

49 | Juni 1958

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

E. Streit

Vorbericht über Stabilitätseigenschaften von Schiffen in Fahrt

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Prof. Dr.-Ing. G. Weinblum

Vorbericht über Stabilitätseigenschaften
von Schiffen in Fahrt.

E. Streit

Hamburg, Juni 1958

Vorbericht über Stabilitätseigenschaften von Schiffen in Fahrt.

Im Rahmen der Untersuchungen der Stabilitätseigenschaften von Schiffen, wurde am Institut für Schiffbau der Universität Hamburg eine Versuchsreihe begonnen, die sich speziell mit den Stabilitätseigenschaften von Schiffen in Fahrt bei unbewegtem Wasser befaßt. Im folgenden wird beschrieben, wie und mit welchen Mitteln die Versuche ausgeführt wurden.

Durch Probefahrtsmessungen mußte zuerst geklärt werden, ob Stabilitätsänderungen durch Fahrt~~w~~einfluß zu erwarten sind. Im Laufe der Arbeit konnte diese Frage durch ein erstes Meßverfahren qualitativ beantwortet werden. Quantitative Aussagen ließen sich, wie im folgenden nachgewiesen wird, nicht machen. Aus diesem Grunde wurde eine zweite Meßmethode entwickelt, von der brauchbare Ergebnisse erwartet werden können.

Die Arbeit unterteilt sich wie folgt:

I Probefahrtsmessungen mit Hilfe einer optischen Winkelmeßeinrichtung.

- 1) Modellabmessungen
- 2) Schwerpunktsbestimmung des Schiffes
- 3) Beschreibung der Versuchseinrichtung
 - a) Geräte
 - b) Versuchsanordnung
- 4) Versuche und Ergebnis

II Messungen mit einem Momentenaufnahmegerät

- 1) Gerätebeschreibung
- 2) Versuche

Die Probemeßfahrten wurden mit einem Kunststoffmodell ausgeführt, das von früheren Stabilitätsuntersuchungen her mit einem wasserdichten Deck versehen war. Die Abmessungen des Modells (Taylormodell) sind:

$$L = 2,680 \text{ m}$$

$$B = 0,350 \text{ m}$$

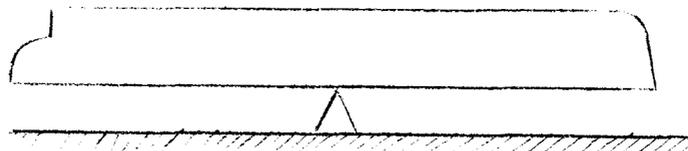
$$H = 0,246 \text{ m}$$

Durch das vorhandene Deck erschien das Modell für die Messung besonders geeignet, da es die Möglichkeit bot, die Untersuchungen auch für größere Neigungen auszuführen. Leider konnte von diesem Vorteil kein Gebrauch gemacht werden, da 1) die optische Einrichtung infolge der Linsenwerte einen bestimmten Abstand vom Spiegel bzw. vom Bildschirm haben mußte und sich für Bildschirm und Spiegel baulich nicht ausführbare Abmessungen ergeben hätten und 2) da das Modell durch das Gewicht des Decks und die dort angeordneten Meßgeräte außerordentlich weich geworden war, sodaß der Stabilitätsumfang und damit die zu messenden Neigungsbereiche wieder klein gehalten werden mußten, um ein Kentern des Schiffes zu verhindern.

Vor Beginn der Meßfahrten wurde das Leere Modell gewogen und durch Versuch die Schwerpunkte bestimmt. Der Schwerpunkt der Höhe nach wurde dann während der Versuche durch Krängungsversuche überprüft. Die Schwerpunktsbestimmung erfolgte wie nachstehend beschrieben:

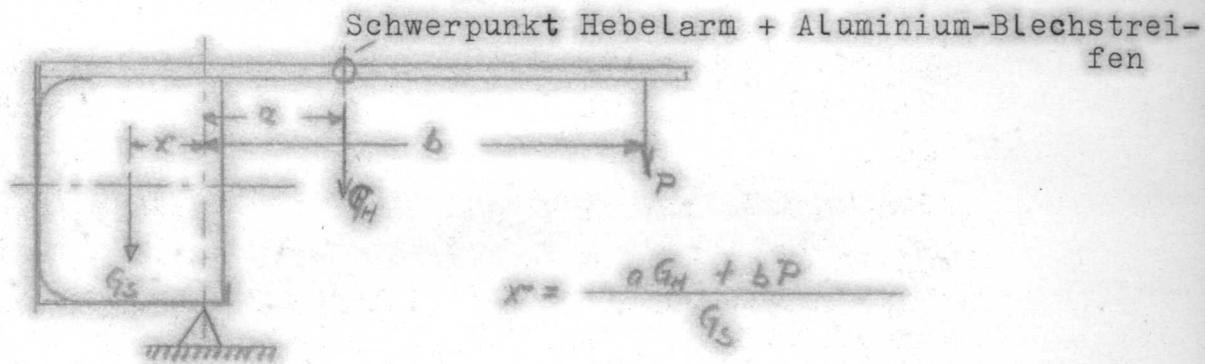
1) Gewichtsschwerpunkt der Länge nach:

Das Modell wurde mit dem Deck auf einen gleichschenkligen Winkel 20×30 gelegt und solange verschoben, bis sich Gleichlastigkeit einstellte.



2) Gewichtsschwerpunkt der Höhe nach:

Lagerung des Modells 15 mm unterhalb Seite Deck auf 2 Winkeln (Winkellänge 5 cm). Mit Hilfe eines Aluminiumstreifens wurde an dem Schiffskörper ein Hebelarm befestigt. Durch Verschieben von Gewichten auf dem Arm, wird der Gleichgewichtszustand ermittelt. Eine einfache Momentenrechnung ergibt den Abstand des Gewichtsschwerpunktes von Seite Deck.



3) Gewichtsschwerpunkt aus M.S.

Diese an sich nicht übliche Schwerpunktsbestimmung wurde ausgeführt, da ein Schwimmversuch gezeigt hatte, daß das leere Modell, vermutlich durch das nachträglich aufgesetzte Deck verursacht, ca. um 5° nach Stb. neigte.

Die Schwerpunktsbestimmung erfolgte in ähnlicher Weise wie unter 2 beschrieben.

Die Versuche ergaben nachstehende Werte:

Schwerpunkt der Länge nach: $x_L = 131,5$ cm vor HL

Schwerpunkt der Höhe nach: $x_H = 8,3$ cm unter Deck gemessen an x_L

Schwerpunkt aus MS : $x_{\text{Stb.}} = 0,4$ cm

Bemerkungen zu den gewonnenen Ergebnissen:

Wie aus den Skizzen ersichtlich, wurden die gemessenen bzw. errechneten Werte aus dem labilen Gleichgewichtszustand ~~ermittelt~~. Es muß daher, außer der Ungenauigkeit in der Bestimmung der Hebelarme, mit einem geringen Verkanten des Systems und damit einer Wanderung des Schwerpunktes gerechnet werden. Vergleiche mit Werten, die auf andere Art gemessen wurden und vorlagen, ergaben jedoch gute Übereinstimmungen, sodaß für einen ersten Überschlag mit den gewonnenen Ergebnissen gearbeitet werden konnte.

Die Versuche zur Bestimmung der Schwerpunkte wurden angestellt, um schon vor Beginn der Fahrten durch Gewichtsanzordnung das \overline{KG} des mit Meßgeräten und Ballast ausgerüsteten Schiffes zu ermitteln. Der Wert \overline{KG} sollte möglichst groß und \overline{MG} möglichst klein gehalten werden, da bei dieser Anordnung bei kleinen Krängungen ein sichtbarer Effekt erwartet werden konnte.

Beschreibung der Versuchseinrichtung a) Geräte

Das Modell mußte, im Hinblick auf den Zweck der Untersuchung, so geführt werden, daß es in seinen Bewegungen so wenig wie möglich behindert wurde. Von allen Freiheitsgraden wurden lediglich das Quertreiben und Gieren unterbunden. Bild 1 zeigt das Modell an einem Ausleger des Schleppwagens. Die Befestigung des Schiffkörpers erfolgt durch jeweils eine im Vor- und Achterschiff angebrachte Halterung, die gleichzeitig Stampfen, Trimmen und Krängen zulassen. Die Halterungen sind durch das Gewicht (G) so ausgewogen, daß sie das Schiff nur führen jedoch nicht zusätzlich belasten können. An Bord des Modells befand sich eine durch mehrere Linsensysteme verstärkte Lichtquelle, im folgenden kurz mit Optik bezeichnet, ein Trimmkreuz und je nach Bedarf Ballastgewichte.

Bild 2 zeigt das Trimmkreuz. Zwei kreuzförmig angeordnete Laufschienen erlauben das Verschieben von feststellbaren Wagen, an denen Gewichte befestigt werden. Das System ist der Höhe nach verstellbar und gestattet somit ein Ausgleichen des Trimms,

Variation des MG bzw. KG-Wertes und das Einstellen einer gewünschten Krängung.

Die Optik besteht aus zwei sich gegenüberliegenden festen und einer in der vertikalen Ebene verstellbaren Röhre. (Bild 3) Über ein Linsensystem innerhalb der Tuben wird das Licht der Lichtquelle, die im Zentrum des Systems liegt, gesammelt. In der Linsenmitte ist ein Fadenkreuz eingeätzt, das den Mittelpunkt der Lichtquelle festlegt.

b) Versuchsanordnung und Versuch

Zur Reflektion eines der Lichtpunkte diente ein am Ausleger des Schleppwagens befestigter Silberspiegel. a ist der Abstand vom Spiegel bis Mitte Modell. Am Schleppwagen selbst ist im Abstand b von Mitte Modell ein mit transparentem Papier bespannter Bildschirm angebracht. Eine Skala-Unterteilung des Schirmes gewährleistet die gewünschte Ablesegenauigkeit. Gemessen wurde die Differenz der Lichtpunkte der Rohre A und C (C reflektierter Lichtpunkt). Durch die Neigung des Modells um den Winkel φ wandert der reflektierte Lichtpunkt um den Winkel 2φ gegenüber dem Punkt A mit der Horizontalen (Parallele zur Decksfläche) bildet, ergeben sich geometrische Zusammenhänge, durch die der Winkel φ in Abhängigkeit der Lichtpunktentfernung A und C errechnet werden kann. (Bild 4) Die Formel sei hier der Vollständigkeit halber angegeben:

Mit den Bezeichnungen des Bildes 4 wird:

$$\frac{E}{r} = \left(\frac{2a+b}{r} + \sin \varphi \right) \operatorname{tg} \varphi - \left(\frac{b}{r} - \sin \varphi \right) \operatorname{tg} (\alpha - \varphi) - \frac{c}{r} \frac{\cos \alpha}{\cos (\alpha - \varphi)}$$

darin ist:

E = Entfernung der Lichtpunkte der Rohre A und C

a = Entfernung Mitte Modell bis Spiegel

b = Entfernung Mitte Modell bis Bildschirm

c = Entfernung Mitte Lichtpunkt B und A (bei $\alpha = 0^\circ$)

r = Entfernung des Decks bis Mitte Lichtpunkt B

α = Anstellwinkel des Rohres A gegenüber Parallele zum Deck

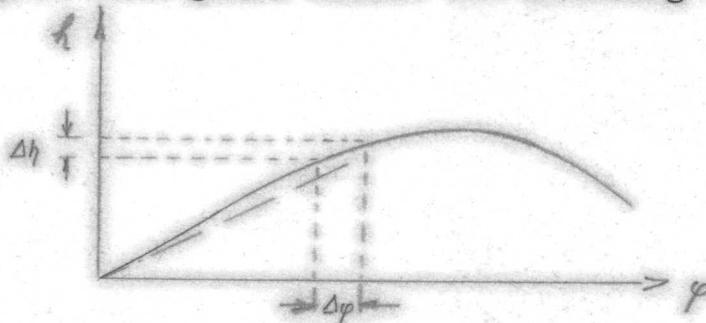
φ = Krängungswinkel

Der Krängungswinkel φ in Abhängigkeit von $\frac{E}{R}$ aufgetragen ergibt im interessierenden Bereich eine Schar leicht gekrümmter Kurven mit α als Parameter.

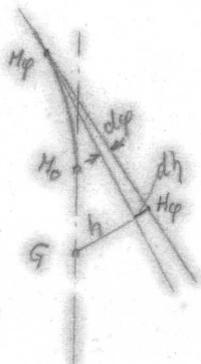
c) Versuche und Ergebnisse

Das Modell wurde zunächst auf Gleichlastigkeit getrimmt ($\Delta T=0$) und mit Krängungswinkel $\varphi = 0^\circ$ und verschiedenen Geschwindigkeiten geschleppt. Durch Verschieben der Gewichte am Trimmkreuz wurden verschiedene Krängungswinkel eingestellt und das Schiff mit den gleichen Geschwindigkeiten wie bei Einstellung 0° gefahren. Eine Kamera nahm automatisch in Zeitabständen von 20 sek. die Veränderung der Lichtpunktstände auf, die sich während der Fahrt einstellten. Alle Versuche wurden bei const. \overline{MG} , Verdrängung und Trimm $\Delta T=0$ durchgeführt.

Um über die Winkeländerung $\Delta\varphi$ zur Aussage über die Stabilitätsänderung zu kommen, bedient man sich am besten der Hebelarmkurve $h = f(\varphi)$, die bekanntlich die Stabilitätseigenschaften eines Schiffes charakterisiert. Aus den Pantokarenen ist sie für eine bestimmte Verdrängung nach Abzug des Wertes \overline{KG} darstellbar. Danach ergibt sich gemäß Skizze die Änderung des Hebelarmes

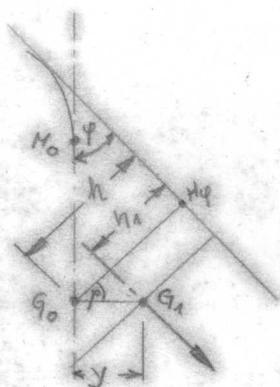


Δh dadurch, daß der Wert $\Delta\varphi$ auf der Abszisse abgetragen und bis zur Kurve $h=f(\varphi)$ verlängert wird. Genauere Δh -Werte ergibt jedoch die Überlegung, daß die Ableitung der Hebelarmkurve gleich ist der metazentrischen Höhe $M_\varphi H_\varphi$.



$$\frac{dh}{d\varphi} = M_\varphi H_\varphi$$

Man wird also die Hebelarmkurve differenzieren, um die metazentrische Höhenkurve zu bekommen, der Punkt $\varphi \pm \Delta\varphi$ ergibt den $M_{\varphi}H_{\varphi}$ -Wert, aus dem dann leicht die Stabilitätsänderung Δh berechnet werden kann. - Es ist zu beachten, daß die dargestellten Skizzen nicht genau den untersuchten Sachverhalt wiedergeben. Der Krängungswinkel φ wurde durch Verschieben eines Gewichtes am Trimmkreuz eingestellt; dadurch verschiebt sich jedoch der Gesamtgewichtsschwerpunkt des Schiffes nach der Neigungsseite; somit ändert sich der Hebelarm h gemäß Skizze um $y \cdot \cos\varphi$.



$$h_1 = h - y \cos\varphi$$

Das ändert grundsätzlich an der Betrachtungsweise nichts, denn es ist immer möglich von h_1 auf h zu schließen da die Strecke y bekannt ist.

Bei den oben beschriebenen Versuchen wurde auf die eben erwähnten Auswertungen verzichtet, denn die Ungenauigkeiten der Versuchsergebnisse ließ keine quantitativen Rückschlüsse auf die Stabilitätsänderung zu. Die Gründe hierfür waren folgende:

- 1) Wie aus Tabelle Nr. 1 hervorgeht, zeigen die Differenzen E , die mit Hilfe der photographischen Aufnahmen ermittelt wurden, stark voneinander abweichende Werte. Somit muß mit einem großen Fehlereinfluß des gemittelten E -Ergebnisses gerechnet werden. Angestellte Fehlerbetrachtungen zeigen Ungenauigkeiten des $\Delta\varphi$ -Wertes von $\pm 25\%$. Die Ursache hierzu ist in der kurzen Meßstrecke zu suchen, die durch die Schleppkanallänge vorgegeben ist. Das Modell hat während der Schleppfahrt nicht die Möglichkeit, sich auf einen meßbaren Wert einzupendeln.
- 2) Die Rollperiode des Modells betrug etwa 2 sek. Wenn es ^{auch} nicht gelang durch Abbremsen das Schiff für eine Fahrtstrecke relativ ruhig zu bekommen, mußte immer wieder festgestellt werden, daß dynamische Kräfte vom Schleppwagen über die Halterungen auf das

Modell und Spiegel übertragen wurden, die im Resonanzbereich eine Messung unmöglich machten.

Abschließend kann zur ersten Meßmethode gesagt werden: Die Untersuchungen haben gezeigt, daß sich die Stabilität durch den Fahrt-einfluß ändert. Konnten auch keine quantitativen Erkenntnisse auf Grund der Ungenauigkeit der Meßwerte gewonnen werden, so zeigte sich doch, daß eine Änderung der Stabilität vor allem bei extremen Neigungslagen und Geschwindigkeiten vorhanden ist. Diese Feststellung gab den Anlaß zur Suche nach einer anderen Meßmethode, die die erkannten Fehler ausschaltet und eine quantitative Bestimmung der gesuchten Werte gewährleistet.

II. Messungen mit einem Momentenaufnahmegerät

An das zu entwickelnde Gerät waren folgende Anforderungen zu stellen:

- 1) Um die Stabilitätsänderung nicht auf dem mühsamen und eventuell mit Fehlern behafteten Weg über die Hebelarmkurve ermitteln zu müssen, soll es die Änderung des Stabilitätsmomentes ΔM direkt messen.
- 2) Vibrationseinflüsse des Schleppwagens auf das Modell sollen weitgehendst ausgeschaltet werden.
- 3) Rollschwingungen und Gieren müssen verhindert werden.
- 4) Das Modell muß freitrimmen und stampfen können.

Es wurde daher am Institut für Schiffbau der Universität Hamburg eine Momentenaufnahmegerät gemäß Bild 5 entwickelt, das mit Hilfe tastloser Wegaufnehmer elektrisch den gewünschten Wert ΔM liefert.

Das Gerät besteht aus einer Halterung A, an deren unterem Teil eine Tragkonstruktion für den freibeweglichen Wagen (5), und deren oberer Teil an dem Schleppwagen befestigt ist. Die Tragkonstruktion ist in der vertikalen Ebene frei beweglich (freies Stampfen). An dem Wagen (5), der eingebaut wurde, um eventuelle

Querkräfte, die auf das Modell wirken, auszugleichen, ist eine Blattfeder (3) befestigt. (2) stellt ein feststellbares Gelenk zum Einstellen der gewünschten Krängung dar, während (1) ein in vertikaler Richtung freibewegliches Lager ist, das ein freies Trimmen des Schiffes gewährleistet. (4) sind 2 dicht an die Blattfeder geführte tastlose Wegaufnehmer, die durch Änderung des zwischen ihnen herrschenden Induktionsfeldes die Durchbiegung der Blattfeder messen,

Obige Abbildungen zeigen die Gesamtanordnung des Meßsystems.

Der Meßvorgang ergibt sich wie folgt:

Der Schiffskörper ist in Querrichtung über (1), (2) und (3) an den Wagen (5) starr angeschlossen. Wirkt auf ihn ein Moment, so wird es als Biegemoment über (1) und (2) auf die Blattfeder (3) übertragen, die sich um einen geringen Betrag durchbiegt und das Induktionsfeld der Wegaufnehmer ändert. Diese Stromänderung wird über einen Verstärker auf einer Skala bzw. auf einem Oszillographen sichtbar gemacht. Dem Verstärker ist ein Frequenzabscheider vorgeschaltet, der einstellbar, alle den Meßvorgang störenden Frequenzen abdeckt. Eine Eichung mit bekannten Momenten ergibt dann das gesuchte, sich während der Fahrt einstellende Stabilitätsmoment ΔM .

Versuche:

Durch die veränderte Meßeinrichtung mußte zur Bestimmung des Krängungswinkels ein Winkelmesser an Bord untergebracht werden. Es zeigte sich bei den Untersuchungen, daß das bei den vorher beschriebenen Versuchen benutzte Taylormodell nicht zu verwenden war, da einerseits die benötigten Meßeinrichtungen nicht untergebracht werden konnten, andererseits das Deck so uneben war, daß es nicht als Basis für den Winkelmesser gelten konnte, der auf eine Genauigkeit von $0,1^{\circ}$ konstruiert war. (Lot Abstand Aufhängung - Skala 57,3 cm.) Es wurde daher ein Modell ohne Deck mit folgenden Maßen verwendet:

$$L_{pp} = 2,000 \text{ m}$$

$$B = 0,320 \text{ m}$$

$$H = 0,2000 \text{ m}$$

Um die Strecke \overline{MG} , die durch die Anordnung der Meßeinrichtungen recht groß war, zu verkleinern, wurden hochliegende Ballastgewichte eingebaut. Das Anfangs-MG wurde mit Hilfe von Krängungsversuchen festgestellt, die im Vergleich zur Momentenrechnung die exakteren Werte geben, da die Schwerpunkthöhen der einzelnen Gewichtsgruppen nicht fehlerfrei bestimmt werden können. Die Krängungsversuche wurden mit Hilfe eines Theodolithen durch-

geführt. Dieses Meßverfahren gewährleistet eine hohe Genauigkeit des gesuchten Wertes.

Die Eichung des gesamten Meßsystems wurde mit dem Modell durchgeführt. Durch Verschieben des Wagens mit den Krängungsgewichten am Trimmkreuz werden nacheinander verschiedene Momente aufgebracht, deren Ausschläge auf dem Oszillographen gefilmt werden. Trägt man die Momente über die Ausschläge auf, so erhält man eine lineare Abhängigkeit zwischen Momenten und Ausschlägen. (Bild 6).

Es wurde bis zur Fertigstellung des Berichtes die Änderung des Stabilitätsmomentes ΔM für Fahrten bei einer konstanten Neigung von 5° und verschiedenen Geschwindigkeiten gemessen. Dabei wurde der M_oG_o -Wert und die Verdrängung D konstant gehalten. Das Modell lag auf ebenem Kiel, d.h. der Trimmunterschied $\Delta T = 0$.

Zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Berichtes war es noch nicht möglich, darstellbare Ergebnisse zu gewinnen, da die Momentenwerte durch den Einfluß eines Giermomentes verfälscht wurden. Zur Zeit werden Untersuchungen mit verschiedenen Halterungen angestellt, die diesen Einfluß ausschalten sollen.

Zum Abschluß sei noch ein Ausblick gegeben auf weitere zu untersuchende Möglichkeiten:

- a) $\overline{MG} = \text{const.} = C$; $D = \text{const.} = B$; $\Delta T = 0$;
Fahrt bei konstanten Neigungen und verschiedenen Geschwindigkeiten.
- b) $\overline{MG} = \text{const.} = C$; $D \neq B$, d.h. $B \geq D$; $\Delta T = 0$;
verschiedene Verdrängungen.
- c) $\overline{MG} \neq \text{const.} \leq C$; $D = \text{const.} = B$; $\Delta T = 0$;
verschiedene \overline{MG} -Werte.
- d) $\overline{MG} = \text{const.} = C$; $D = \text{const.} = B$; $\Delta T \leq 0$, d.h. kopf- oder hecklastig; verschiedene Trimmlagen.

Es ist geplant im Rahmen einer weiteren Arbeit diese Fälle zu untersuchen.

Tabelle Nr. 1

Bilder Nr. 4

-E:	1)	67,5	mm
	2)	32,5	"
	3)	46,3	"
	4)	32,5	"
	5)	0	"
	6)	32,5	"
	7)	31,0	"
	8)	63,6	"
		<u>305,9</u>	mm

$$\alpha = 30,15^\circ$$

$$F = \frac{KV}{5,06} = 0,201$$

$$\text{gemittelt: } E = -43,6 \text{ mm}$$

$$\frac{E}{r} = -\frac{43,6}{48} = -0,91$$

$$\underline{\underline{\Delta\psi = -0,36^\circ}}$$

Aufnahmen alle 2 sek.

Bilder Nr. 5

- E:	1)	36,2	mm
	2)	28,8	"
	3)	26,2	"
	4)	42,5	"
	5)	0	"
	6)	60,0	"
	7)	0	"
	8)	46,2	"
	9)	30,0	"
		<u>269,9</u>	mm

$$\alpha = 30,15^\circ$$

$$F = 0,14$$

$$\text{gemittelt: } E = -38,5 \text{ mm}$$

$$\frac{E}{r} = -\frac{38,5}{48} = -0,803$$

$$\underline{\underline{\Delta\psi = -0,32^\circ}}$$

Aufnahmen alle 2 sek.

Bilder Nr. 6

-E:	1)	43,7	mm
	2)	68,7	"
	3)	20,0	"
	4)	52,5	"
	5)	20,0	"
	6)	33,8	"
		<u>245,0</u>	mm

$$\alpha = 30,15^\circ$$

$$F = 0,166$$

$$\text{gemittelt: } \frac{E}{r} = -\frac{40}{48} = -0,834$$

Aufnahmen alle 2 sek.

$$\underline{\underline{\Delta\psi = -0,34^\circ}}$$

$$\underline{\underline{\text{Anfangs } \overline{MG} = 3 \text{ cm}}}}$$

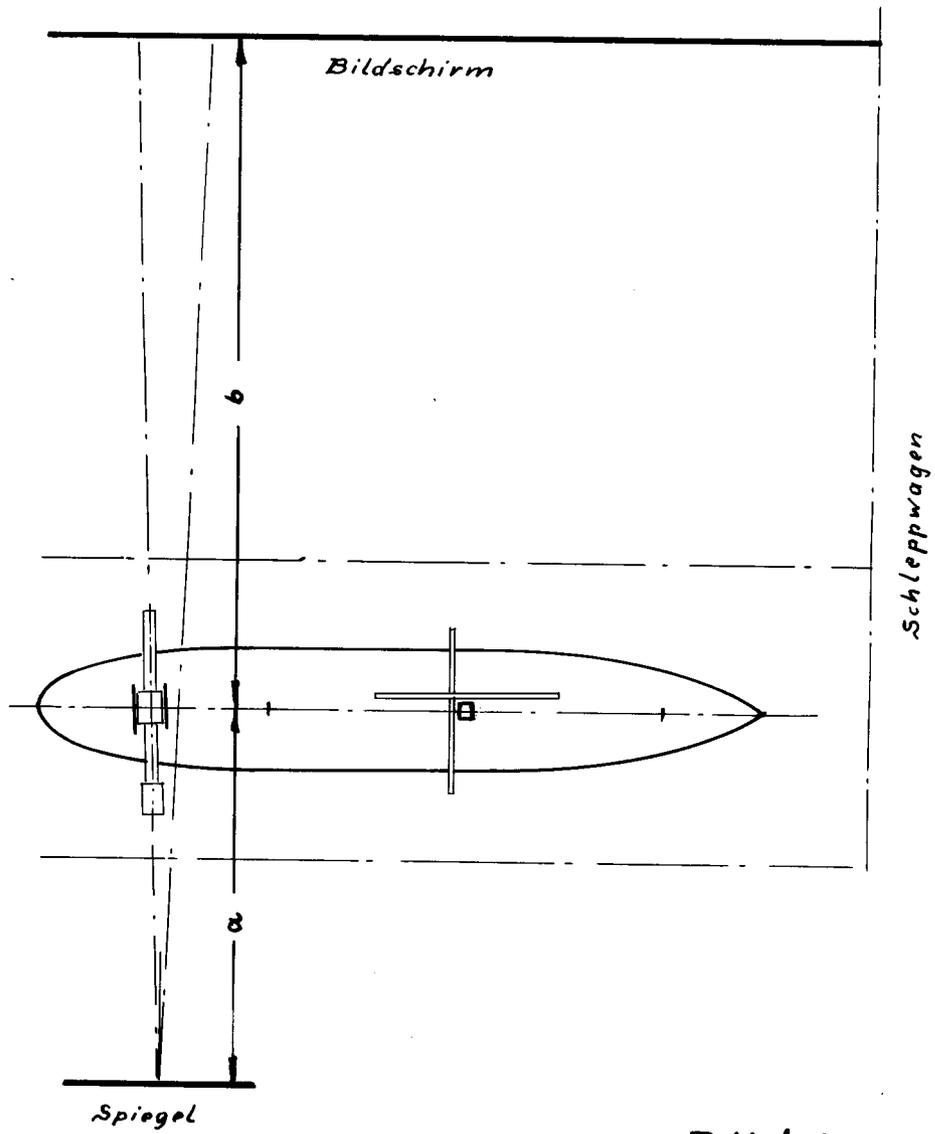
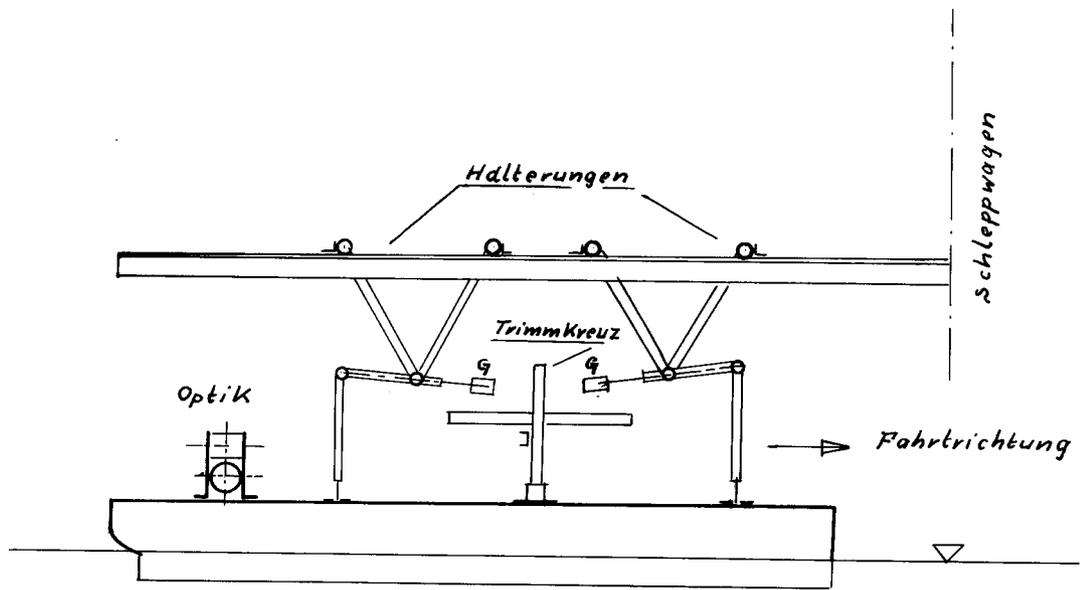


Bild 1

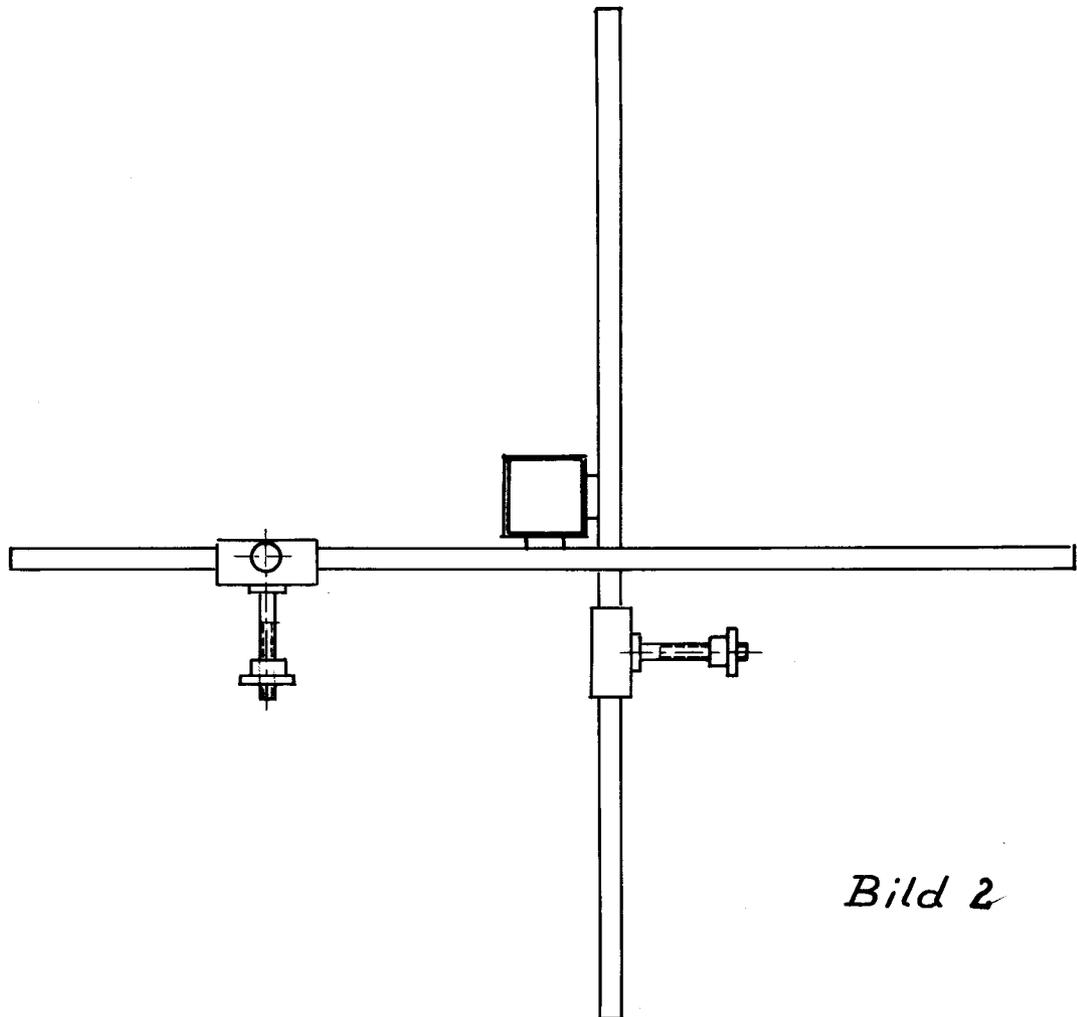
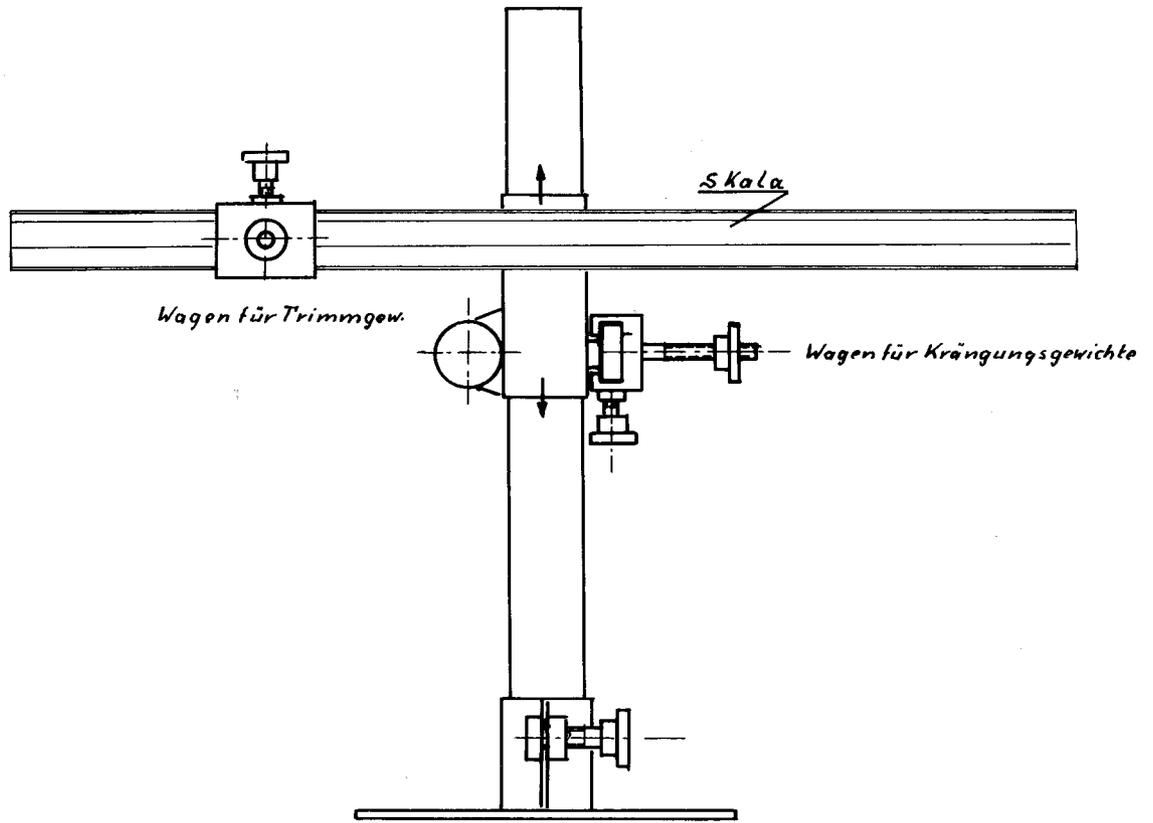
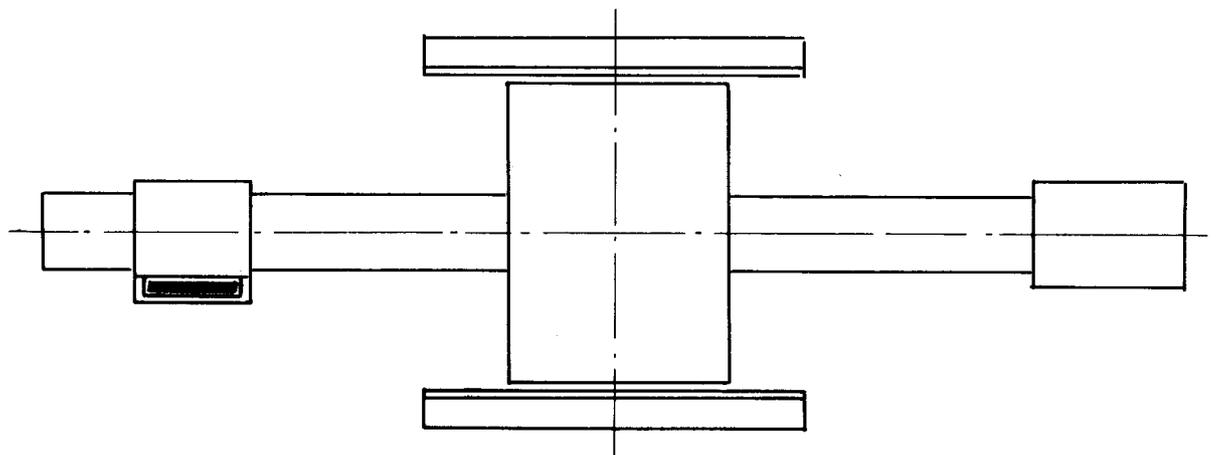
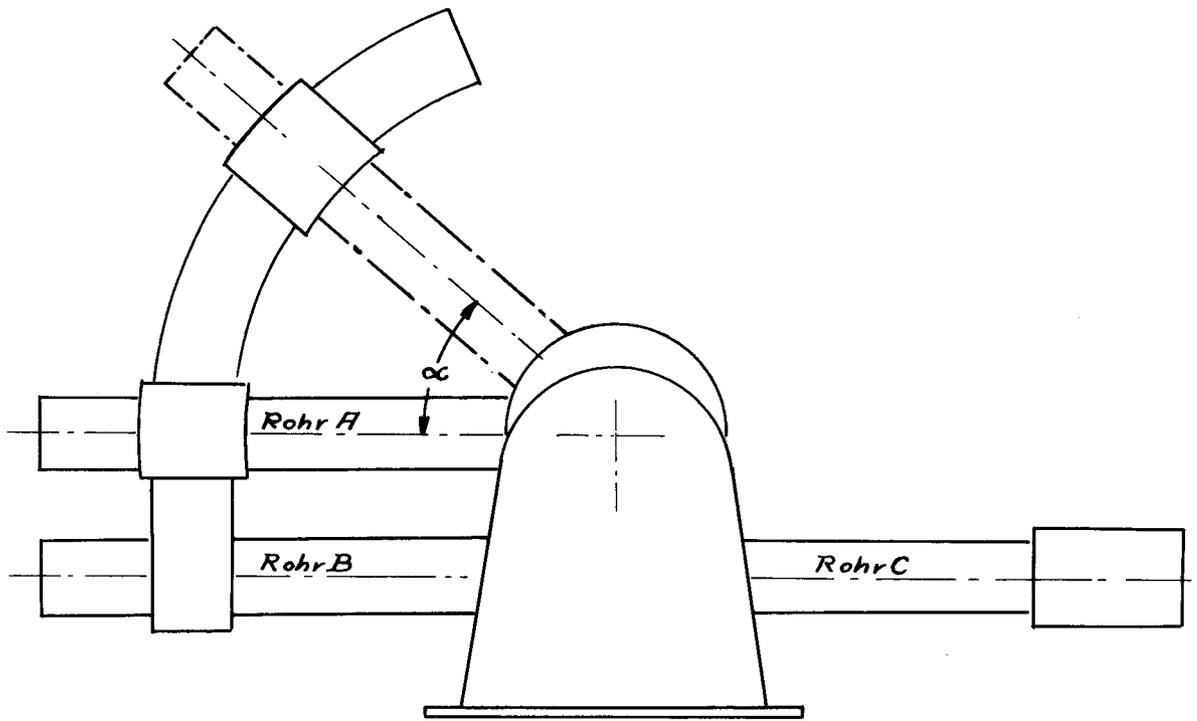


Bild 2

Bild 3



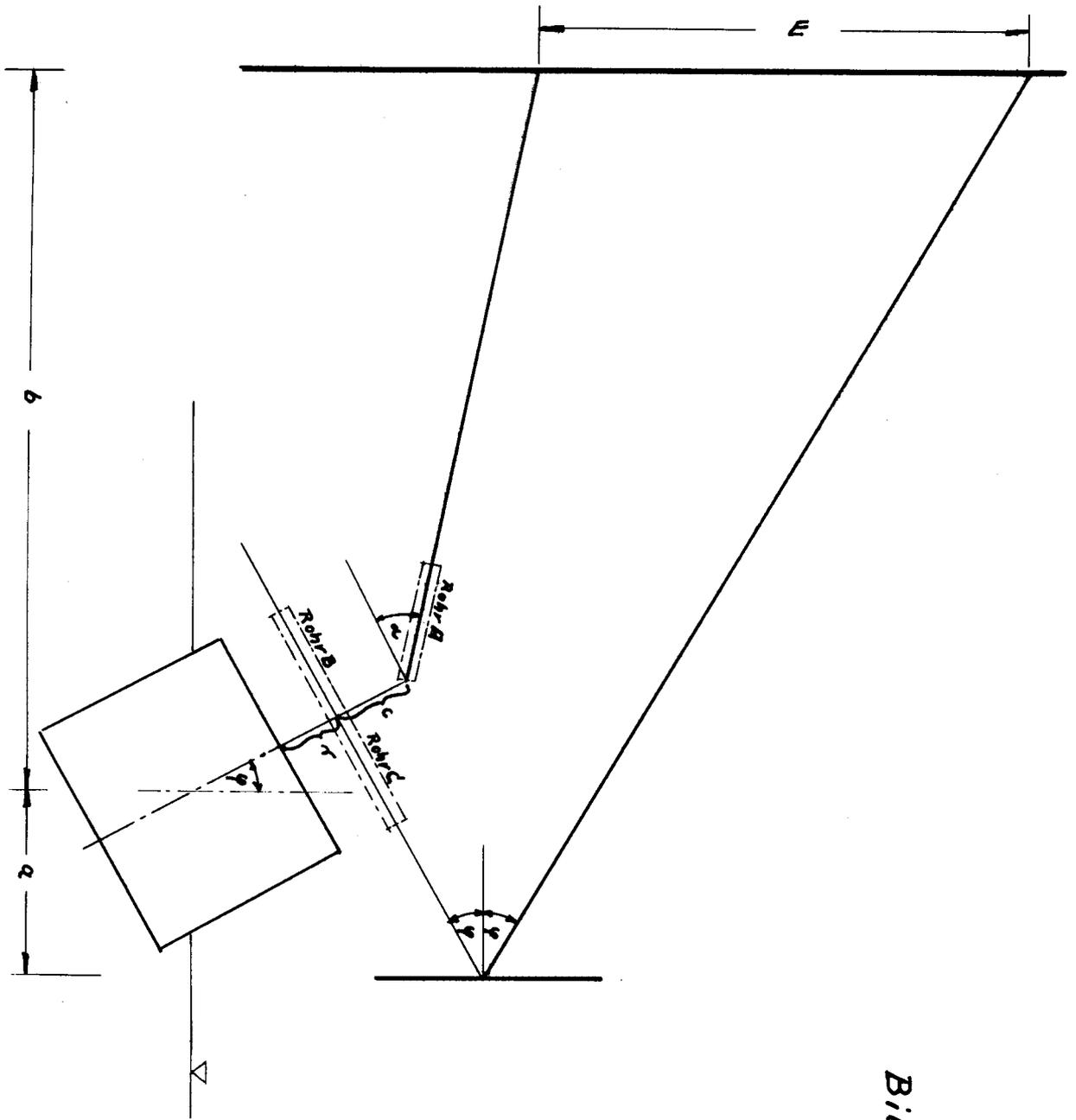


Bild 4

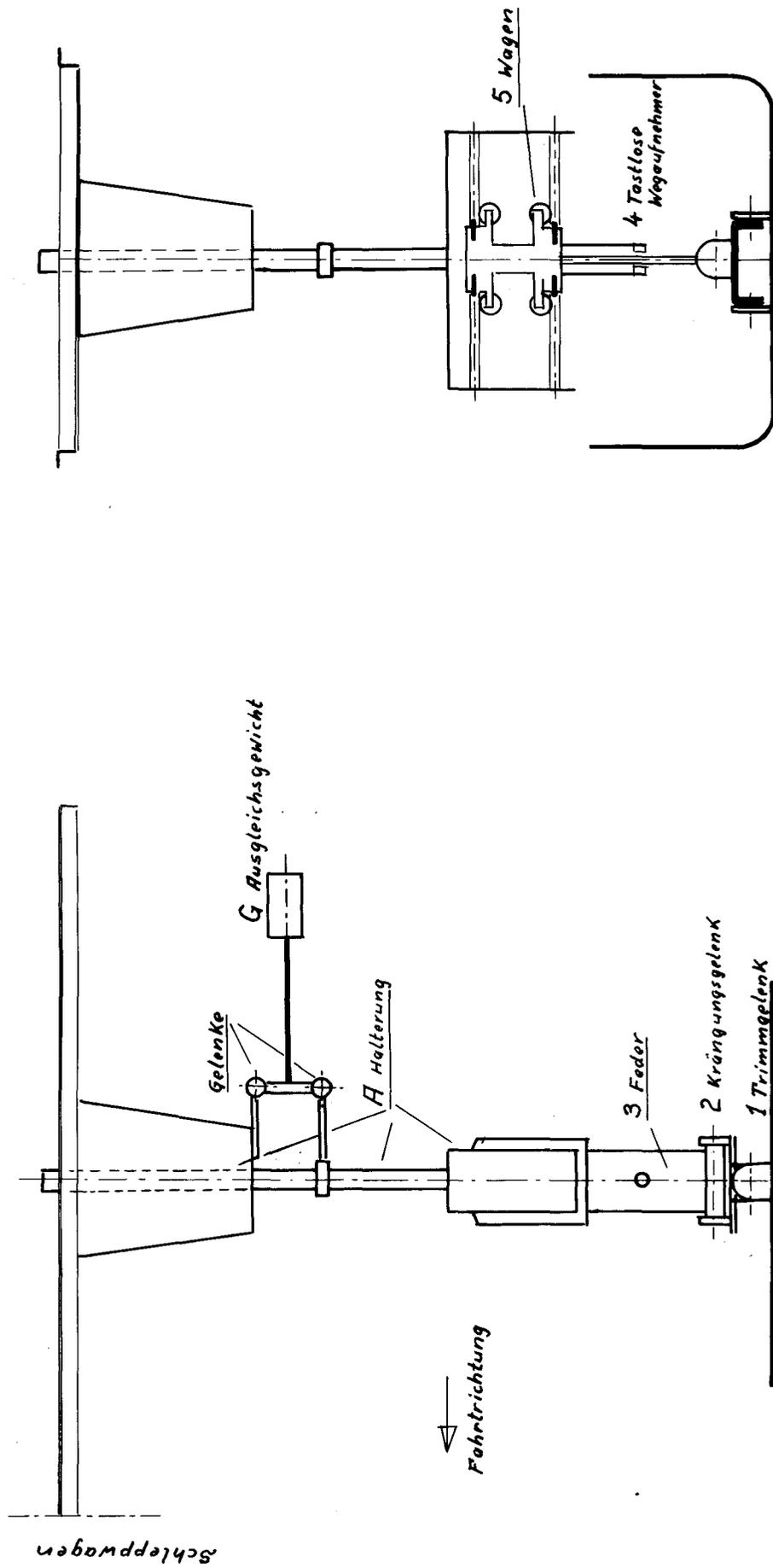


Bild 5

Ausschläge [mm]

Eichkurve des Oszillographen

Ausschläge des Lichtpunktes als Funktion
des aufgebrauchten Momentes.

100 fache Verstärkung der Wegänderung
der Aufnahmefeder.

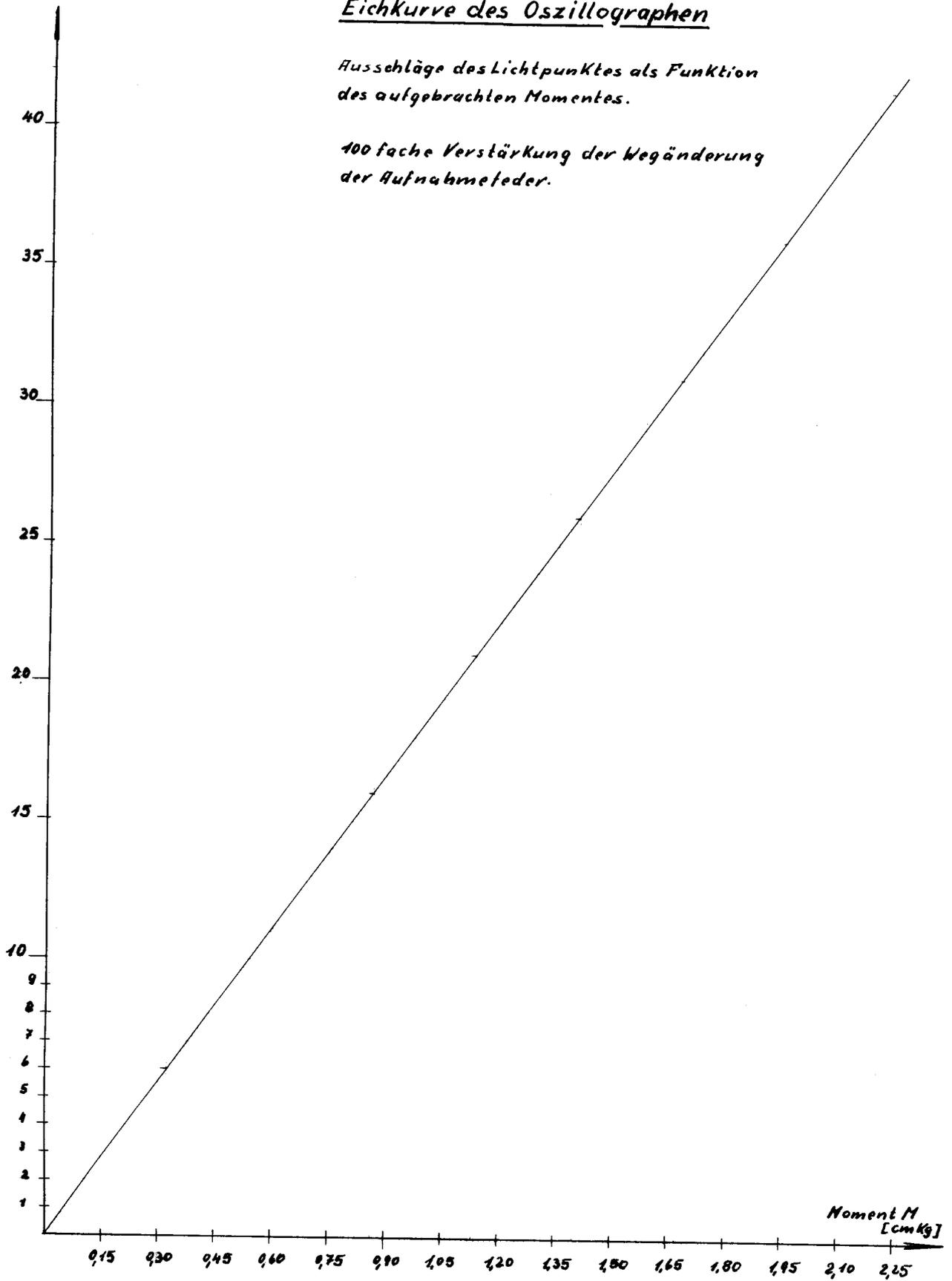


Bild 6