170	+ 11,905	+ 8,735	+ 0,1771
20°	- 1,30		- 1,308	+ 11,581	+ 10,273	+ 0,2083
25°	+ 0,95		+ 0,956	+ 11,170	+ 12,126	+ 0,2459
30°	+ 3,50		+ 3,523	+ 10,673	+ 14,196	+ 0,2879
35°	+ 5,35		+ 5,385	+ 10,096	+ 15,481	+ 0,3140
40°	+ 7,35		+ 7,7398	+ 9,441	+ 16,839	+ 0,3415
45°	+ 9,46		+ 9,522	+ 8,715	+ 18,237	+ 0,3699
50°	+ 11,50		+ 11,575	+ 7,922	+ 19,497	+ 0,3954
55°	+ 8,20		+ 8,254	+ 7,069	+ 15,323	+ 0,3108
60°	- 0,13		- 0,130	+ 6,162	+ 6,033	+ 0,1223
65°	- 12,25		- 12,330	+ 5,208	- 7,122	- 0,1444
70°	- 27,90		- 28,084	+ 4,215	- 23,869	- 0,4841
75°	- 47,10		- 47,410	+ 3,189	- 44,221	- 0,8969
80°	- 68,60		- 69,052	+ 2,140	- 66,912	- 1,3572

Modell mit vollem Ballast

	G(kg)	\bar{O}_n (cm)	M(cmkg)	\bar{O}_k (cm)	M_k (cmkg)
Mod.	49,3	8,52	420,00	+ 0,25	+ 12,320
unten	20,564	14,90	306,40	0	0
1	20,653	6,30	130,11	+ 5,325	+ 109,977
2	20,557	6,30	129,51	- 5,325	- 109,466
	111,074		986,02		12,831

Deck zu Wasserv 23°30'
Nullpunkt: - 0,01 cmkg

$$\bar{O}_h = \frac{M}{G} = 8,87 \text{ cm unter OK Deck}$$

$$= 15,38 \text{ cm über Basis}$$

$$\bar{O}_k = \frac{M_k}{G} = + 0,115 \text{ cm (nach Steuer-$$

bord aus Mitte Schiff)

φ	① Ablesung cmkg	② Ablesung ± Nullpunkt	③ ② · 1,0066 cmkg	④ $M_k \cdot \cos \varphi$ cmkg	⑤ ③ + ④ cmkg	⑥ $h = \frac{⑤}{G}$ cm
0°	- 4,25	- 4,24	- 4,267	+ 12,831	+ 8,564	+ 0,0771
5°	- 6,12	- 6,11	- 6,150	+ 12,782	+ 6,632	+ 0,0597
10°	- 6,45	- 6,44	- 6,482	+ 12,636	+ 6,154	+ 0,0554
15°	- 4,70	- 4,69	- 4,720	+ 12,393	+ 7,673	+ 0,0697
20°	+ 0,33	+ 0,34	+ 0,342	+ 12,057	+ 13,399	+ 0,1206
25°	+ 8,00	+ 8,01	+ 8,062	+ 11,628	+ 19,690	+ 0,1772
30°	+ 7,60	+ 7,61	+ 7,660	+ 11,112	+ 18,772	+ 0,1690
35°	+ 1,25	+ 1,24	- 1,248	+ 10,510	+ 9,262	+ 0,0833
40°	- 15,60	- 15,59	- 15,692	+ 9,829	- 5,863	- 0,0527
45°	- 34,60	- 34,59	- 34,818	+ 9,072	- 25,746	- 0,2317
50°	- 57,05	- 57,04	- 57,416	+ 8,247	- 49,169	- 0,4426

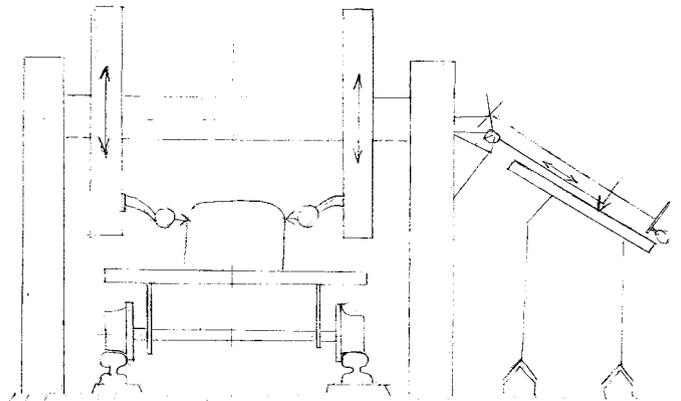
Das Aufmessen des Modelles.

Während normalerweise bei Stabilitätsuntersuchungen für eine Schiffsförm das Modell dem Linienriss nachgebaut wird (im Rahmen der üblichen Herstellungstoleranzen), musste im vorliegenden Fall der umgekehrte Weg beschritten werden, nämlich die Anfertigung des Linienrisses nach dem Modell. Durch die grosse Genauigkeit der Vermessung konnte dafür aber eine besonders weitgehende Uebereinstimmung der Masse vom Linienriss und dem Modell erzielt werden.

Das Aufmessen des Modelles geschah auf der Kopierfräsmaschine, deren Fräser durch Messuhren ersetzt wurden.

Beschreibung der Anlage.

Das Modell liegt mit der Decksfläche auf einem Schlitten, dessen Transport mit einer Nachfolgevorrichtung auf einem Anzeigetisch gekoppelt ist. Ueber diesen Schlitten greift ein Rahmen, welcher ein Paar horizontal verstellbare Spindelköpfe zur Aufnahme der Messuhren trägt. Die Stellung dieser Messköpfe wird ebenfalls auf den Anzeigetisch übertragen, auf den somit die Form einer Wasserlinie aufgezeichnet wird, wenn man beim Verschieben des Schlittens die Messköpfe so nachdreht, dass sie stets einen konstanten Abstand von der Modelloberfläche haben. Die Messuhren erfassen einen Bereich von 30 mm. Sobald sie den genauen Wert anzeigten, wurden die Punkte der Wasserlinien durch eine Schablone des Anzeigetisches auf einer Kunststoffolie markiert. Dabei war eine Genauigkeit von $\pm 0,1$ mm zu erreichen. Das bedeutet bei einem Modellmasstab von 1:50 am Schiff eine Genauigkeit von ± 5 mm. Die Kunststoffolie wurde genommen, um ein Verziehen des Linienrisses bei längerer Lagerung zu verhindern. Zur Erfassung der Bodenpartien des Schiffskörpers wurde das Modell auf eine Seite gelegt und die Form



der Längsschnitte aufgenommen. Nach Festlegung der Koordinatenzuordnung ergab sich dadurch noch eine Möglichkeit zur Kontrolle der Wasserlinienaufzeichnung.

Aus diesem Linienriss wurde ein Spantenriss mit zehn Tschebyscheffspanten aufgezeichnet, wobei zur Erhöhung der Übersicht beim Integrieren Vor- und Hinterschiff auf getrennten Blättern aufgetragen wurden. Auf beiden Blättern wurde, ebenso wie auf der Kunststoffolie des Linienrisses, je eine Kontrollstrecke von 300 mm Länge eingetragen, um etwaige Papierverzerrungen bei der Auswertung der Integration berücksichtigen zu können. Die Spanteinteilung wurde entsprechend dem Integrationsverfahren von Tschebyscheff gewählt, weil dieses Verfahren einerseits das von Simpson an Genauigkeit übertrifft und darüber hinaus beim Integrieren hier nur eine einzige Ablesung nach Umfahren aller Spanten erforderlich ist, da die Beiträge der einzelnen Spanten zur Gesamtverdrängung und zum Gesamtmoment alle mit demselben Gewicht in die Summation eingehen.

Diese Spanteinteilung wurde auch benutzt zum Aufstellen des verkürzten Kurvenblattes zur Ermittlung der Verdrängung V , der Schwerpunktlage der Modellform der Höhe nach \overline{KF} , des Breitenträgheitsmomentes I_B und der Entfernung des Breitenmetazentrums vom Formschwerpunkt $\overline{M_B F}$. Wegen der Formunsymmetrie des Modells erfolgte die Berechnung von I_B und damit auch von $\overline{M_B F}$ für die verschiedenen Tauchtiefen getrennt sowohl für die Steuerbordseite als auch für die Backbordseite. Grössere Abweichungen wurden nur in Gebieten kleinerer und grösserer Verdrängungen festgestellt, die ausserhalb des Bereiches unserer Messungen liegen.

Aufstellung der Pantokarenen.

C.W. Prohaska[^]wies 1947 darauf hin, dass die meisten Verfahren zur Aufstellung der Pantokarenen zwar theoretisch exakt, in der praktischen Anwendung aber mit starken Mängeln behaftet seien. Er erwähnte folgende Fehlerquellen:

- 1.) Beschränkung auf eine zu kleine Zahl von Tschebyscheffspanten.

- 2.) Beschränkung auf eine zu kleine Zahl von Neigungen und Wasserlinien.
- 3.) Fehler in der Bedienung des Integrators
 - a) durch ungenaues Umfahren der Spanten
 - b) durch Fehler beim Ablesen der Umfahrungen
 - c) durch ungünstige Lage der Integratorachse
 - d) durch ungenügende Reibung der Messrollen infolge zu glatter Unterlage.

Zur möglichst weitgehenden Elimination individueller Fehler wurde die Integration in unabhängiger Arbeit von zwei Personen nebeneinander durchgeführt.

Die Aufstellung der Pantokarenen, d.h. die Auftragung der Momente der bei einem vorgegebenen Neigungswinkel wirkenden Auftriebskraft bezüglich eines schiffsfesten Punktes K in Abhängigkeit von der Verdrängung erfolgte entsprechend dem Verfahren von Schulz-Fellow. Während die Messungen beim Indikator von 5° zu 5° Neigungen geschahen, wurden die Pantokarenen, wie es allgemein üblich ist, von 10° zu 10° Neigung ermittelt. Um den Einfluss der Unsymmetrie auf die Hebelarmkurve zu bekommen, wurde auch die Pantokarene für 0° Neigung geprüft; die bei genau symmetrischen Schiffen über die Verdrängung aufgetragen überall den Wert Null hat.

Auswertung.

Die Messreihen am Indikator wurden für insgesamt 19 verschiedene Ballastzustände des Modells durchgeführt.- Für zwei charakteristische Fälle, nämlich für leeres Schiff und Schiff mit vollem Ballast, liegen die Auswertungen von Rechnung und Versuch als Anlage bei, siehe S. 7,8. Der Vergleich der Kurven zeigt, dass die auftretenden Abweichungen in ihrer Grössenordnung die Anzeigegenauigkeit des Indikators wesentlich überschreiten und damit die Verwendung des Indikators zur Kontrolle der Integrationsverfahren gerechtfertigt erscheint.- Andererseits entspricht der maximalen Abweichung von 0,08 cm Hebelarm beim Modell einer von 4 cm am grossen Schiff, wenn man einen Masstabsfaktor 1:50 zugrunde legt. Dieser Wert liegt in der Grössenordnung der Fehler beim Krängungsversuch.

Ein abschliessendes Urteil über das Ergebnis unserer Untersuchungen kann erst nach Vorlage der Auswertungen für alle 19 Messreihen gefunden werden.

Nach einer Abschätzung des Einflusses der einzelnen Fehlerquellen soll im Verlauf der weiteren Arbeit der Fehler in Bezug gesetzt werden zum Verlauf der Zusatzstabilitätskurven, die sich aus den vorliegenden durch Abzug des durch die Schwerpunktlage bestimmten Terms $\overline{MG} \sin \varphi$ ergeben.

Die Zusatzstabilitätskurven sollen dann noch unabhängig nach der Methode von Prohaska berechnet werden, welche sie als Funktion einiger weniger charakteristischer Parameter darstellt und sich auf dem Gedanken einer Fourieranalyse der Zusatzstabilitätskurven aufbaut.

Herrn Dipl. Math. K. Eggers danke ich für die Anregungen, die ich beim Anfertigen ^eder Arbeit von ihm bekommen habe.

Berechnung der Hebelarmkurven aus Pantokarenen

Modell leer:
KG = 15,73 cm

φ	w	KG $\sin\varphi$	h = w-KG $\sin\varphi$
0°	0,17	0	0,17
10°	2,90	2,731	0,169
20°	5,60	5,379	0,221
30°	8,18	7,865	0,315
40°	10,52	10,111	0,409
50°	12,53	12,049	0,481
60°	13,75	13,622	0,200
70°	14,30	14,781	--0,481
80°	14,20	15,491	- 1,291

Modell mit vollem Ballast

KG = 15,38 cm

φ	w	KG $\sin\varphi$	h = w-KG $\sin\varphi$
0°	0,10	0	0,100
10°	2,74	2,670	0,070
20°	5,40	5,260	0,140
30°	7,91	7,690	0,220
40°	9,87	9,885	0,015
50°	11,35	11,781	- 0,381