

168 | Juli 1966

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

K. Suhrbier

Versuchsbericht über Ruder- und Manövrieruntersuchungen auf dem Forschungsschiff „Meteor“ im Juli 1964

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 168

Versuchsbericht über Ruder- und Manövrieruntersuchungen

auf dem Forschungsschiff "Meteor" im Juli 1964

von

K. S u h r b i e r

Hamburg, Juli 1966

Versuchsbericht über Ruder- und Manövrieruntersuchungen
auf dem Forschungsschiff "Meteor" im Juli 1964

von

K. S u h r b i e r

Gliederung

- AA. Allgemeines
- B. Daten des Schiffes
- C. Versuchsumfang und -bedingungen
- D. Versuchstechnik
- E. Zu den Messungen und Meßergebnissen
- F. Anhang (Abbildungen, Diagramme)
- G. Symbole

A. Allgemeines

In der Zeit vom 9.7. bis 13.7.1964 wurden in der Eckernförder Bucht (Ostsee) im Rahmen einer für verschiedene schiffbauliche und schiffsmaschinenbauliche Untersuchungen geplanten und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützten Meßreise u.a. Ruder- und Manövrierversuche an Bord des Forschungsschiffes "Meteor" vom IfS durchgeführt.

Der vorliegende Bericht enthält im wesentlichen nur die Versuchsergebnisse und einige mehr für den praktischen Gebrauch bestimmte Zusammenstellungen. Über weitergehende Auswertungen und Vergleiche mit entsprechenden Modellversuchen wurde an anderer Stelle bereits berichtet [1].

Für die Messungen wurde eine an Bord des Forschungsschiffes installierte 6-Komponenten-Rudermeßeinrichtung verwendet. Die Ruderkräfte konnten während der Schiffsmanöver gleichzeitig mit den übrigen Bewegungsgrößen gemessen werden. Mit Hilfe einer Decca-Ortungsanlage

und durch Doppelwinkelmessungen, ausgeführt vom Deutschen Hydrographischen Institut (DHI), war außerdem die Bestimmung der Bahn des Schiffes möglich.

B. Daten des Schiffes *)

Länge über alles	L_{OA}	=	82,10 m)*
Länge zw. d. Loten	L_{pp}	=	72,80 m
Länge in der WL	L_{WL}	=	77,50 m
Breite auf Spant	B	=	13,50 m
Tiefgang	T	=	5,00 m
Verdrängung	∇	≈	2830 m ³
max. Leistung	$P_{e \max}$	=	2000 PS
max. Drehzahl	$n_{\max}$	=	190 U/min
Lateralfläche üb. WL	$A_{LüW}$	=	670 m ²
Schwerpunkt von $A_{LüW}$	$\odot_{AüW}$	=	0,55 L_{pp} vor HL
Lateralfläche unter WL	A_L	=	345,67 m ²
Schwerpunkt von A_L	$\odot_A$	=	0,492 L_{pp} vor HL
Gewichtsschwerpunkt, der Länge nach	$\odot_G$	=	0,489 L_{pp} vor HL
Gewichtsschwerpunkt, der Höhe nach	$\overline{KG}$	≈	(5,70 m)
metazentrische Höhe	$\overline{MG}$	≈	(0,90 m)

Ruder

- Typ	Spatenruder m. Aktivruder (350 PS)
-PProfil	NACA 0023
- Ruderfläche insgesamt	$A_R = 9,33 \text{ m}^2$
- Rudermaschine	14-mt-Drehflügelanlage der AEG
- zusätzliche Manövrierereinrichtungen	2 Bugstrahlruder (je 250 PS)

*) Die Symbole (vgl. Abschnitt G.) entsprechen nicht vollständig dem Standard (ITTC).

Propeller

- Bauart	Ostermann
- Durchmesser	$D_p = 2,90 \text{ m}$
- Steigerungsverhältnis	$P_{0,7}/D_p = 1,01 \text{ m}$
- Flächenverhältnis	$A_p/A_0 = 0,70$
- Flügelzahl	$z = 5$
- Drehsinn	rechts
- mit Eisverstärkung	

Die angegebenen Daten beziehen sich, soweit sie vom Tiefgang abhängig sind, auf $T = 5,00 \text{ m}$ (gleichlastig), entsprechend dem Zustand während der Versuche. Darstellungen von Schiff und Ruder enthalten Bild 1 und 2.

C. Versuchsumfang und -bedingungen

Es wurden folgende Versuche gefahren:

- a. Drehkreis-Versuche
mit Ruderwinkeln ca. 15° , 20° , 35° BB. und StB.,
 $v_0 \approx 4 \text{ kn}$ und 10 kn (Bild 7 - 14);
- b. Spiraltests
mit Ruderwinkeln ca. $\pm 15^\circ \dots \mp 15^\circ$,
 $v \approx 8 \dots 10 \text{ kn}$ (Bild 14);
- c. Dreh-Stütz-Versuche
mit Ruderwinkeln ca. 10° , 20° , 35° BB. und StB.,
 $v_0 \approx 12 \text{ kn}$ (Bild 15 - 18);
- d. Manöver mit Aktiv- und Bugstrahlruder,
 $v_0 \approx 5 \text{ kn}$ (Bild 19 - 21).

Die Drehkreis-, die Dreh-Stütz-Versuche und die Spiraltests konnten trotz der Behinderung durch Wind (Bft. 4-6) in etwa im vorgesehenen Umfang durchgeführt werden. Die Manöver mit Aktiv- und Bugstrahlruder stellen nur Einzelmessungen dar, die aus Zeitgründen nicht erweitert werden konnten.

Ort: Eckernförder Bucht, bzw. Eckernförder Meile
Wassertiefe: 25 - 28 m
Wind: Bft. 4 - 6
Seegang: 1 - 2

D. Versuchstechnik

Folgende Meßgrößen wurden in fast allen Fällen gleichzeitig gemessen:

Ruderkräfte $Y_1, Y_2, X_1, V_1, V_2, V_3$

Geschwindigkeit v , (nach Bodenlog und Stevenlog)

Ruderwinkel δ_R

Propellerschub T

Propellerdrehzahl n

~~Ruder~~winkel ψ

Drehgeschwindigkeit $\dot{\psi}$

Driftwinkel im Schiffsschwerpunkt β_0

Krängungswinkel φ

Zeit t

Dazu wurden u.a. folgende Meßeinrichtungen benutzt:

1. 6-Komponenten-Rudermeßeinrichtung

Die Konstruktion ist in Bild 2 dargestellt. Als Meßglieder dienen elektrische Kraftmeßdosen (FAG Frischen), die für eine Nennlast von 100 t ausgelegt sind - mit Ausnahme der Dose für Y_2 , für die ein Bereich bis 50 t gewählt war. Weitere Einzelheiten über die Anlage enthält [1].

Die 6 Meßdosen wurden mit 6 Trägerfrequenzmeßverstärkern (Hottinger KWS II/5; 5 kHz) gespeist, die Meßsignale mit Tiefpässen (Grenzfrequenz 4 bzw. 5 Hz) gefiltert und oszilogographiert. Die Anordnung wurde an Bord durch Abdrücken der Meßglieder geeicht und durch Kontrollversuche im Dock überprüft.

Die Definition der Kräfte ist aus Bild 4 und 5 ersichtlich. Ohne Berücksichtigung der Massenkräfte gilt danach:

Längskraft am Ruder	$X = X_1$
Seitenkraft am Ruder	$Y = Y_1 + Y_2$
Vertikalkraft am Ruder	$V = V_1 + V_2 + V_3$
Ruderschaftmoment	$M_R = Y_2(f-f_1)$, wobei $(f-f_1) = 1,8 \text{ m}$
Resultierende in der x-y-Ebene	$R = \sqrt{X^2 + Y^2}$
Schaftbiegemoment	$M_h = R \cdot h$, $h = \frac{(V_1 f - V f_1) \sin \delta_R + (V_2 - V_3) \frac{d}{2} \cos \delta_R}{Y \cos \delta_R + X \sin \delta_R}$

Der Einfluß der Massenkräfte (Krängung) auf die ~~Seitenkraft~~ ^{Masse} für die Auswertung berücksichtigt werden, da bei Schräglagen das Gewicht der gesamten Ruderanlage in die Messung mit eingeht. Aus Untersuchungen bei gekrängtem Schiff (mit und ohne Verkehrsboot) konnte folgende Korrektur für die Meßgröße Y_1 ermittelt werden:

$$\Delta Y_1 = 0,33 \cdot \varphi^0 \text{ [t]}$$

so daß

$$Y_1 = Y_{1\text{gem.}} - \Delta Y_1.$$

2. Bodenlog

Das Bodenlog zeigt Bild 6. Es wurde eigens für diese Versuche zusammengebaut und aus dem Hydrographenschacht (Bauspt. 55/56, 1,5 m aus MS. auf StB.-Seite) ausgefahren. Die Messung der Bahngeschwindigkeit v erfolgte mit Hilfe eines drehbar angeordneten elektrischen Prandtlrohres (Fa. Kempf und Remmers).

Ein mit dem drehbaren Teil des Logs verbundenes Potentiometer lieferte ein dem Driftwinkel proportionales Meßsignal. Für die von der eigentlichen Schiffsschwerpunktlage abweichende Anordnung wurde eine geringfügige Driftwinkel-Korrektur eingeführt.

Zur Kontrolle für die Geschwindigkeitsmessung diente das fest eingebaute Stevenlog (Fa. Hoppe), womit natürlich nur bei Geradeschiffahrt vergleichbare Werte ermittelt werden konnten.

3. Ruderlagengeber

Zur Messung des Ruderwinkels δ_R wurde oben an der Rudermaschine ein Potentiometer angeordnet, das die Stellung des Ruderschaftes angab. Die bei der Dockung festgestellte geringfügige Differenz in der Rudernull wurde bei der Auswertung berücksichtigt.

4. Schubmeßgerät

Zur Messung des Propellerschubes T wurde ein an Bord befindliches über 3 Druckdosen arbeitendes Schubmeßgerät der Fa. Philips verwendet, dessen Genauigkeit mit $< 1\%$ angegeben wird. Der Propellerschub wurde mit der eingebauten Eicheinrichtung geeicht und mit Schubmessungen (mit DMS) der VWS Berlin verglichen.

Die Anlage lieferte außerdem die Propellerdrehzahl in analoger (und digitaler) Form.

5. Kurskreisel

Für die Messung des Kurswinkels ψ wurde außer der während der Drehkreismessungen photographisch festgehaltenen Tochterkompaßanzeige in allen Fällen auch die Meßspannung eines von einem 400 Hz-Sperry-Kreisel gesteuerten Potentiometers oszillographiert.

6. Drehgeschwindigkeitsgeber

Zur direkten Bestimmung der Drehgeschwindigkeit $\dot{\psi}$ wurde ein Drehgeschwindigkeitsgeber (Kreiselgerät der Fa. Novotechnik) verwendet.

7. Horizontkreisels

Die Messung des Krängungswinkels φ erfolgte mit Hilfe eines Horizontkreisels (Kreiselgerät der Fa. Novotechnik).

Von allen Geräten wurden die elektrischen Meßsignale meist abgeschirmt zum Labor 6 übertragen und dort mit Hilfe eines Schleifenoszillographen (Honeywell-Visicorder) registriert. Für die Drehkreisversuche wurden die photographierten Anzeigen eines Decca-Navigators (Mark 12) und eines Tochterkreisels benutzt. Zusätzlich wurden gleichzeitig terrestrische Peilungen (Doppelwinkelmessungen mit Sextanten; 2 x 2 Mann) von Mitarbeitern des DHI durchgeführt. Die Zeitpunkte der Decca-Messungen und der Peilungen wurden mit Hilfe elektrischer Signale auf dem Oszillogramm festgehalten. **Weitere meßtechnische Einzelheiten werden in einem besonderen Bericht besprochen [2].**

E. Zu den Messungen und Meßergebnissen

a. Drehkreis-Versuche

Die Drehkreismanöver wurden nach Einregelung der Propellerdrehzahl und einigen Minuten Geradeausfahrt ~~bis~~ ~~achterlichem~~ Wind durchgeführt. Dabei drehte der Aktivrunderpropeller leer mit, die Bugstrahlrunder wurden nicht betätigt. Die Meßergebnisse sind in den Bildern 7 und 13 dargestellt. Zu den Drehkreisen der Bilder 7 und 8 gehören die gleichzeitig ermittelten Ruderkräfte und übrigen Meßgrößen der Bilder 10 und 11. Eine Zusammenstellung der gemessenen stationären und taktischen Drehkreisdurchmesser¹⁾ ~~sonitiedern~~ ~~Durchmesser~~ über Heck (größter Platzbedarf beim Wenden) enthält Bild 12. Nur bei der Bestimmung der stationären Drehkreisdurchmesser konnte der Windeinfluß annähernd eliminiert werden.

Für die Hartruderlage (33^0) wurden folgende minimale Drehkreisdurchmesser ermittelt:

stationärer Drehkreisdurchmesser des Schiffsschwerpunktes	$D_c \approx 2,5 \cdot L_{WL} \approx 200 \text{ m}$
taktischer Drehkreisdurchmesser ²⁾	$Y_{180} \approx 3 \cdot L_{WL} \approx 230 \text{ m}$
Drehkreisdurchmesser über Heck ²⁾	$Y_{APmax} \approx 3,5 \cdot L_{WL} \approx 270 \text{ m}$

Der relative Geschwindigkeitsabfall v/v_0 und der Krängungswinkel ω im Drehkreis sind in Bild 13 dargestellt, zusätzlich sind in Bild b die zu Beginn der Drehbewegung aufgetretenen maximalen Krängungswinkel eingetragen. Diese sind wesentlich größer als die im stationären Drehkreis festgestellten Werte. Eine Abschätzung der Winkel ω (s.a. Graff [3]) für die stationäre Drehbewegung ergibt:

$$\omega \approx \frac{\overline{KG} - \frac{T}{2}}{\overline{MG}} \cdot \frac{v^2}{g \cdot D_c / 2} \cdot 57,3 \text{ .}$$

Die Genauigkeit der hiernach bestimmten rechnerischen Kurve in Bild 13b ist wegen der nicht sehr sicheren $\overline{MG}$ - und $\overline{KG}$ -Werte etwas beeinträchtigt.

-
- 1) der taktische Durchmesser ist der senkrechte Abstand des Ausgangskurses bis zum Schiffsschwerpunkt nach 180^0 Drehung.
 - 2) ohne Korrektur für Windeinfluß.

Ein Vergleich der durch Decca-Ortung und terrestrische Peilung mit Sextanten ermittelten Drehkreise zeigt sehr gute Übereinstimmung beider Verfahren (Bild 9). (Offenbar wegen eines Einstellfehlers einer Decca-Uhr blieb der Vergleich der geographischen Werte etwas unsicher. Er wurde deshalb nicht dargestellt.)

b. Spiraltests

Die Ergebnisse der mit kleinen Ruderwinkeln durchgeführten Spiralversuche nach Dieudonné wurden zusammen mit denen der Drehkreismanöver als dimensionslose Winkelgeschwindigkeit oder Drehung

$$\frac{L}{R} = \frac{\omega_z \cdot L_{WL}}{v}$$

über dem Ruderwinkel δ_R dargestellt. Außerdem ist β_0 , der Driftwinkel im Schiffsschwerpunkt, aufgetragen. Der Windeinfluß konnte weitgehend eliminiert werden. Der Kurvenverlauf zeigt deutlich die Kursinstabilität des Schiffes. (Weitere Ausführungen hierzu siehe in [1].)

c. Dreh-Stütz-Versuche

Nach Anfahrt mit oder gegen Wind wurde Ruder gelegt und nach 20° Kursänderung wieder gestützt. Diese Versuche dienten vor allem der Bestimmung der Ruderkräfte und -momente; sie können jedoch auch zur Beurteilung der Steuereigenschaften herangezogen werden - in ähnlicher Weise wie die sogenannten Z.-Manöver nach Kempf. Wegen des relativ starken und böigen Windes wurde das Untersuchungsprogramm gegenüber der ursprünglichen Planung erweitert, um trotzdem genügend sichere Meßergebnisse zu erhalten. Es ergab sich später bei den weitergehenden Auswertungen [1], daß die Profilbeiwerte der verschiedenen Messungen gute Übereinstimmung zeigen, wenn bei der Berechnung der Anströmgeschwindigkeit auch der Einfluß des sich infolge Windeinfluß ändernden Schubbelastungsgrades berücksichtigt wird. Die Auswertungen besagen weiter, daß nach Bestimmung des effektiven Ruderanströmwinkels auch die beim Stützen ermittelten Beanspruchungen nach Umrechnung auf die Beiwerte sich in das übrige Bild einfügen. Die Meßergebnisse der Dreh-Stütz-Versuche sind in

den Bildern 15 bis 18 dargestellt. Bild 17 enthält die maximalen Ruderkräfte und -momente. In folgender Tabelle sind außerdem die bei $v_0 \approx 12$ kn gemessenen und die für $v_0 \approx 14$ kn (Konstruktionsannahme) umgerechneten maximalen Ruderkräfte und -momente sowie der Ruderwiderstand bei Nullruderlage (s.a. [1]) zusammengestellt:

Komponente		$v_0 \approx 12$ kn (gemessen)	$v_0 \approx 14$ kn (umgerechnet)
Ruderschaftmoment M_R	BB.	6 mt	8 mt
	StB.	7,5 mt	10 mt
Resultierende R	BB.	26,5 mt	36 t
	StB.	23,5 t	32 t
Ruderwiderstand D bei 0°		2,4 t	3,3 tt

Die mit der Schiffslängenfahrzeit dimensionslos gemachten Anschwenkzeiten und Überschwingwinkel enthält Bild 18.

Für $v \approx 12$ kn und für das $20^\circ/20^\circ$ - Z-Manöver gilt danach:

$$\begin{aligned} \text{Anschwenkzeit für } 20^\circ & t_A \approx 20 \text{ sec} \\ \text{Überschwingwinkel} & \approx 26^\circ_{\text{BB.}/20^\circ_{\text{StB.}}} \end{aligned}$$

Die Werte bedeuten gute Drehfähigkeit, aber schlechte Stützeigenschaften [4].

d. Manöver mit Aktiv- und Bugstrahlruder

Aus der Geradeausfahrt gegen Wind mit ca. 5 kn wurden einige Drehversuche mit Aktiv- und Bugstrahlruder (Bild 19 bis 21) durchgeführt. Wie schon erwähnt, sind diese Versuche nur als Einzelmessungen zu werten. Wegen der ungünstigen Wetterverhältnisse können keine genauen Angaben über das Drehverhalten gemacht werden. Stationäre Zustände wurden nicht erreicht.

Nach Decca-Messungen lassen sich einige Werte über den ~~takt~~tischen Durchmesser und den Platzbedarf beim Wenden angeben:

Steuerorgan	v_o kn	δ_R	n_p	Wind (Bft)	takt. Durchmes	Platzbedarf b. Wenden
AR (Stufe 10)	4,5	38°BB	0	5/6	2,3 _{WL}	3,1 _{WL}
- " -	4,6	36°StB	Ø	5	1,6 _{WL}	2,7 _{WL}

AR (Stufe 10) und BSR I u. II (St.8)	5,0	35°StB	0	5	2,2 _{WL}	2,9 _{WL}
- " -	5,1	39°StB	0	5	1,4 _{WL}	2,2 _{WL}

Aus der Drehzahl (AR: ca. 580 min^{-1}) bzw. der Leistungsaufnahme (2 BSR: ca. 250 kW) der Aggregate kann mit Benutzung von Trossenzugsmessungen (Abnahmeuntersuchung Febr. 64) annähernd auf die Standschubwerte geschlossen werden:

Standschub des AR	$T_{AR} \approx 4,2 \text{ t}$
Standschub der BSR I u. II	$T_{BSR} \approx 2,5 \text{ t.}$

Literatur

- [1] Suhrbier, K.
Ruderkraftmessungen und Manövrierversuche auf dem
Forschungsschiff "Meteor", Jb. STG., 1965.

- [2] Thiemann, H.
Versuchseinrichtungen auf dem Forschungsschiff "Meteor",
IfS-Bericht (in Vorbereitung).

- [3] Sturtzel, W., Graff, W. und Nussbaum, W.
Grundsätzliche Untersuchungen über die Stabilität von
Schiffen im Drehkreis.
Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen,
Nr. 1001, 1962.

- [4] Gertler, M. und Gover, S.C.
Handling Quality Criteria for Surface Ships,
DfMB-Kgl. 1461, 1960.

F. Anhang (Bilder)

Bild	1a	Forschungsschiff "Meteor"
	1b	Spantenriß
	2	Rudermeßanlage
	3	Ruder nach Versuch (Juli 1964)
	4	Kräfte an der Rudermeßeinrichtung
	5	Kräfte und Winkel am Ruder
	6	Bodenlog mit Driftwinkelanzeiger
	7	Drehkreise nach Decca-Messung, $V_0 \approx 10$ kn
	8	Drehkreise nach Decca-Messung, $V_0 \approx 4$ kn
	9	Vergleich der Drehkreise nach Decca-Ortung und Doppelwinkel-Messung
	10a	Drehkreisversuche Backbord, $V_0 \approx 10$ kn
	10b	Drehkreisversuche Steuerbord, $V_0 \approx 10$ kn
	11a	Drehkreisversuche Backbord, $V_0 \approx 4$ kn
	11b	Drehkreisversuche Steuerbord, $V_0 \approx 4$ kn
	12	Drehkreisdurchmesser (Zusammenstellung)
	13	Geschwindigkeitsabfall und Krängungswinkel im Drehkreis
	14	Spiraltest und Drehkreisversuche
	15a	Dreh-Stütz-Versuche BB/StB, Anfahrt mit Wind
	15b	Dreh-Stütz-Versuche BB/StB, Anfahrt gegen Wind
	16a	Dreh-Stütz-Versuche StB/BB, Anfahrt mit Wind
	16b	Dreh-Stütz-Versuche StB/BB, Anfahrt gegen Wind
	17	Maximale Ruderkräfte und -momente, gemessen bei Dreh-Stütz-Versuchen
	18	Anschwenkzeiten und Überschwingwinkel
	19a	Drehen mit Aktivruder nach BB
	19b	Drehen mit Aktivruder nach StB
	20a	Drehen mit Aktivruder und Bugstrahlruder I und II nach BB
	20b	Drehen mit Aktivruder und Bugstrahlruder I und II nach StB
	21	Drehen mit Bugstrahlruder I und II nach BB

G. Symbole

Soweit in dem vorliegenden Bericht (156) von dem Standard-Bau abgewichen ist, sind diese genannt worden.

Bezeichnung	Standard	abweichend in abweichend bei dem Bericht Nr.	
		168	156
Länge über alles	L_{OA}		$L_{üa}$
Länge zwischen den Loten	L_{PP}		L_{PP}
Länge in der WL	L_{WL}		
Breite auf Spant	B		
Tiefgang	T		T_g
maximaler Tiefgang	T_{max}		$T_{g_{max}}$
Verdrängung auf Spt. (T=5m)	∇, ∇	∇	∇
maximale Verdrängung auf Spt.	∇_{max}		
Leistung	P_{Emax}	P_{max}	$P_{e\ max}$
Drehzahl	n		
maximale Drehzahl	n_{max}		
Völligkeitsgrad der Verdrängung	ϵ_B, δ		δ, C_B
Prismatischer Koeffizient (= Längen-Schärfegrad)	ϕ_P, ϕ		ϕ, C_P
Lateralfläche unter der WL	A_L		
Lateralfläche über der WL	A_{LA}		$A_{LüW}$
Schwerpunkt der Lateralfläche unter WL	CL		$\odot_A$
über WL	CLA		$\odot_{AüW}$
Gewichtsschwerpunkt	CG		$\odot_G$
Abstand vom Schwerpunkt bis Propeller/Ruder	x_{RG}		l
Ruderfläche insgesamt	A_R		$A_R\ Ges.$
Bezugsruderfläche	A'_R		A'
Ruderhöhe	H_R		
Seitenverhältnis des Ruders	Λ_R		Λ
Druckpunktlage, bezogen auf V.K. der Bezugsruderlänge			e
Bezugsruderlänge	L_R		
Propellerdurchmesser	D	D_P	D_P
Steigungsverhältnis des Propellers	$P_{0,7/D_P}$	$P_{0,7/D_P}$	$P_{0,7/D_P}$
Flächenverhältnis des Propellers	A_D/A_0		
Flügelzahl	Z		z

	Standard	abweichend in. den Berichten Nr. 168	abweichend bei Nr. 156
Schiffslängsachse (nach vorn)	x		
(nach hinten)		x	
Schiffsquerachse (nach StB)	y		
Schiffshochachse (nach unten)	z		
(nach oben)		z	
Ruderkraft in Schiffslängsrichtung (positiv nach vorn)	X_R		
(positiv nach hinten)		X	
Ruderkraft in Schiffsquerrichtung (positiv nach StB)	Y_R		
		Y	
Ruderkraft in Richtung der Schiffs- hochachse (positiv nach "unten")	Z_R		
(positiv nach "oben")		V	
Rudertangentialkraft	X_{RR}		X_R
Rudernormalkraft	Y_{RR}		Y_R
Ruderquerkraft	C		
Ruderwiderstand	D		
Resultierende Kraft in der x-y- Ebene	F_{xy}	R	
Gesamtresultierende	F_{xyz}		$R_{Ges.}$
Schiffswiderstand ohne Ruder			R_o
Ruderschaftsmoment (positiver Vektor nach unten)	Q_R		
(positiver Vektor nach oben)		M_R	
Schaftbiegemoment		M_h	
Beiwert der Ruderquerkraft	C_C		C_{CP}
" des Ruderwiderstandes	C_D		C_{DP}
" der Ruderseitenkraft	C_Y		C_{YP}
" der Ruderlängskraft	C_X		C_{XP}
" des Ruderschaftsmomentes	C_Q		C_{MP}
Profilgleitzahl			ϵ
Bahngeschwindigkeit des Schiffs- schwerpunktes	V	v	v
ideale Geschwindigkeit am Heck bei Drehung	V_{AP}		v_H
dto, Komponente in x-Richtung	u_{AP}		v_x
dto, Komponente in y-Richtung	v_{AP}		$\bar{v}_y$
Ruderanströmgeschwindigkeit	V_R		$\bar{v}_R$
Anlaufgeschwindigkeit	V_o	v_o	v_o

Propellerstrahlgeschwindigkeit für den im Prop.strahl befindlichen Ruderflächenanteil			v_1
Eintrittsgeschwindigkeit in den Propellerkreis	V_A		v_P
Zusatzgeschwindigkeit im Propellerstrahl	U_A		Δv
Anströmgeschwindigkeit für den außerhalb des Prop.strahls liegenden Ruderflächenanteil			v_2
Kurswinkel	ψ		
Ruderwinkel	δ_R		
Krängungswinkel	φ		
Überschwingwinkel	ψ_{OS}	ψ	
Driftwinkel im Schwerpunkt	β	β_0	
geometrischer Driftwinkel am Heck	β_A		β
reduzierter Driftwinkel vor dem Propeller			β_P
reduzierter Driftwinkel vor dem Ruder		β_R	
Einflußkoeffizient des Rumpfes			k_0
Einflußkoeffizient des Propellers			k_p
Koeffizient für Rumpf u. Propeller			k
Drehgeschwindigkeit (= Winkelgeschwindigkeit)	ω_z	ω, ψ	
Propellerschub	T		
Schubbelastungsgrad des Propellers	C_T		
Koeffizient des Propellerdrehmomentes	K_Q		
Koeffizient des Propellerschubes	K_T		
Sogziffer	t		
effektive Nachstromziffer im Schraubenbereich			w_1
Nachströmziffer für die oberhalb des Prop.strahls liegende Ruderfläche			w_2
stationärer Drehkreisdurchmesser des Schiffsschwerpunktes		D_c	D_c
stationärer Drehkreisradius des Schiffsschwerpunktes	R	R_c	R_c

	Standard	abweichend in abweichend bei den Berichten Nr.	
		168	156
taktischer Drehkreisdurchmesser	Y_{180}		D_t
Drehkreisdurchmesser über Heck	Y_{APmax}		D_H
Anschwenkzeit beim Z-Manöver	t_A		
Vorderes Lot	FP		V.L.
Hinteres Lot	AP		H.L.
Froudesche Zahl	F_n	F_N	
Reynoldszahl	R_n	R_{NR}	
Metazentrische Höhe	$\overline{GM}$	$\overline{MG}$	
Modellmaßstab	λ		α

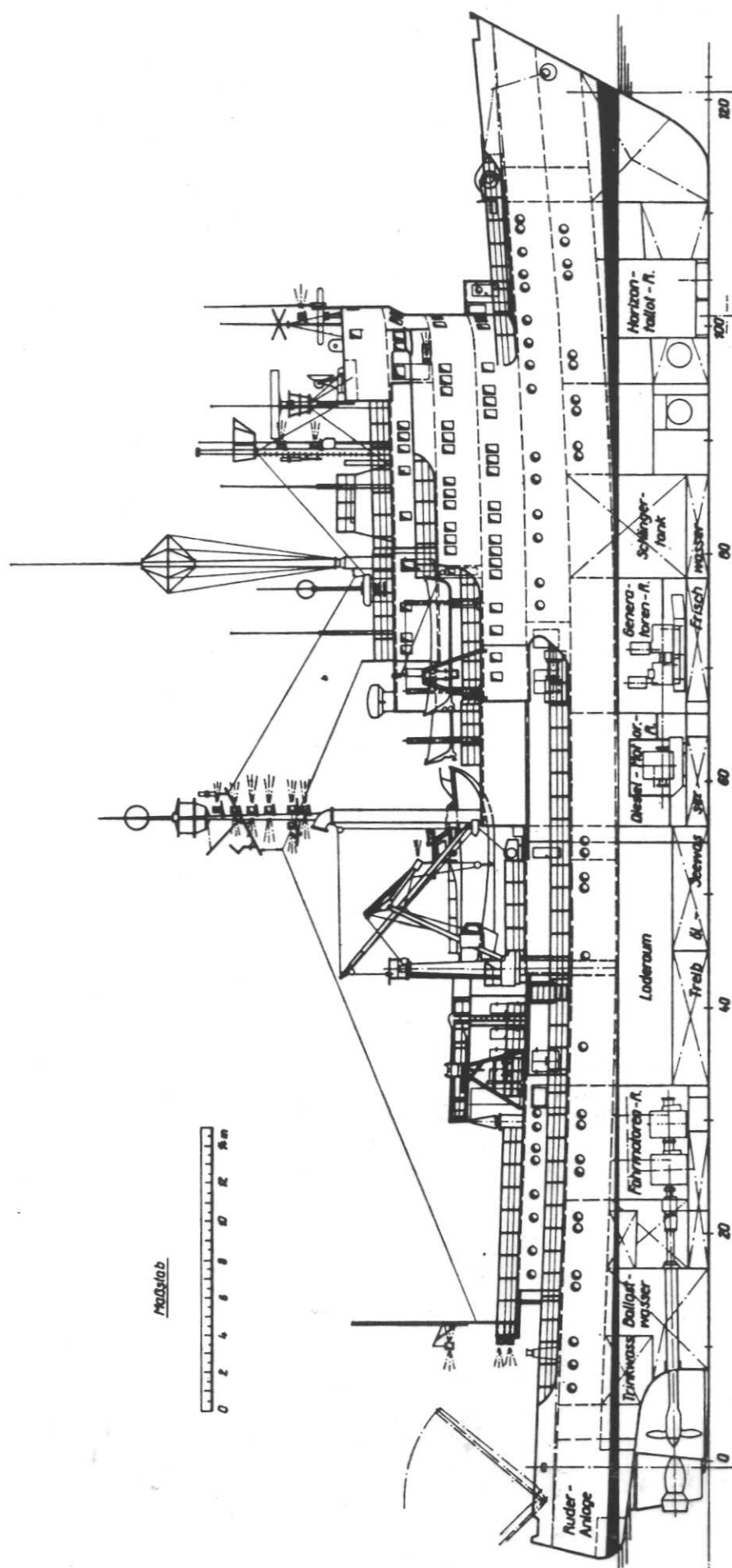
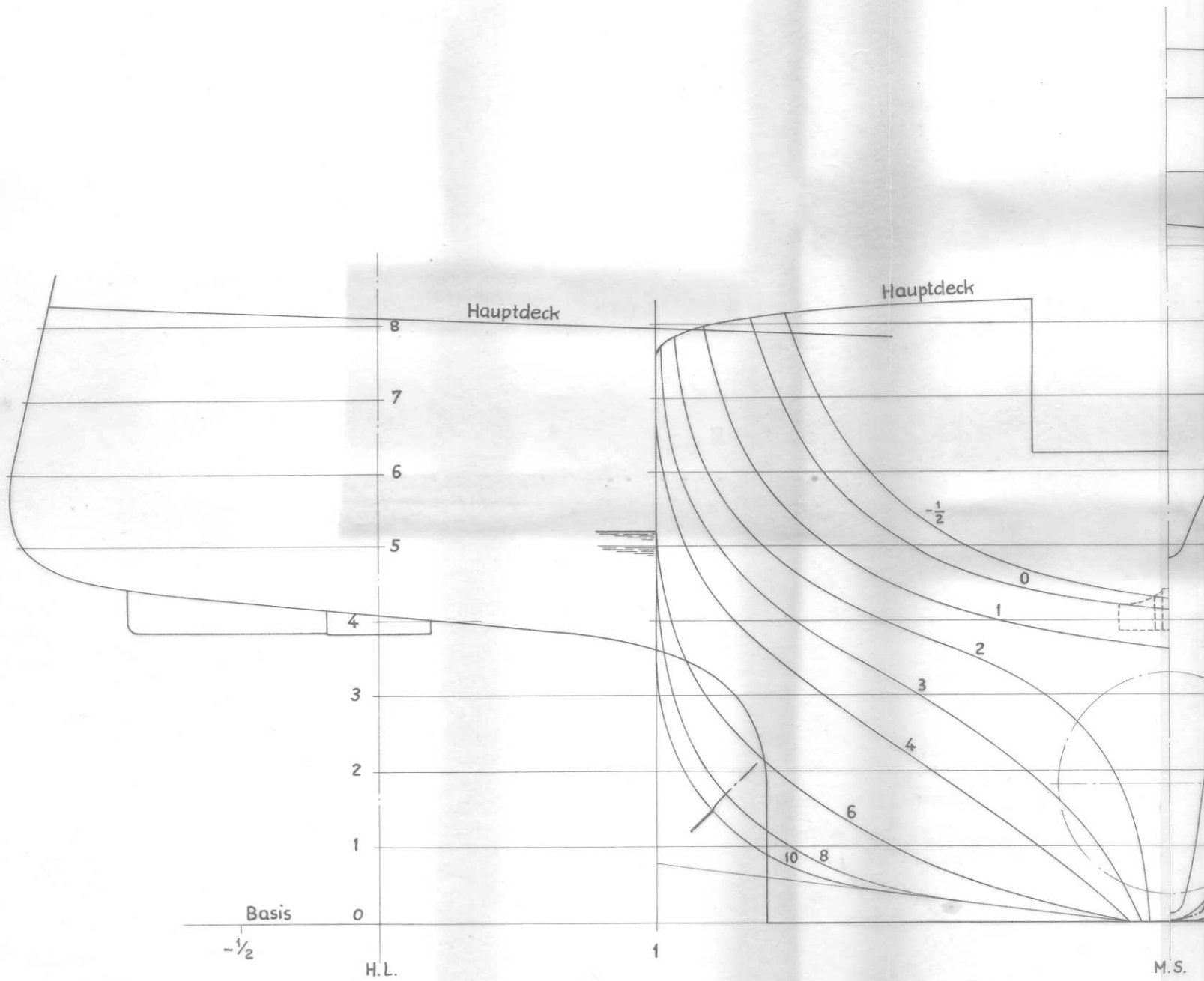
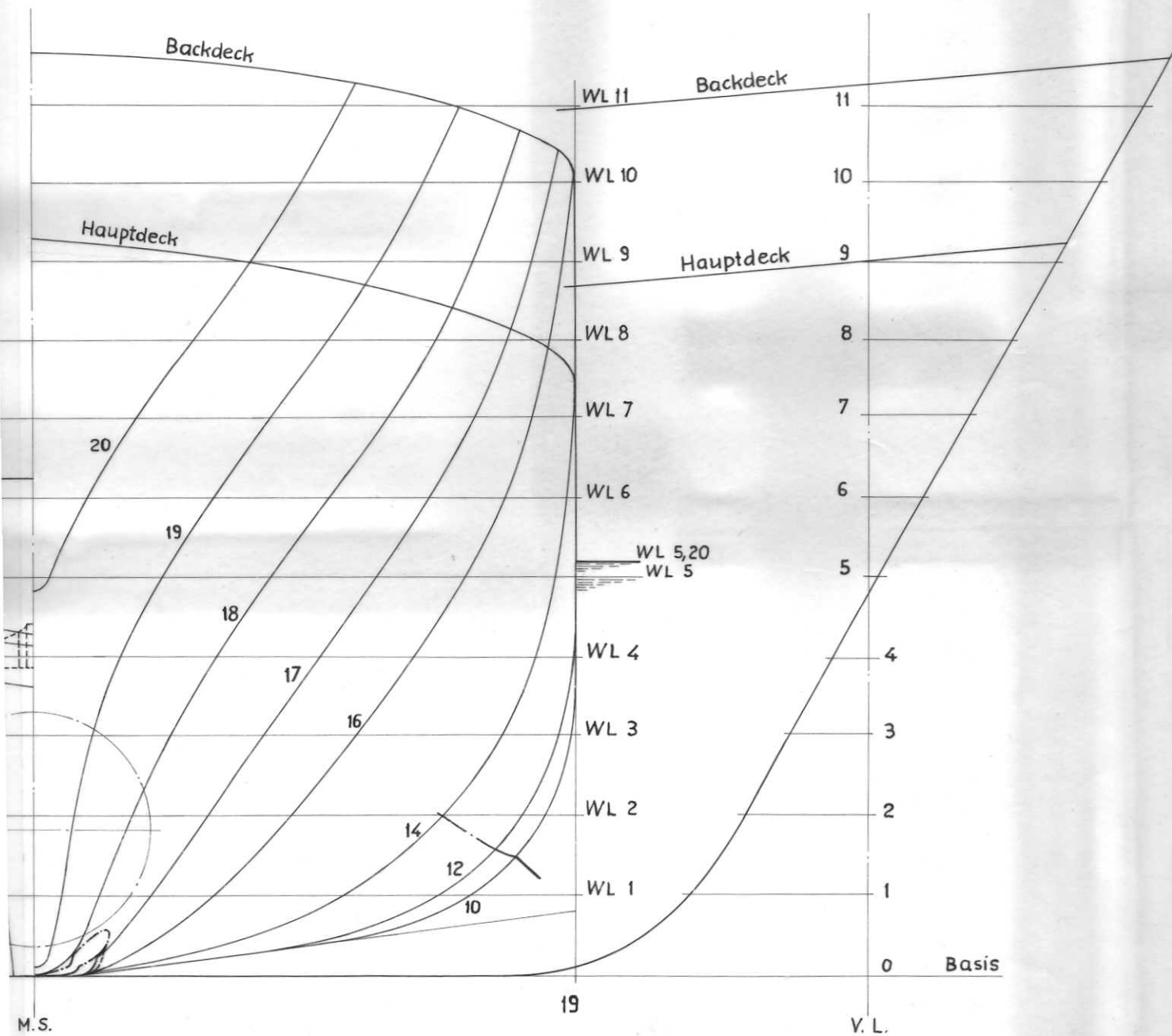


Bild 1a Forschungsschiff „Meteor“

Bild 1b





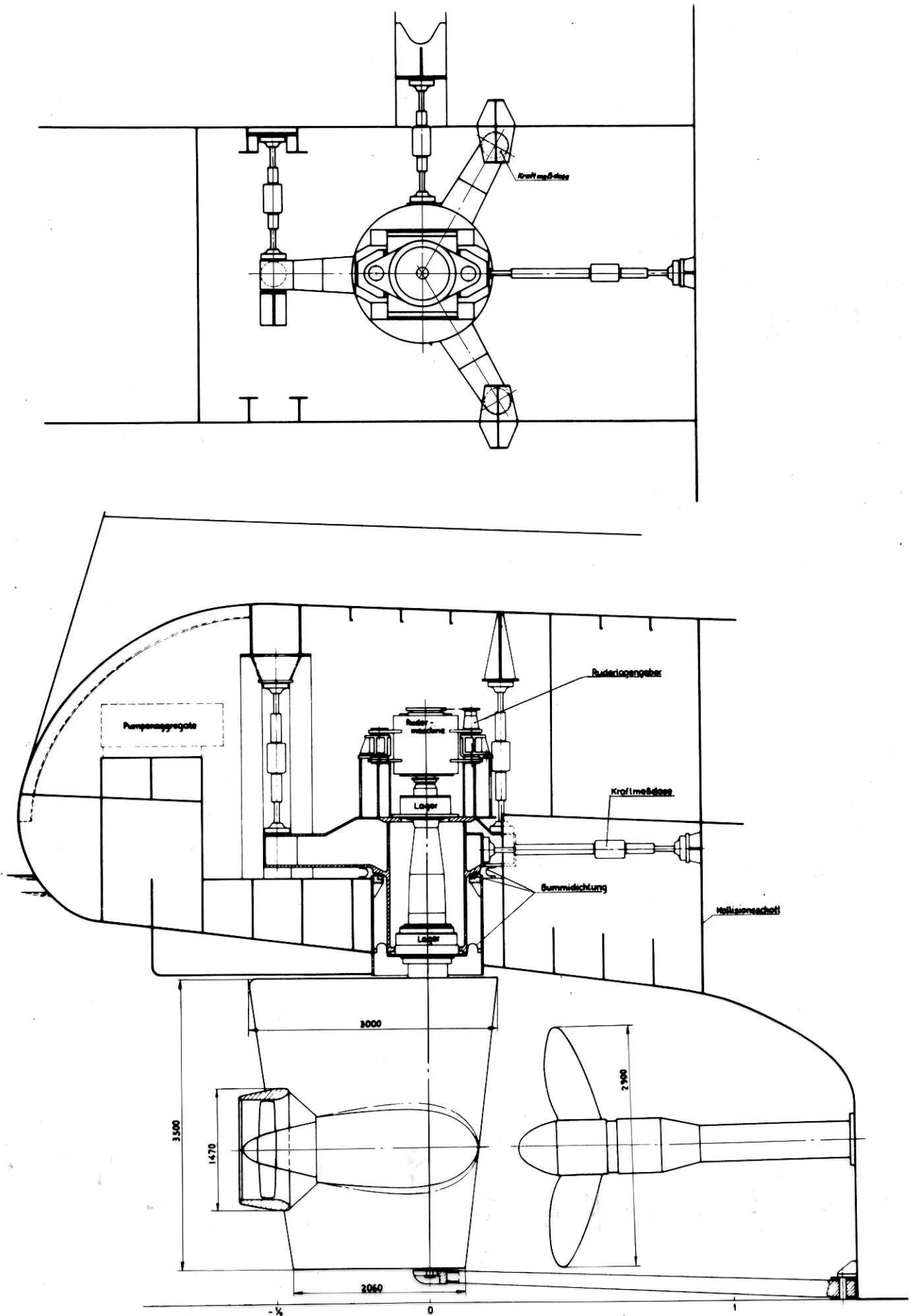


Bild 2 Rudermeßanlage

Bild 3 Ruder nach Versuch (Juli 1964)

Bild 4 Kräfte an der Rudermeßeinrichtung

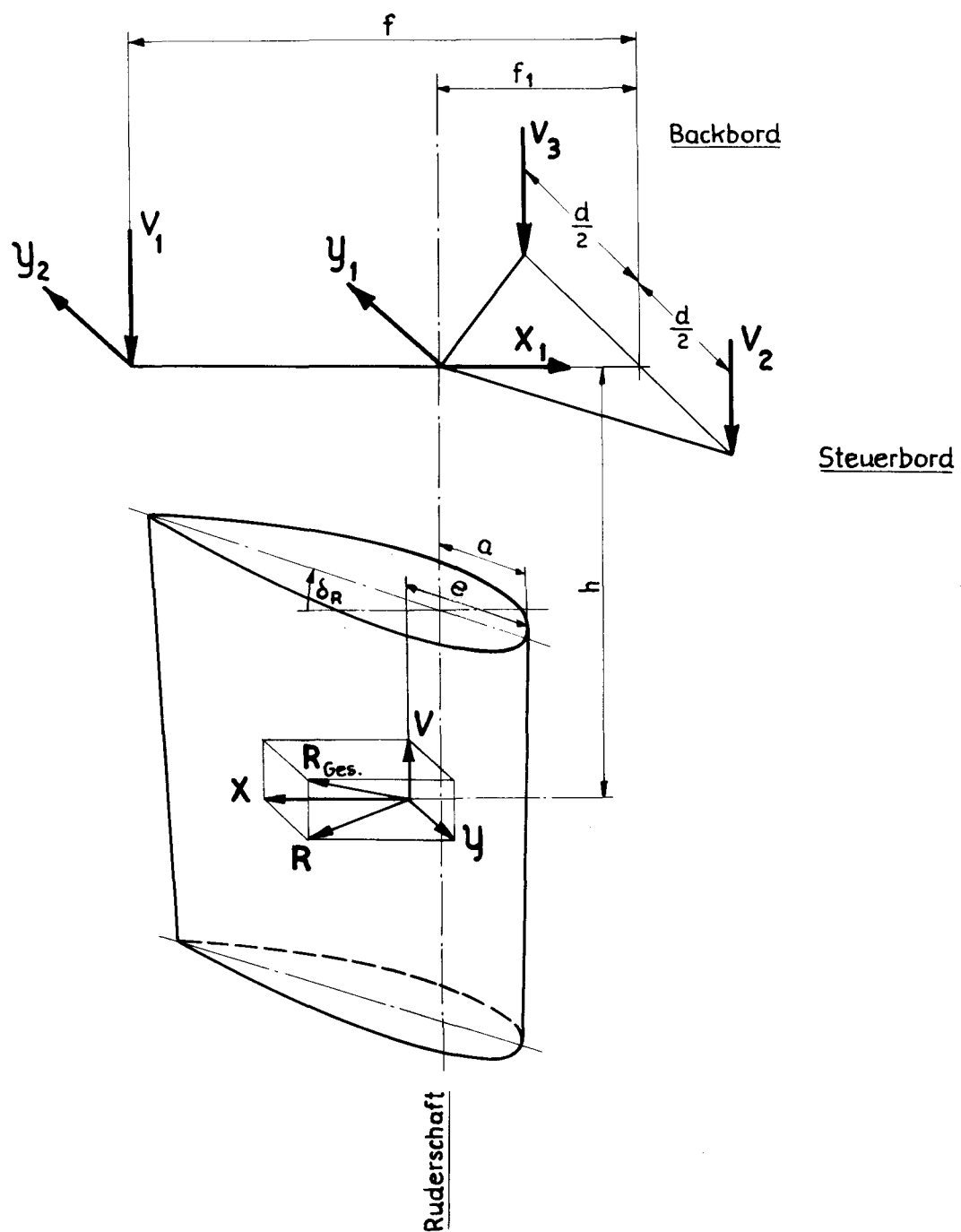
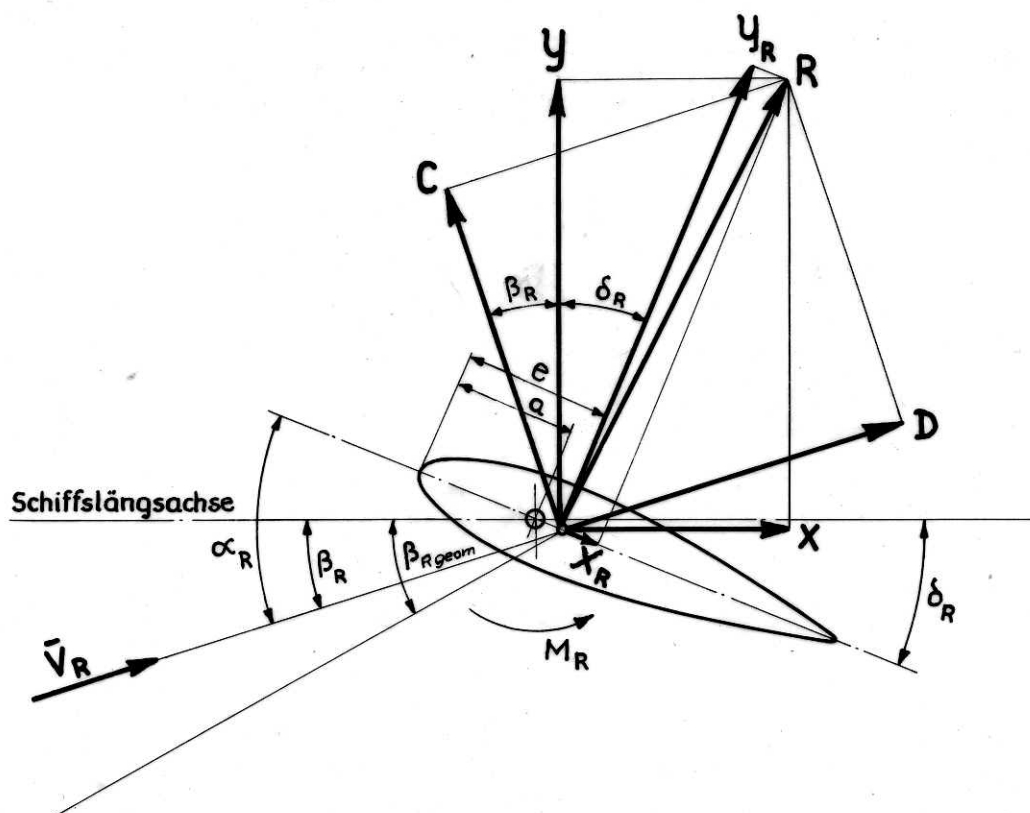


Bild 5 Kräfte und Winkel am Ruder



Legende zu Bild 5

- Y Ruderseitenkraft, in y-Richtung des Schiffes, positiv nach Steuerbord
- X Ruderlängskraft, in x-Richtung des Schiffes, positiv nach hinten
- C Ruderquerkraft (Auftrieb), senkrecht zu $\bar{v}_R$
- D Ruderwiderstand, in Richtung $\bar{v}_R$
- R resultierende Ruderkraft in der x-y-Ebene
- Y_R Rudernormalkraft
- X_R Rudertangentialkraft
- M_R Ruderschiffmoment, linksdrehend positiv
- δ_R Ruderwinkel, Backbordlage positiv
- α_R effektiver Ruderanströmwinkel
- $\beta_{R\text{geom}}$ geometrischer Driftwinkel am Ruder, positiv bei Anströmung von Backbord
- β_R effektiver Driftwinkel am Ruder
- v Fahrtgeschwindigkeit
- $\bar{v}_R$ effektive Ruderanströmgeschwindigkeit
- e Abstand des Druckmittelpunktes von der Vorkante des "mittleren" Profils
- a Abstand des Ruderschiffes von der Profilvorkante

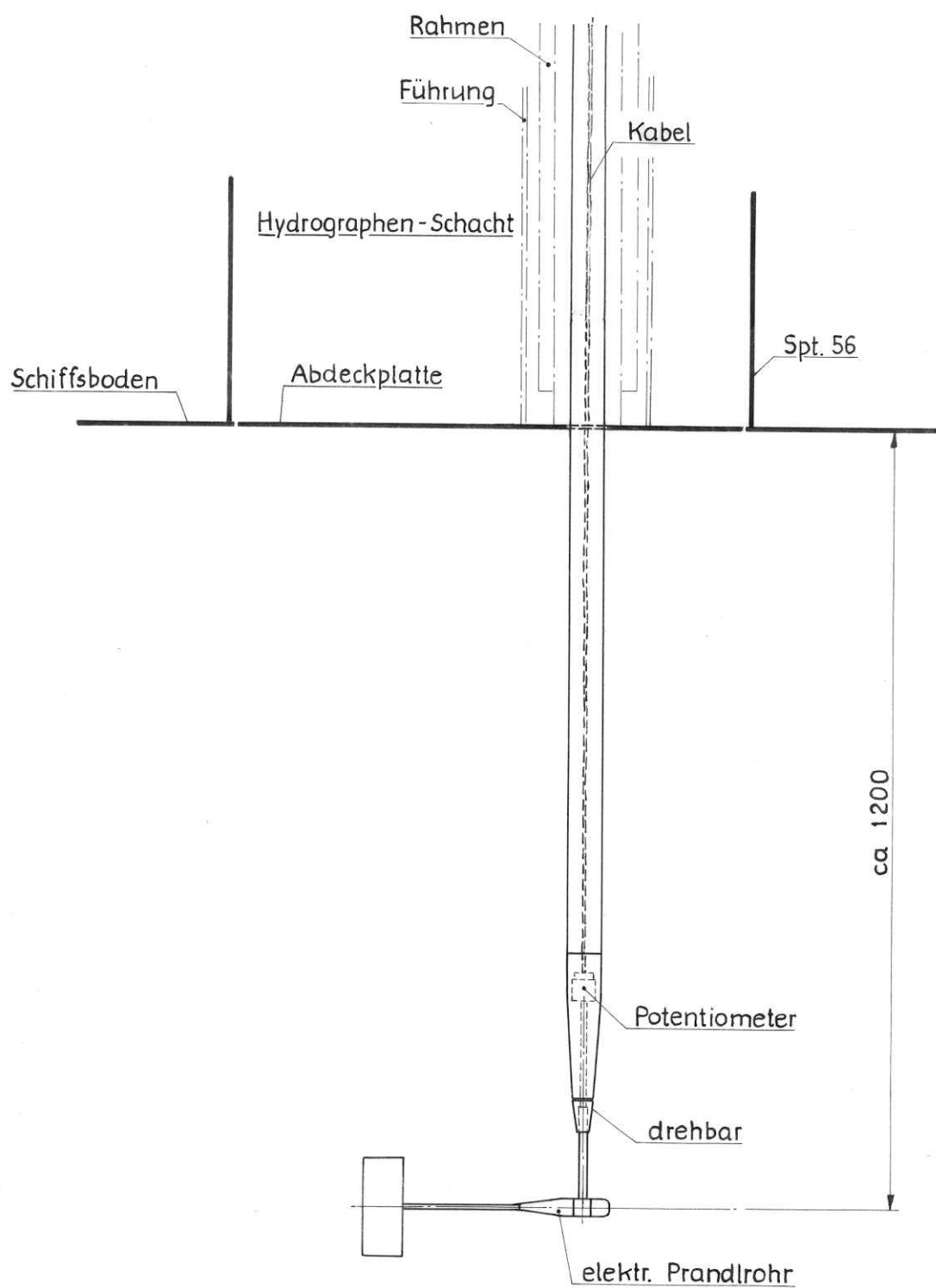


Bild 6 Bodenlog mit Driftwinkelanzeige

Bild 7

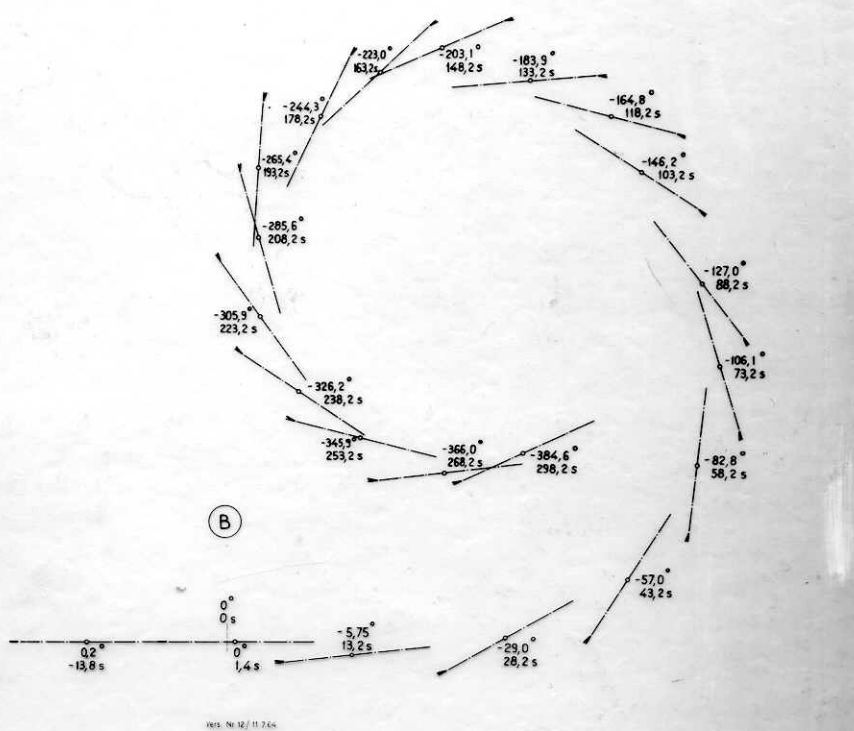
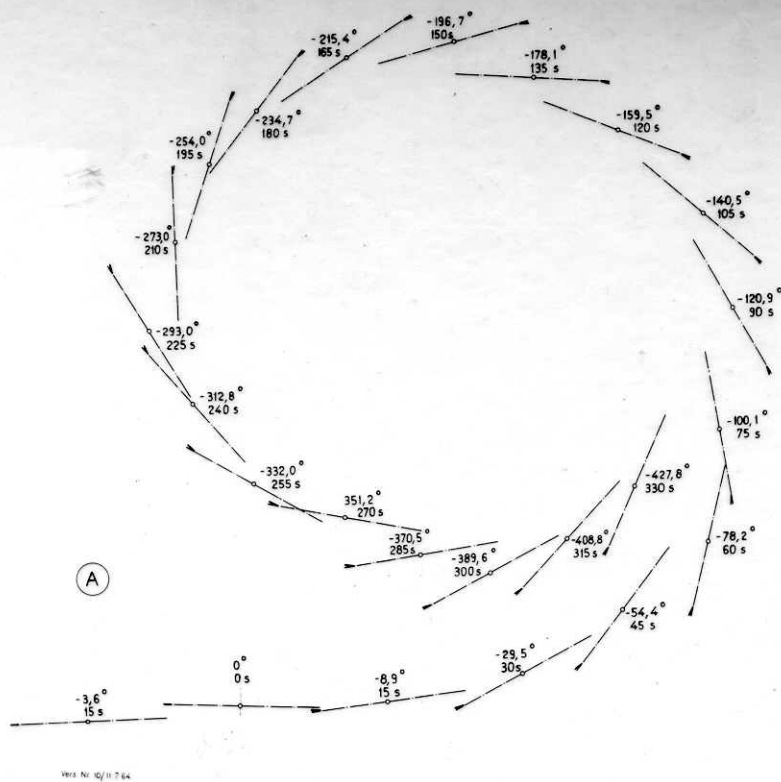


Bild 7

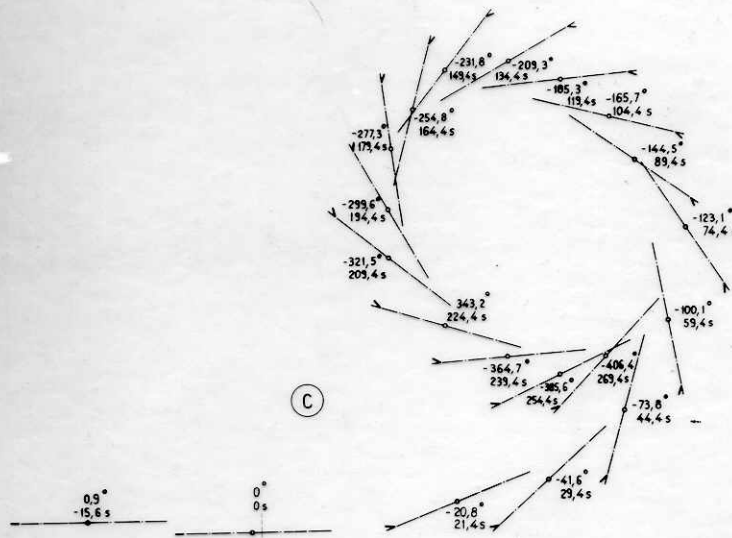
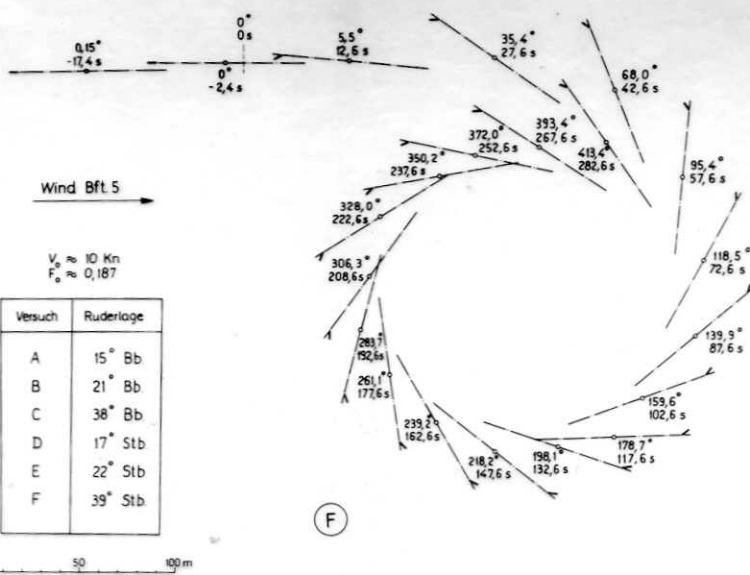
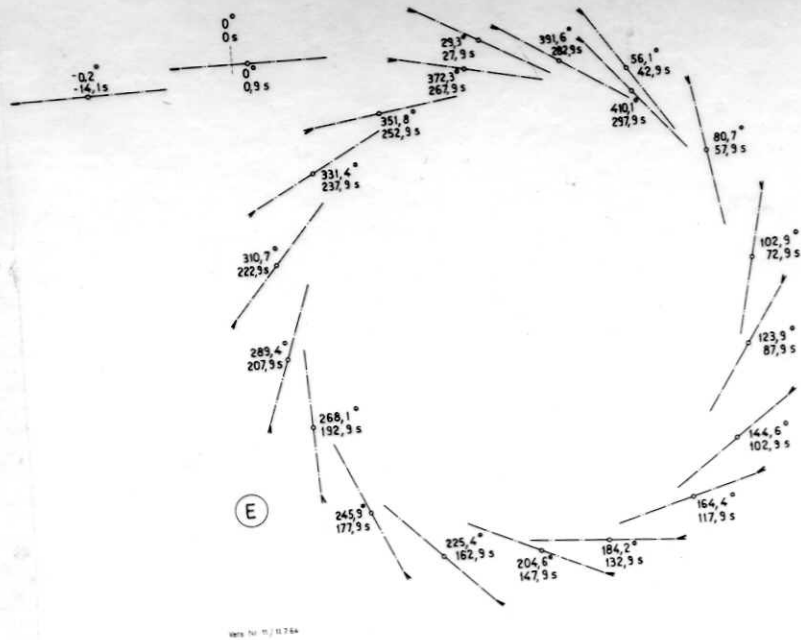


Bild 7



Versuch	Ruderlage
A	15° Bb
B	21° Bb
C	38° Bb
D	17° Stb
E	22° Stb
F	39° Stb

Bild 7 Drehkreise nach Decca-Messung
(Gierwinkel nach Kompaß
eingetragen)

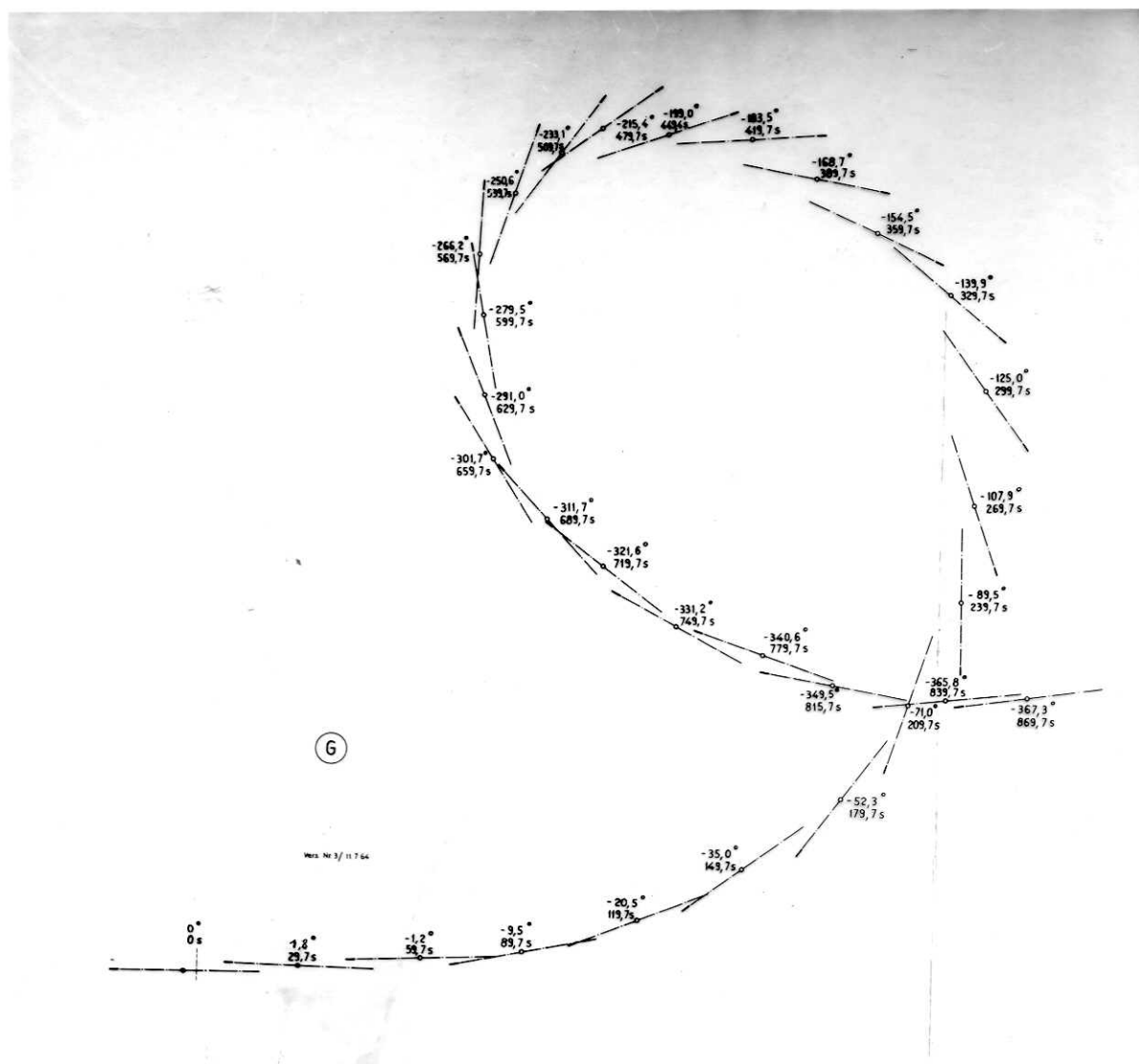


Bild 8

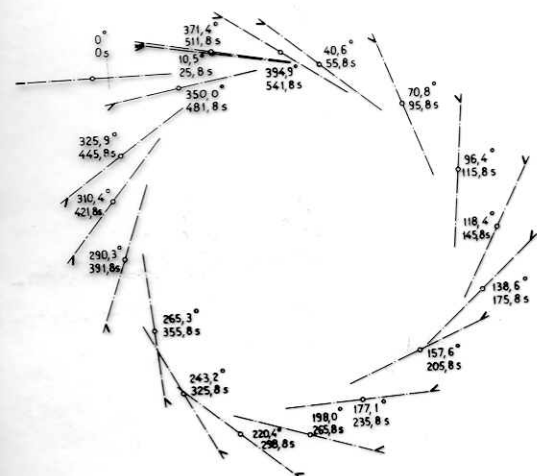
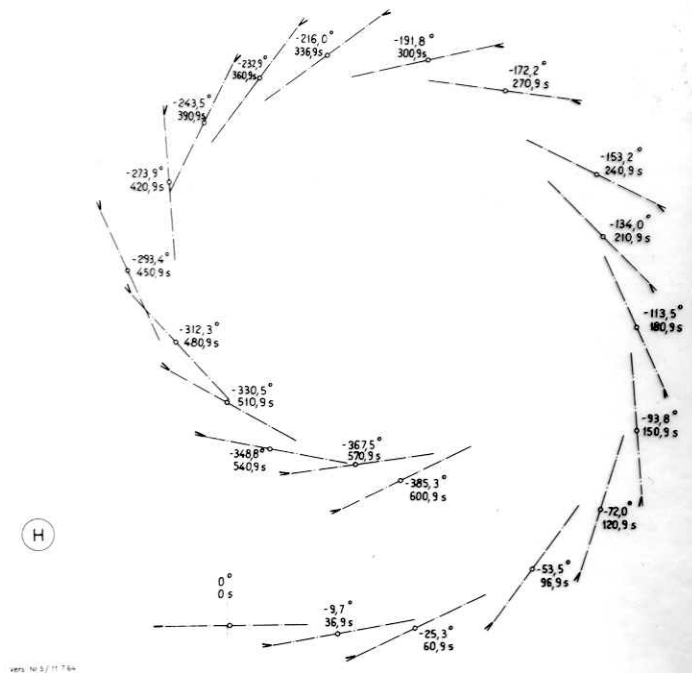
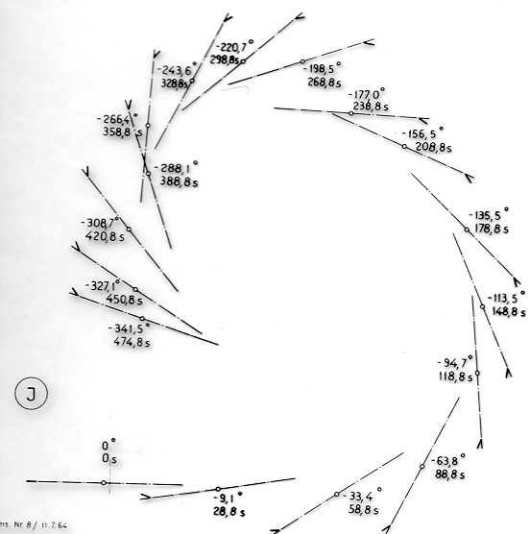


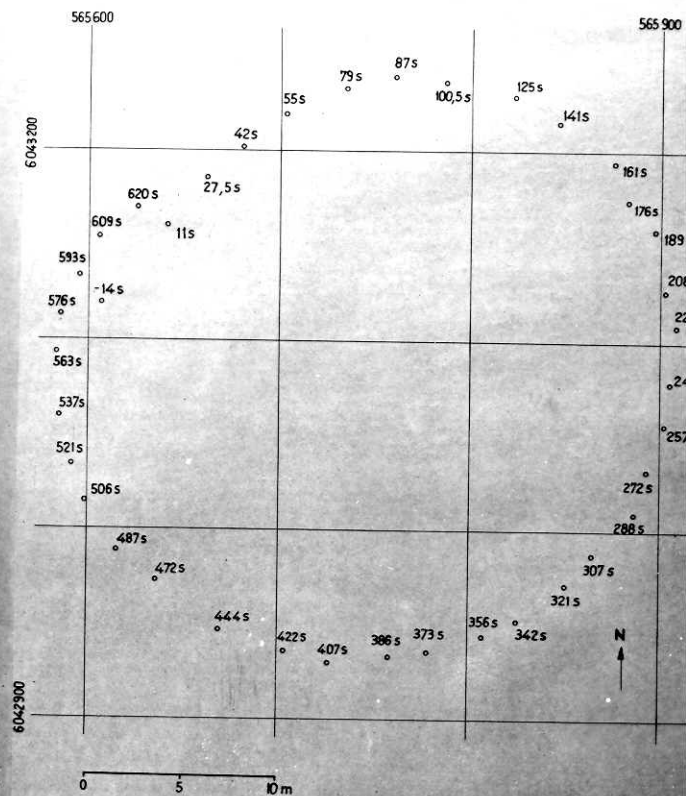
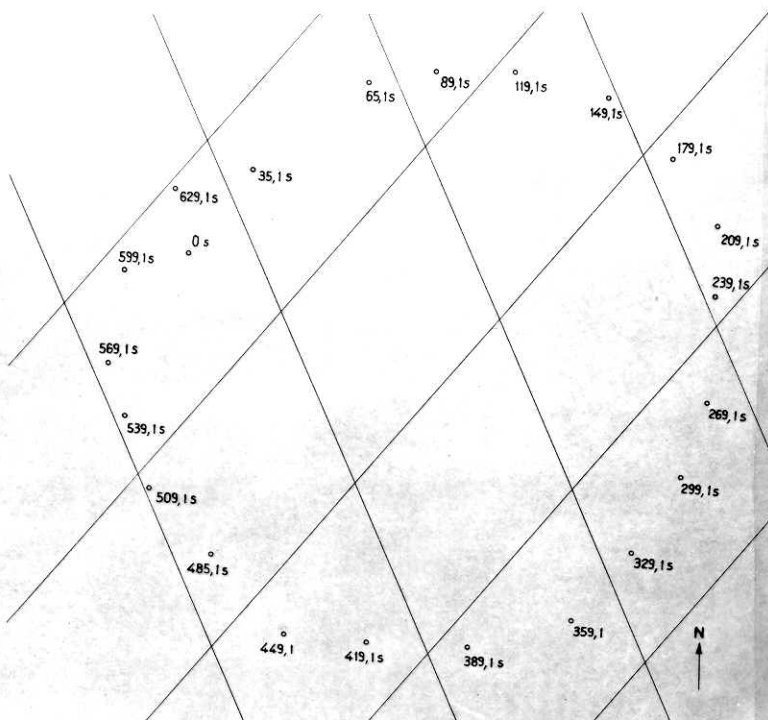
Bild 8

Wind Bft 4

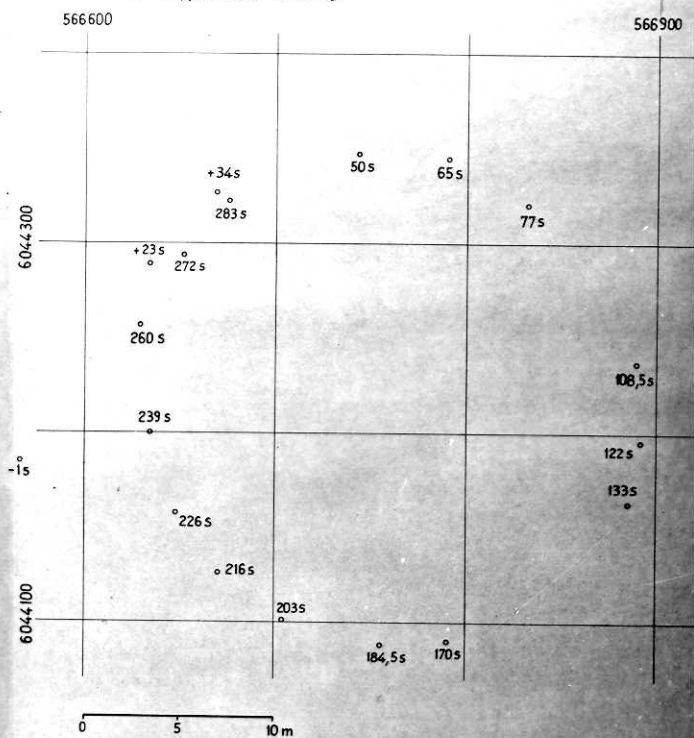
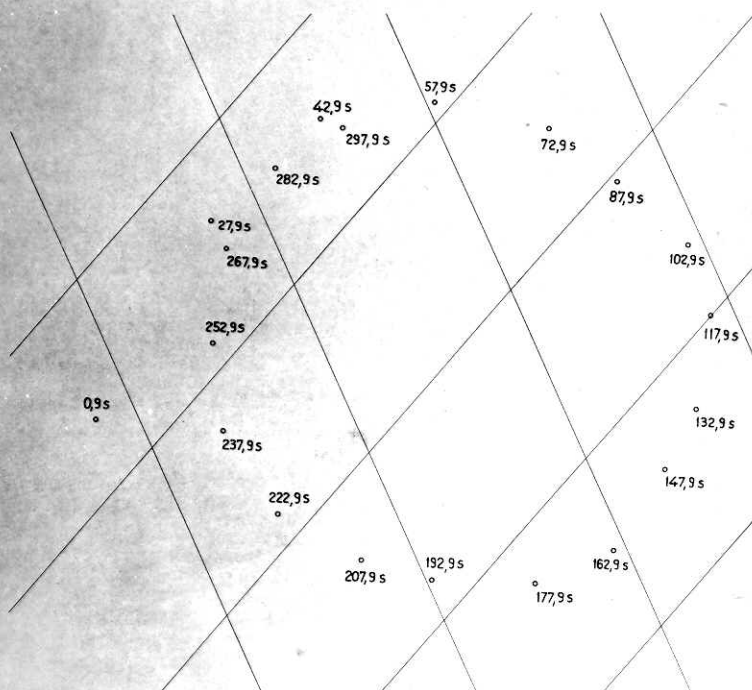
$V_0 \approx 4 \text{ Kn}$
 $F_0 \approx 0,075$

Versuch	Ruderlage
G	15° Bb.
H	25° Bb.
J	34° Bb.
K	-
L	23° Stb
M	39° Stb

0 50 100 m



Drehkreis (L)



Drehkreis (E)

Bild 9 Vergleich der Drehkreise nach Decca - Ortung und Doppelwinkel - Messung.

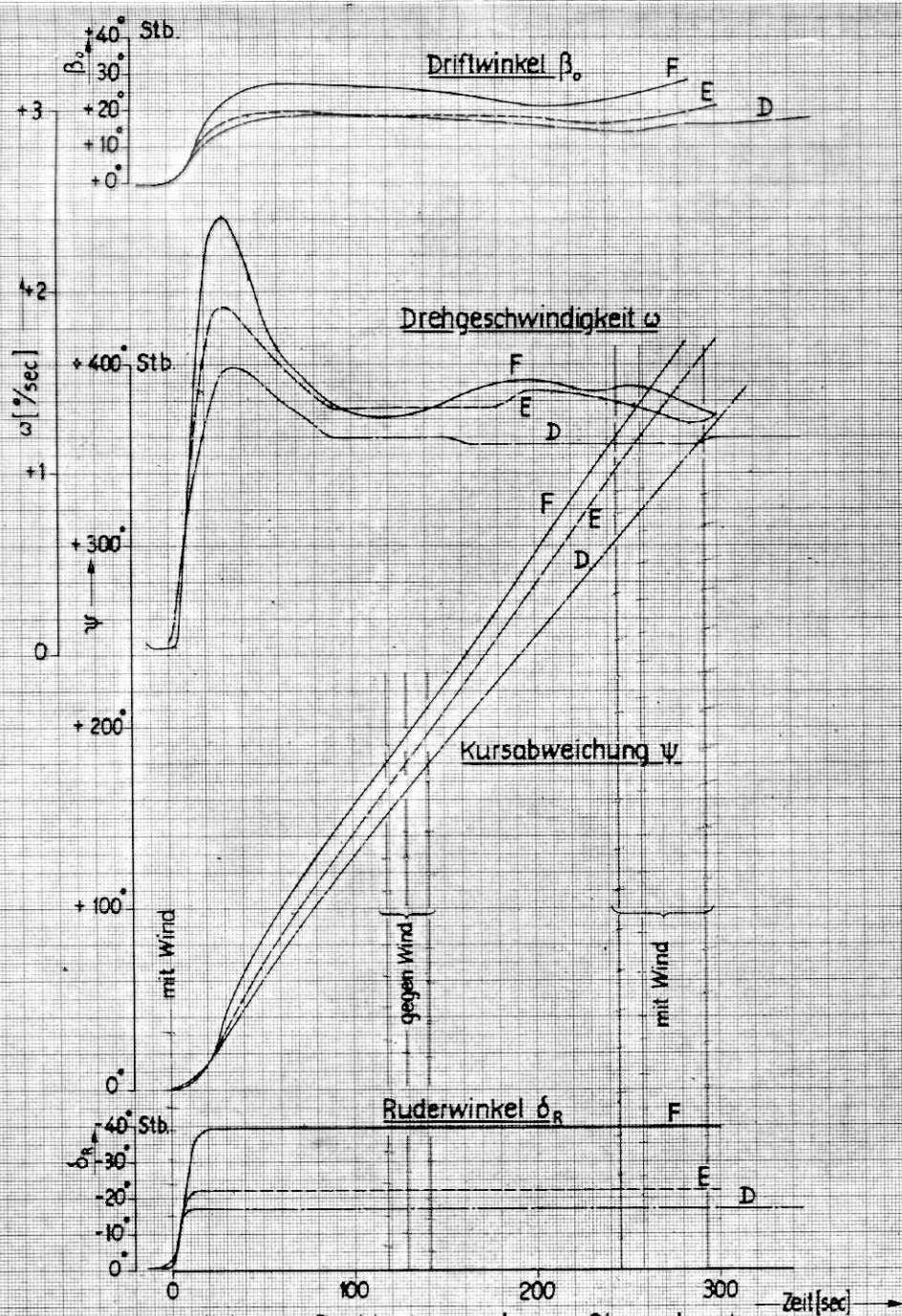


Bild 10b Drehkreisversuche - Steuerbord
 $v_0 \approx 10$ kn, Wind Bft. 5

Bild 10

Vers. 3, 11, 14
 11. 7. 64
 a

HELDER A 3 287 x 420 mm

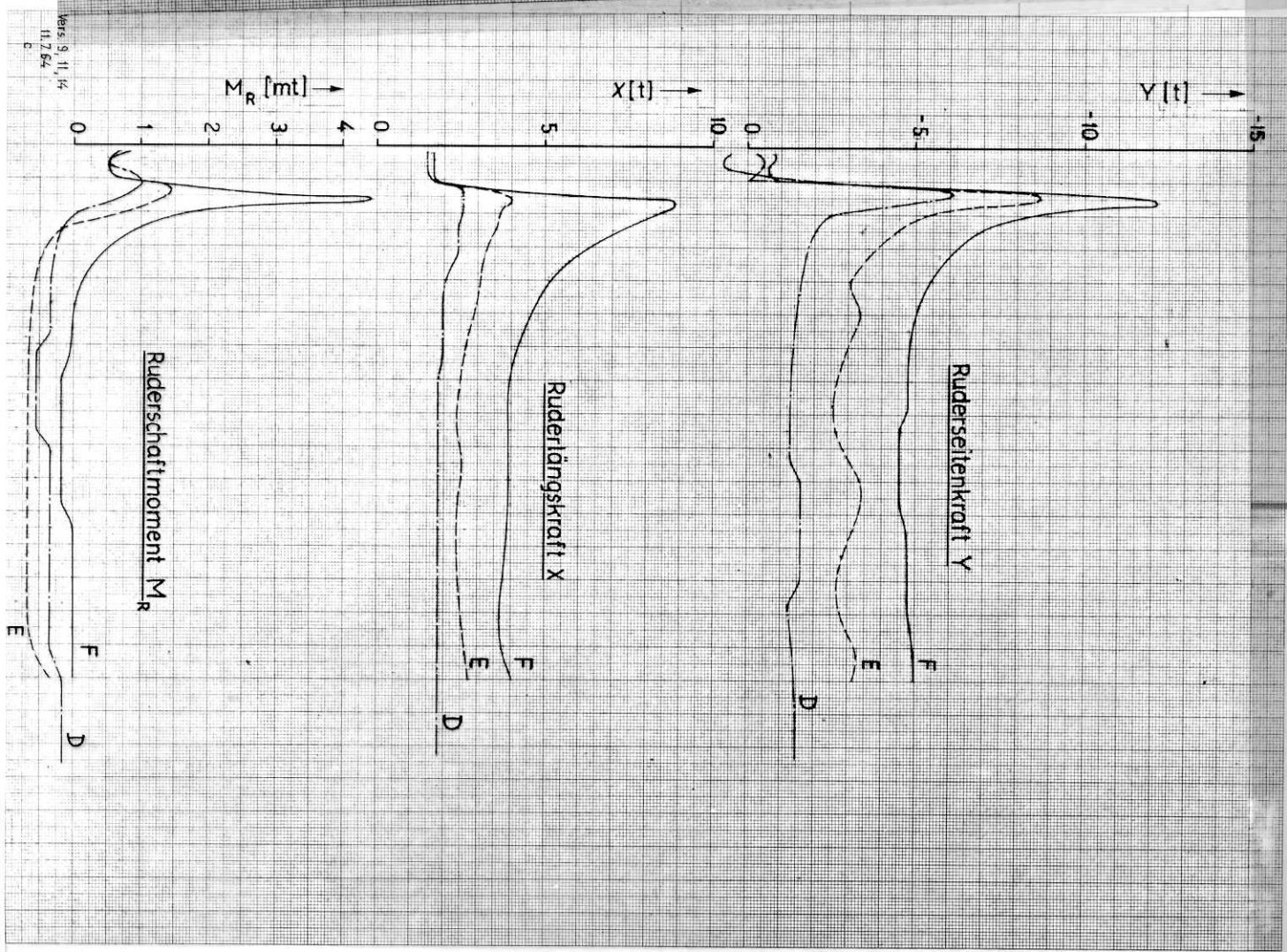
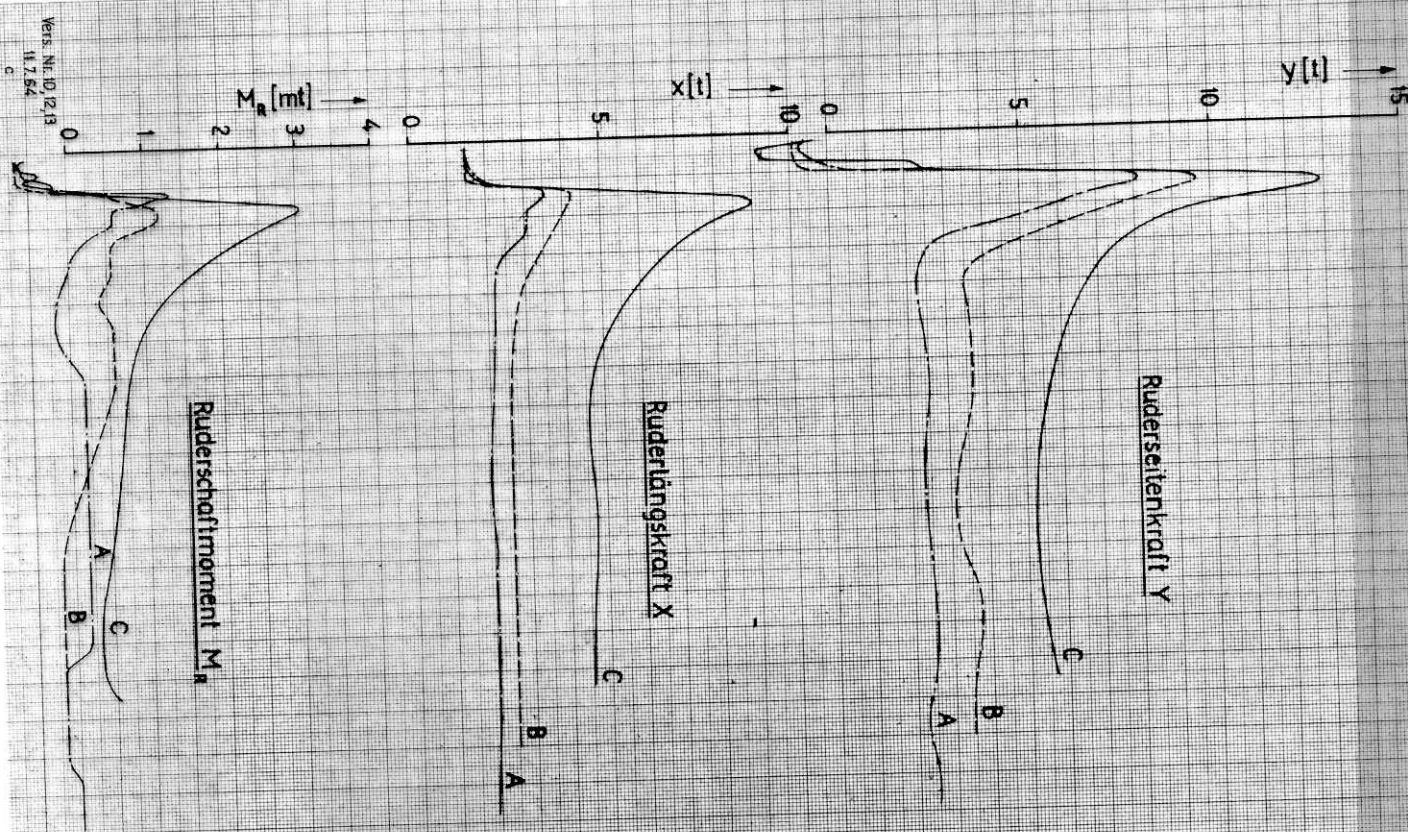
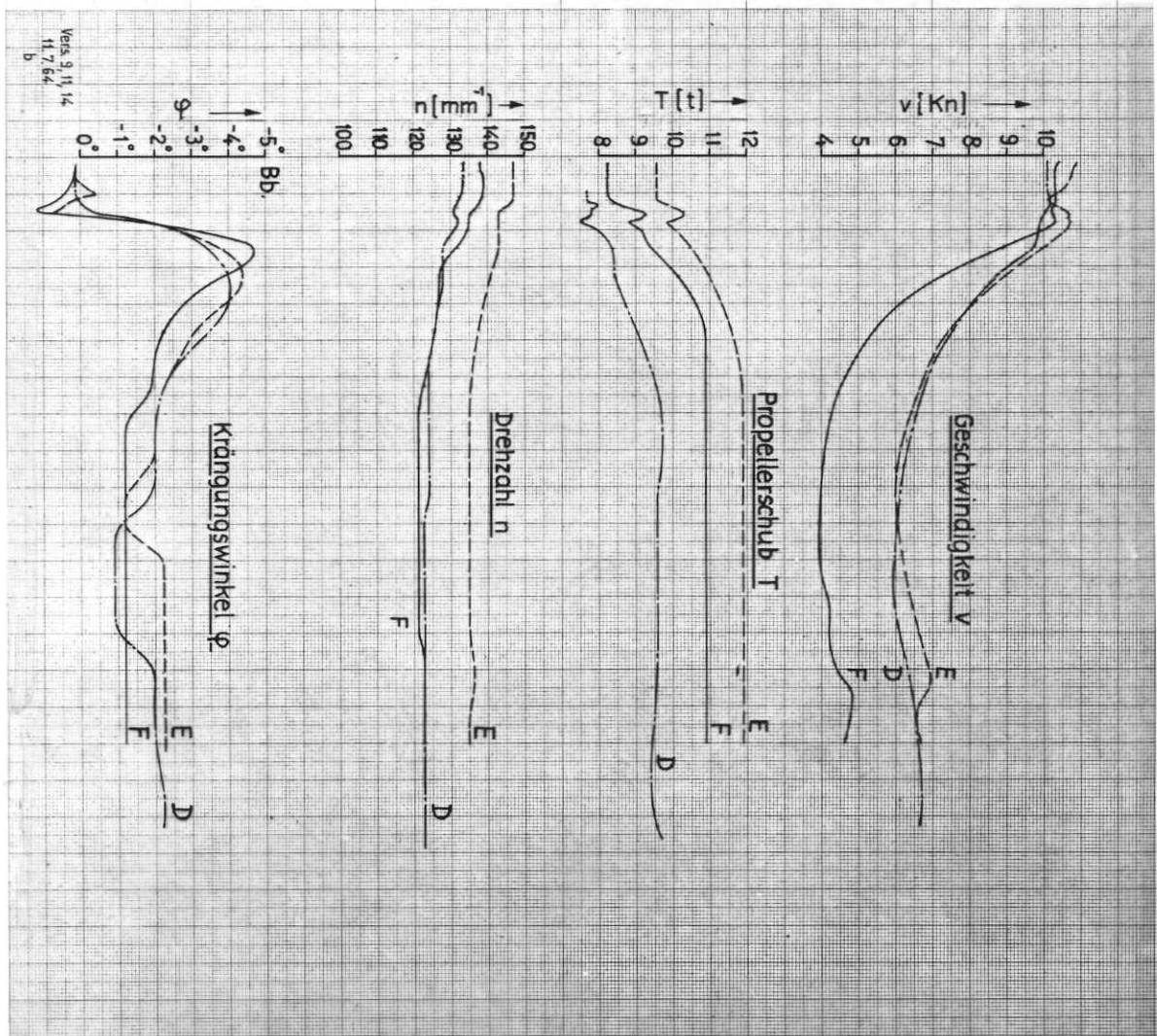
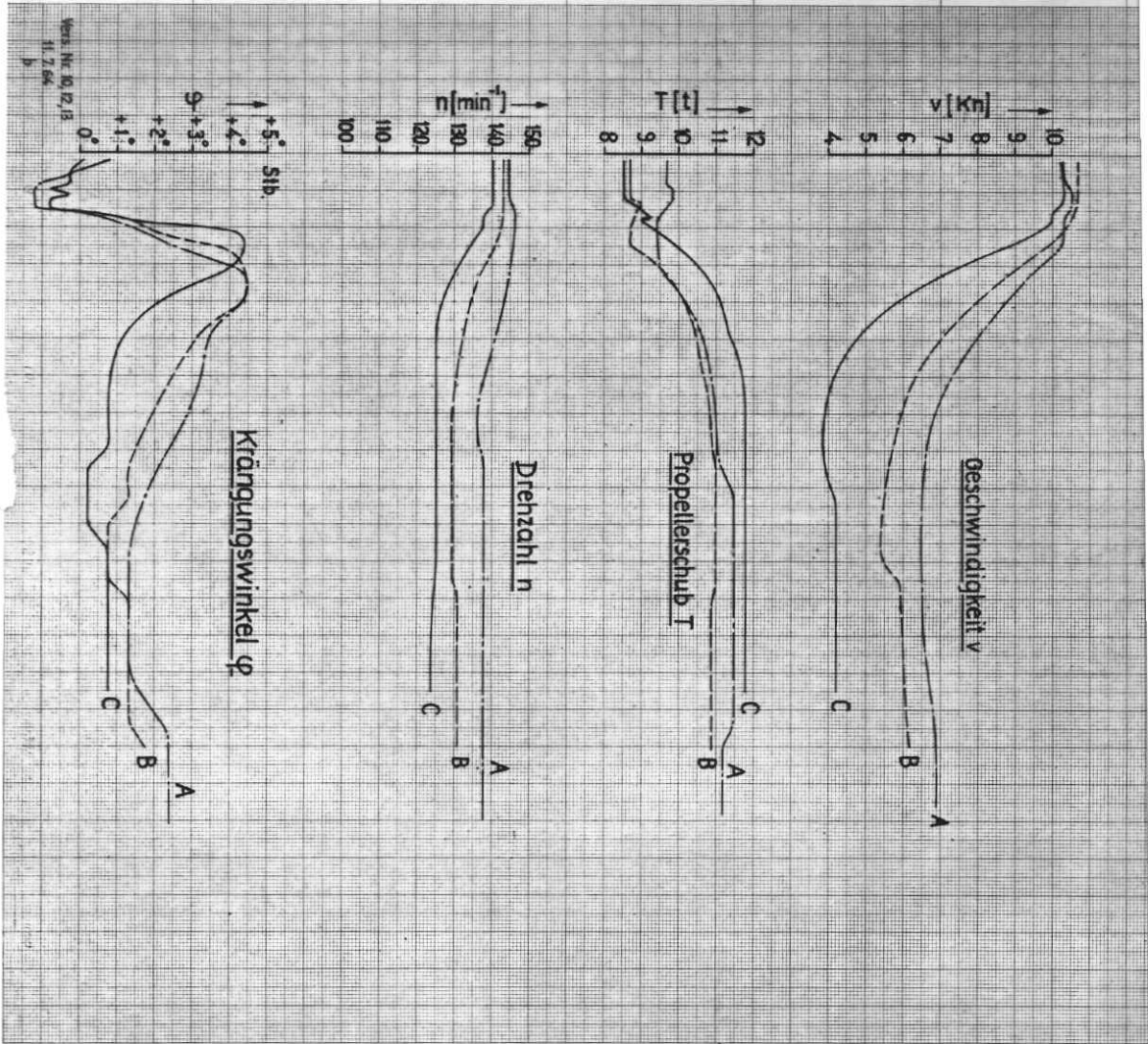


Bild 10

Bild 10



Driftwinkel β .

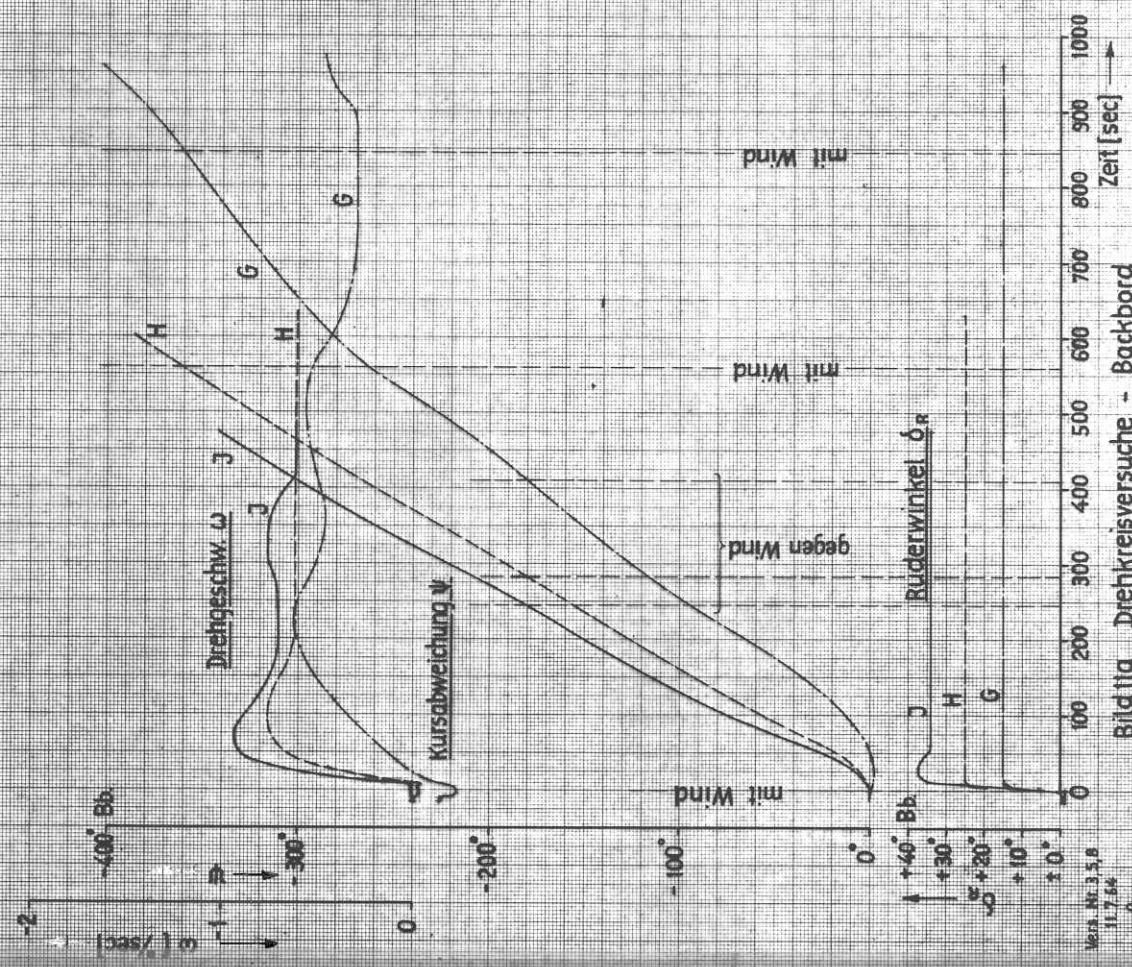


Bild 11a Drehkreisversuche - Backbord
 $V_0 \approx 4 \text{ Kn}$, Wind: Bft 4

Bild 11

Driftwinkel β .

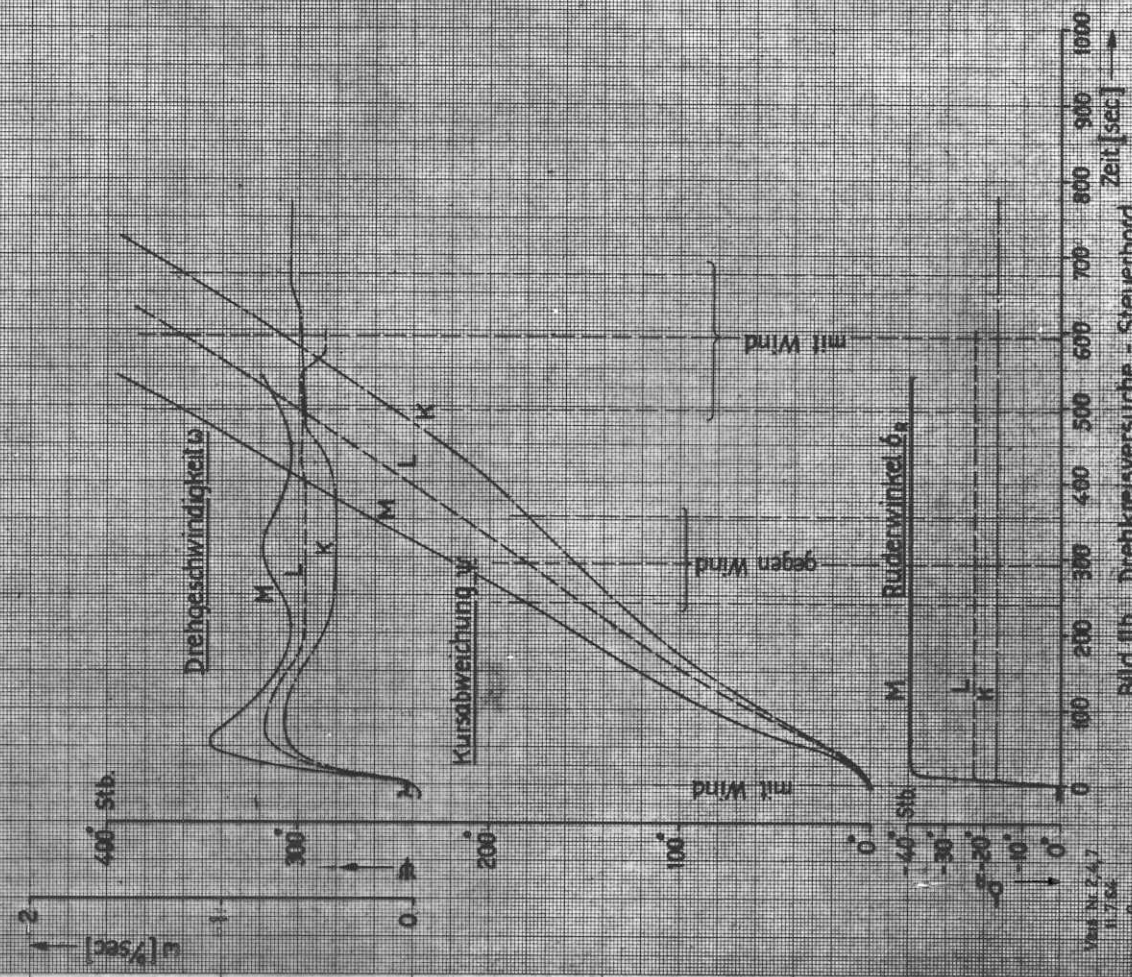
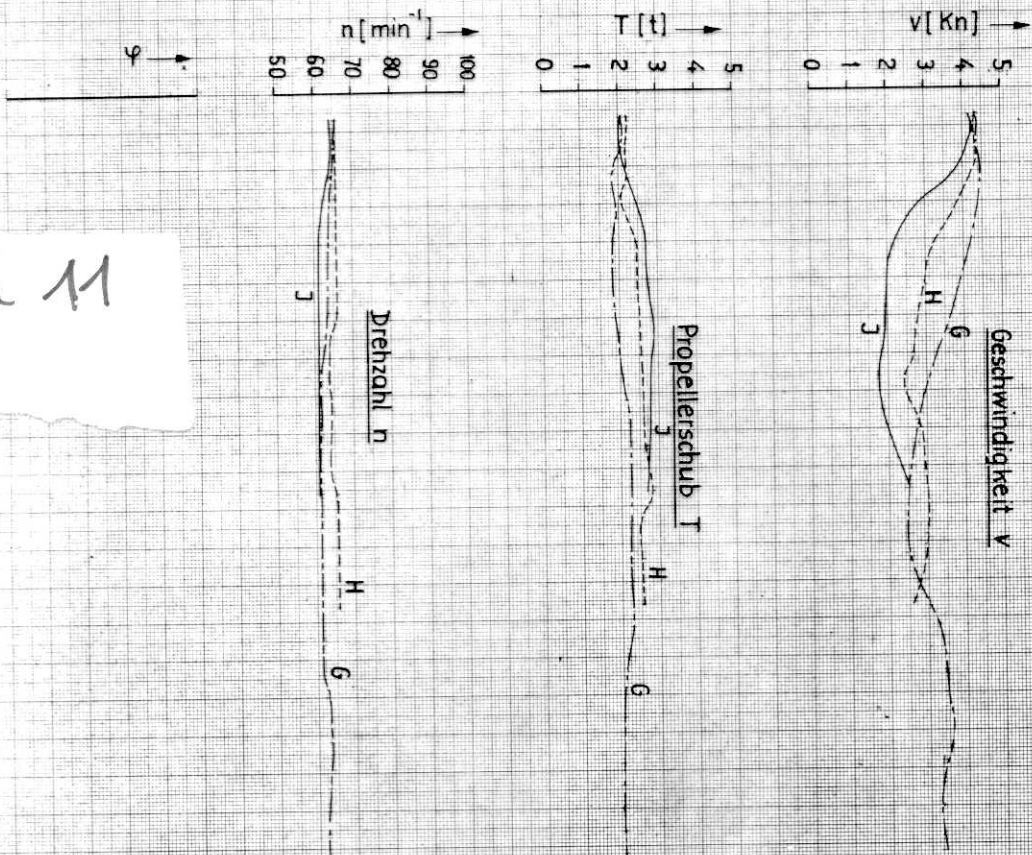


Bild 11b Drehkreisversuche - Steuerbord
 $V_0 \approx 4 \text{ Kn}$, Wind: Bft 4

Bild 11

Vers. Nr. 3,5,8
11.7.64
b



Vers. Nr. 2,4,7
11.7.64
b

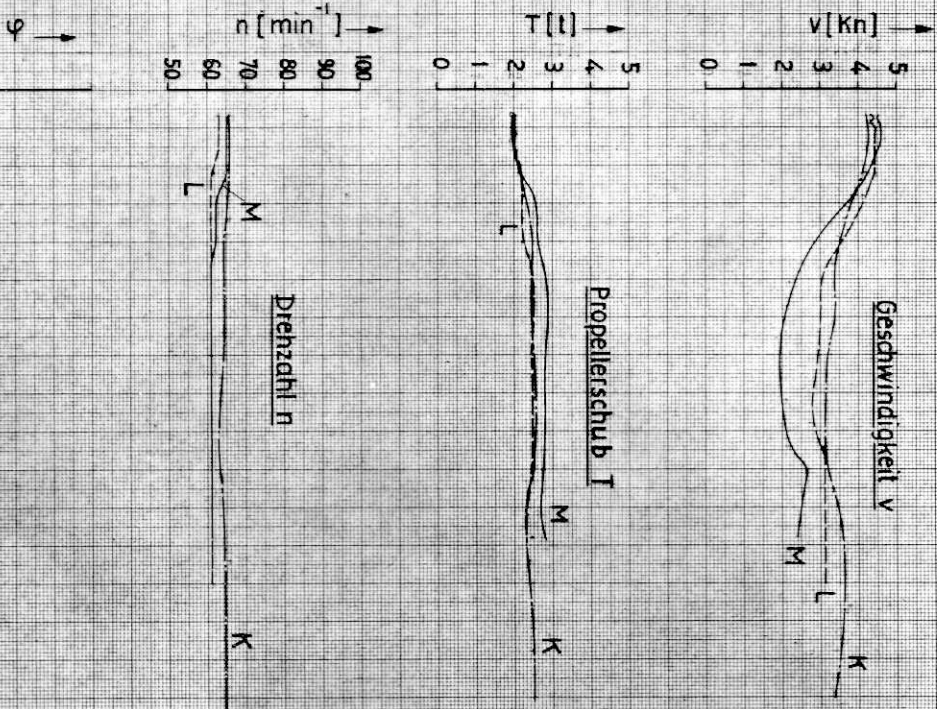


Bild 12 Drehkreisdurchmesser
nach Decca-Messung

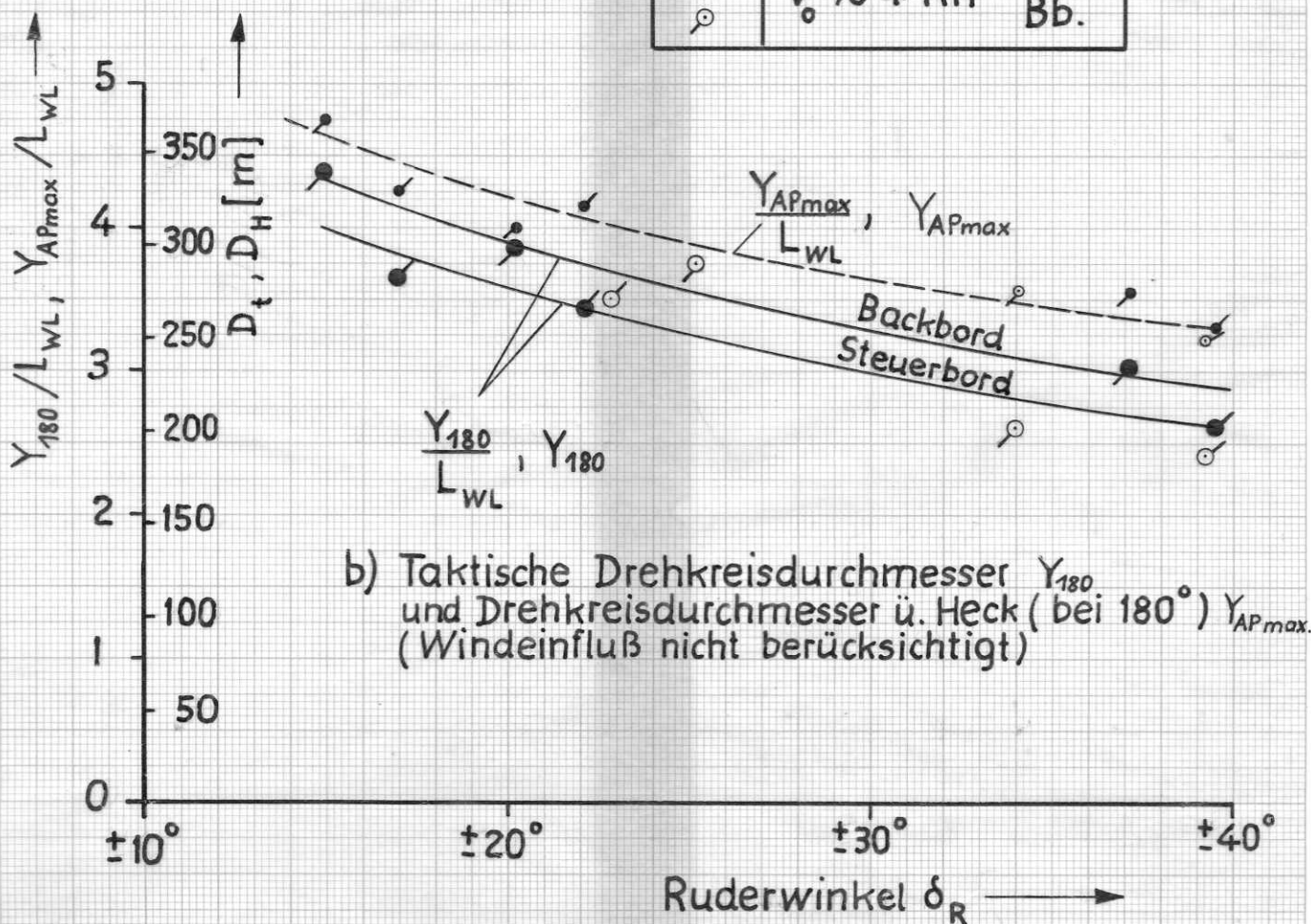
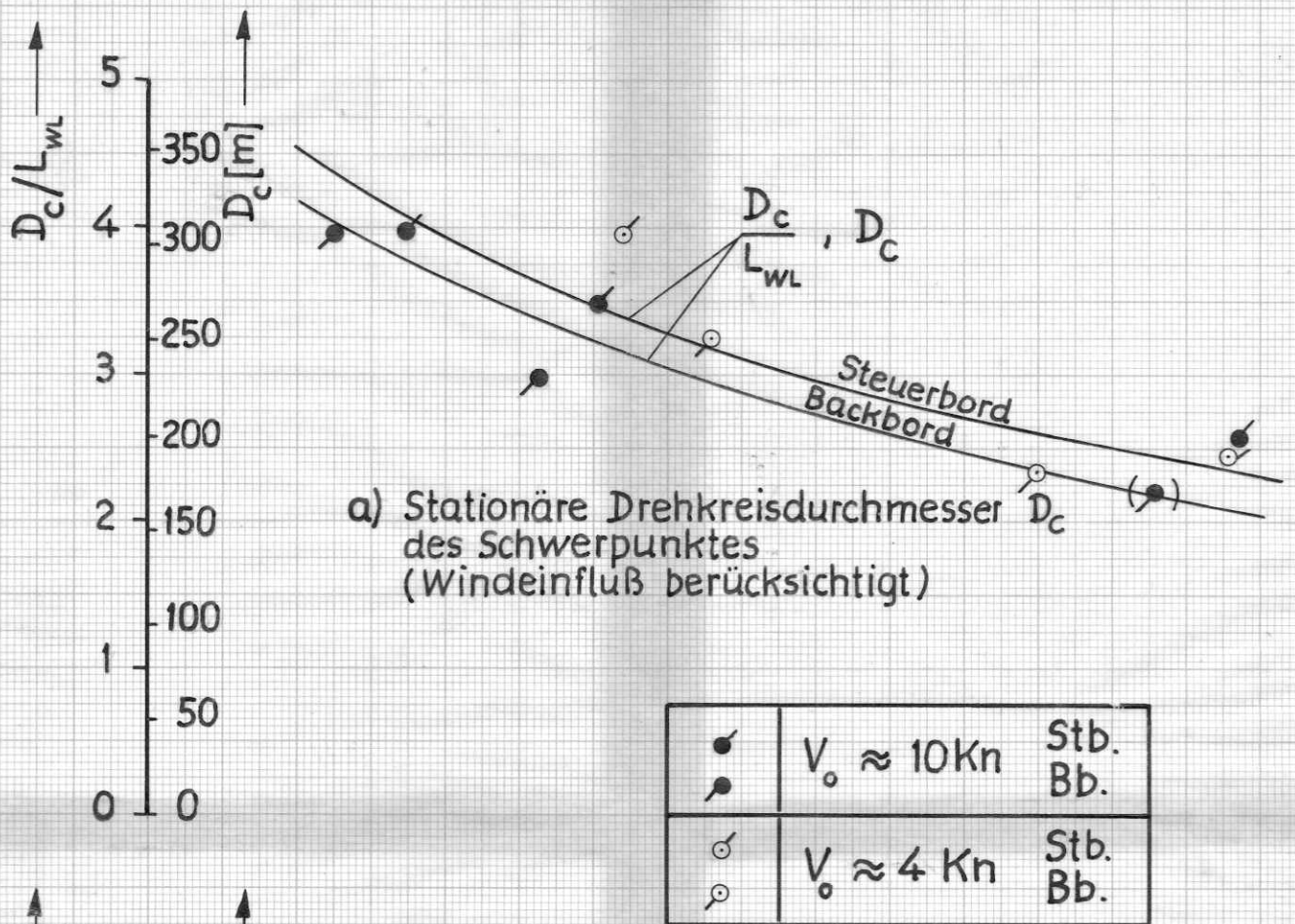


Bild 13 Geschwindigkeitsabfall und Krängungswinkel im Drehkreis

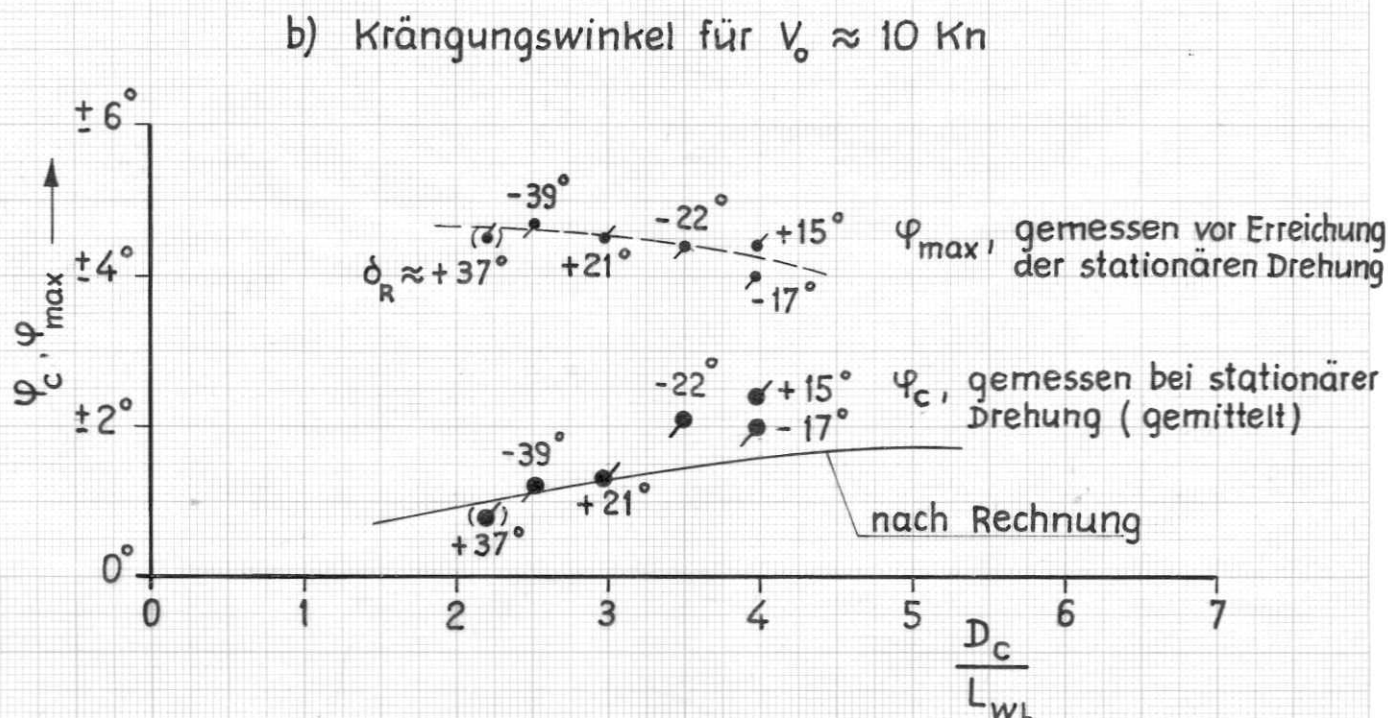
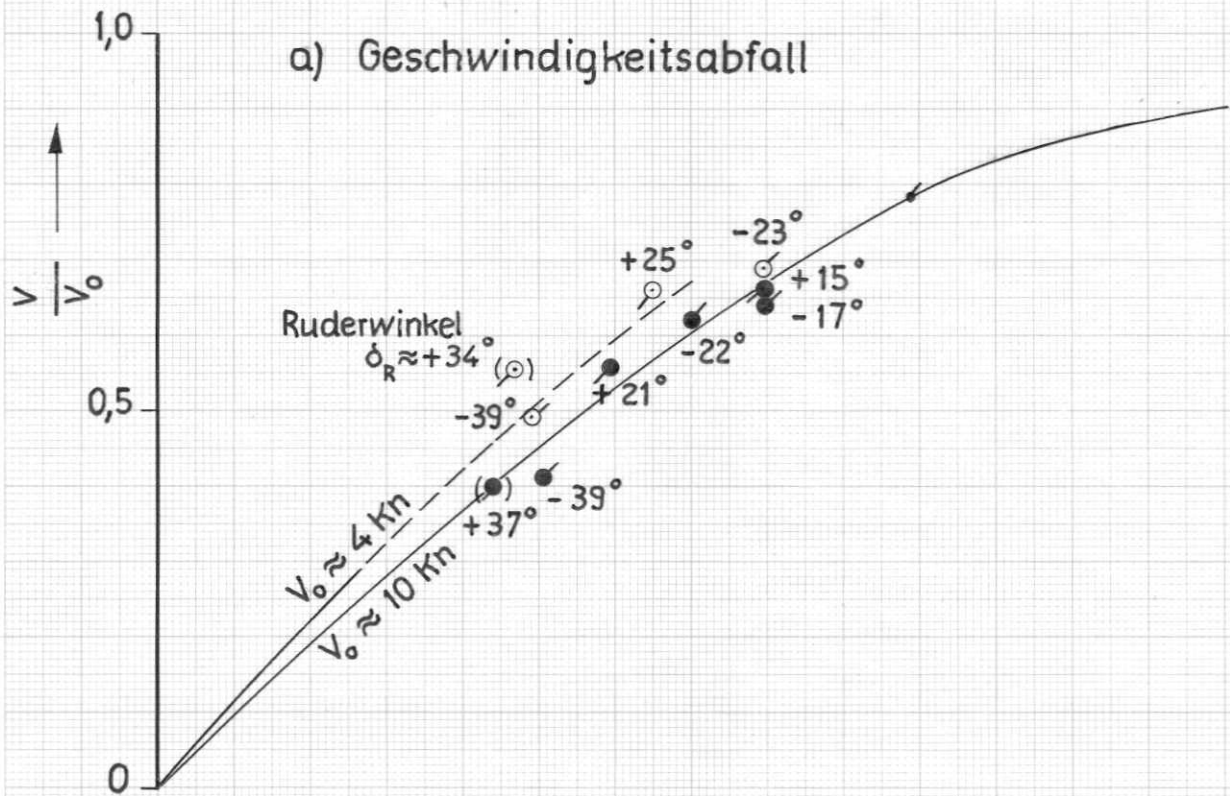
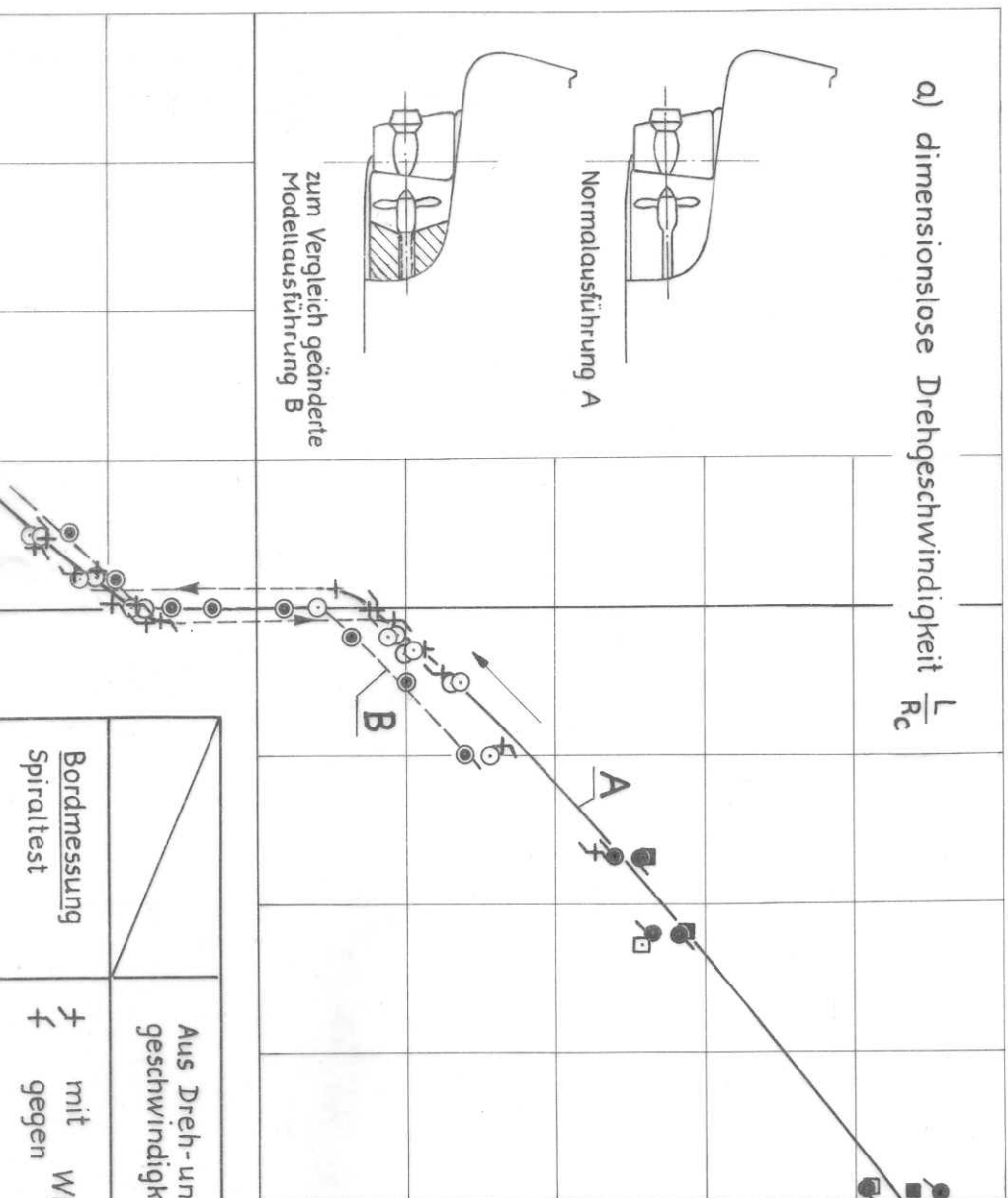
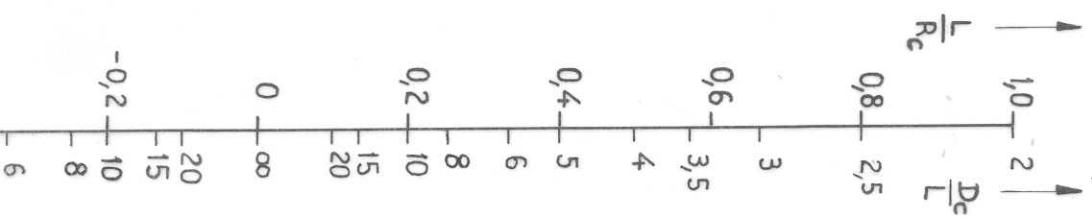


Bild 14 Spiraltest und Drehkreisversuche

(Stationäre Drehung)



Bordmessung Spiraltest	Aus Dreh- und Bahn- geschwindigkeits-Messung	Mittelwert nach Decca
	± mit gegen Wind, Bft. 4/5	

gegen	Wind Bft. 4	□
Drehkreisversuch ($V_0 \approx 4 \text{ Kn}$)		
Modellversuch Spiraltest	○ Ausführung A	
	● Ausführung B	

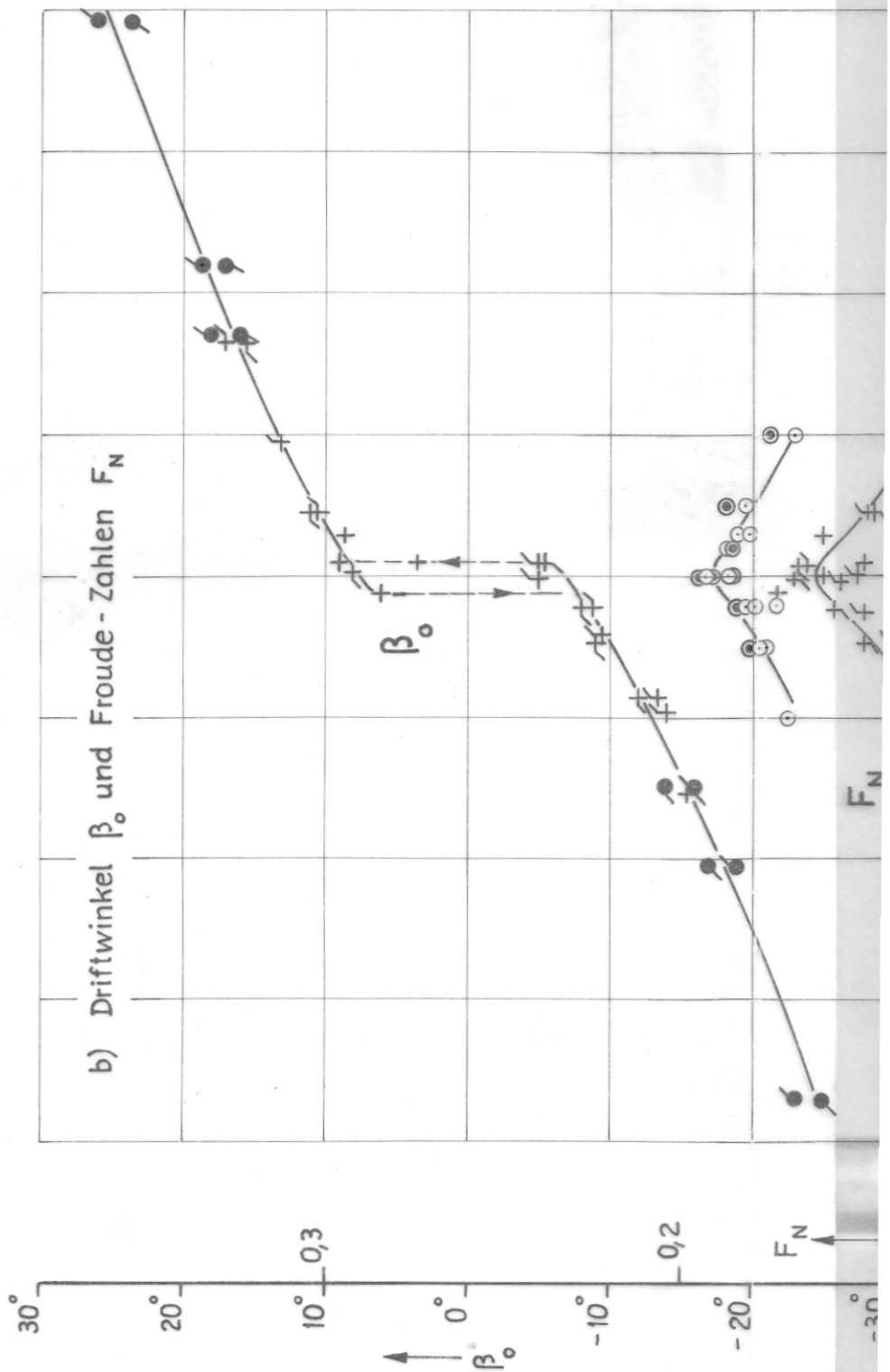
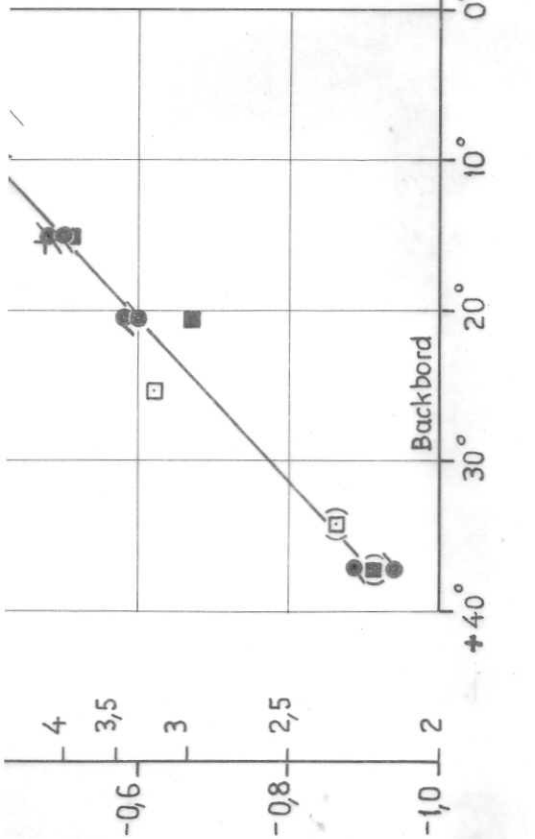
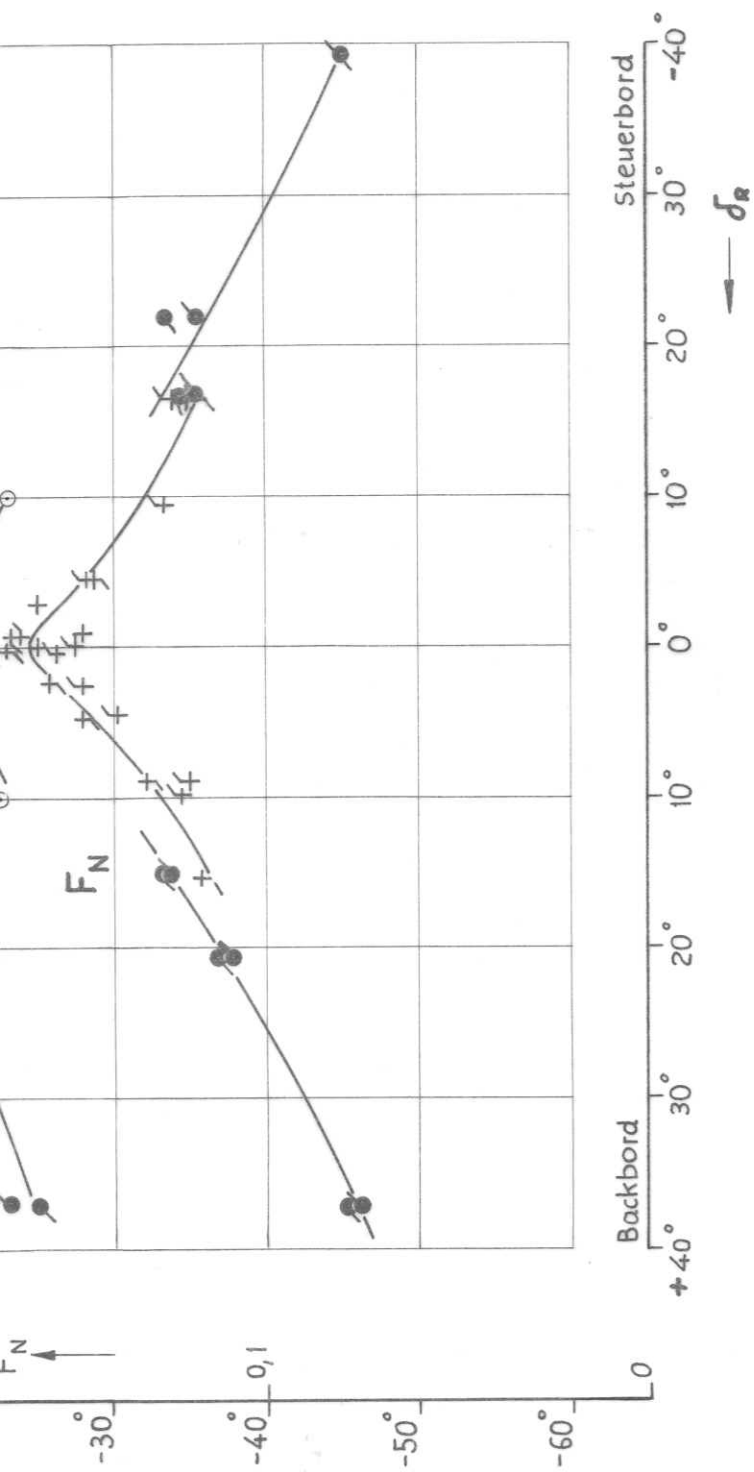


Bild 14



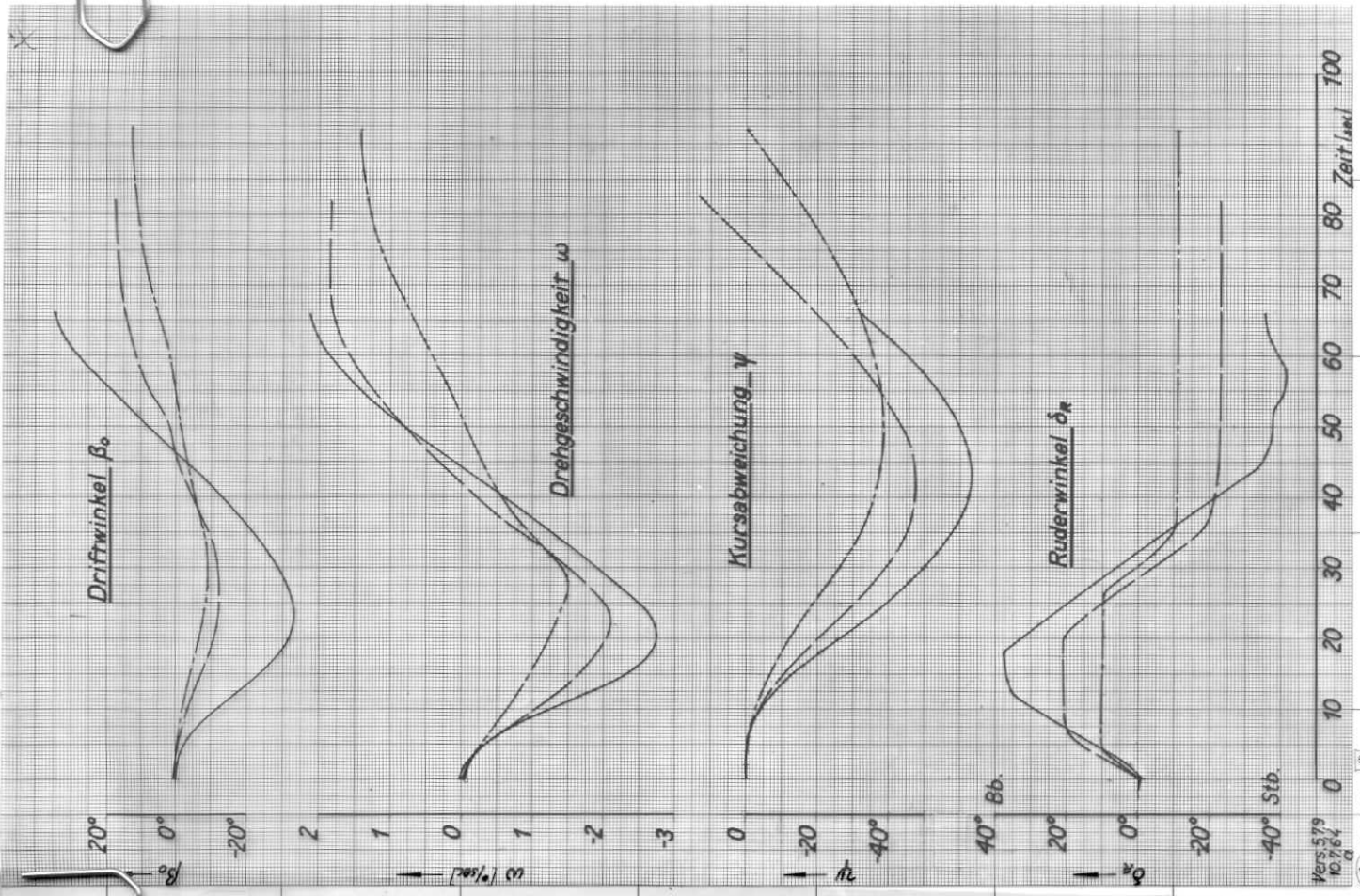


Bild 15b Dreh - Stütz - Versuche Bb./Stb. - Anfahrt gegen Wind (BR.5/6)

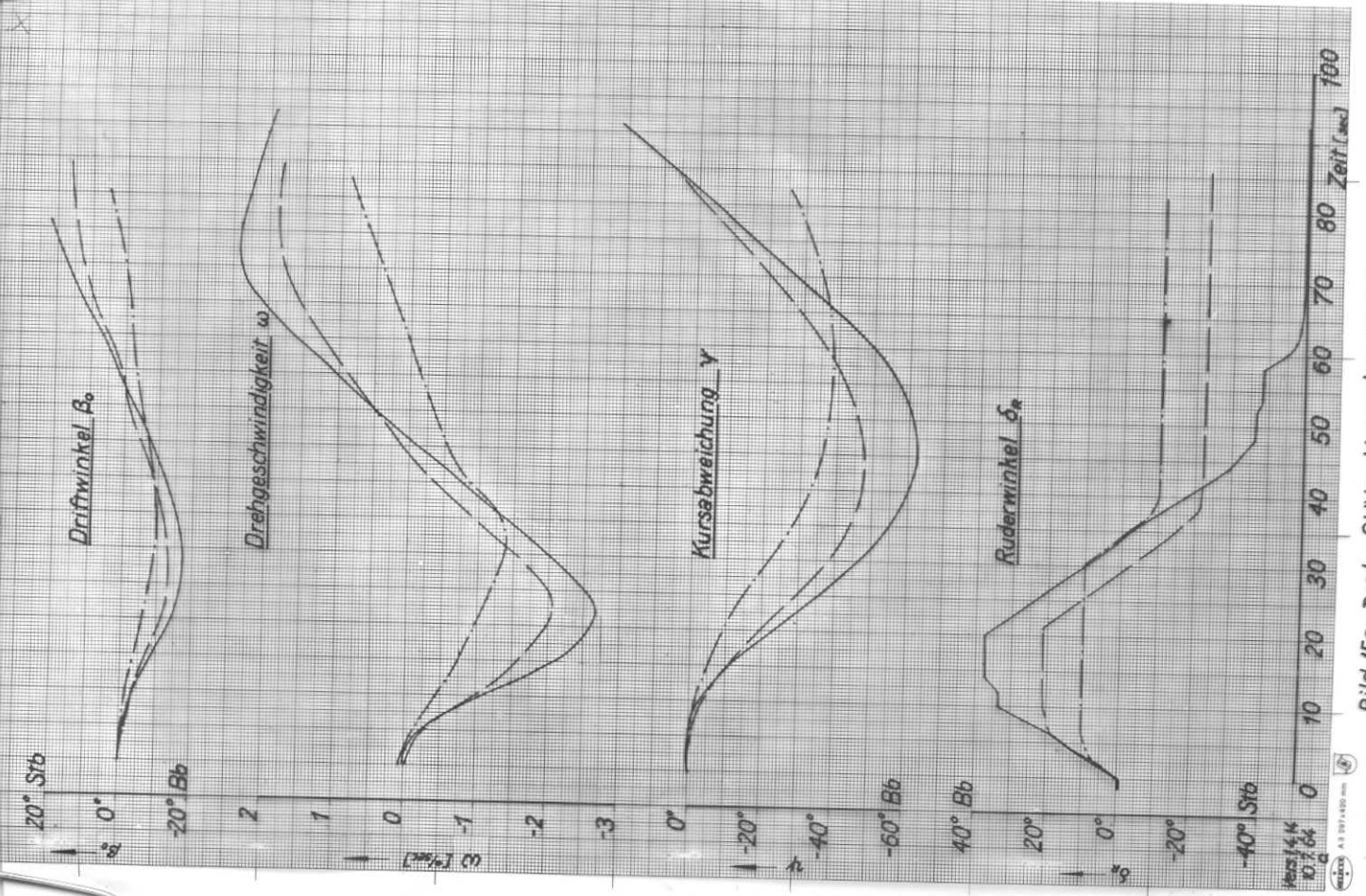


Bild 15a Dreh - Stütz - Versuche Bb./Stb. - Anfahrt mit Wind (BR.5/6)

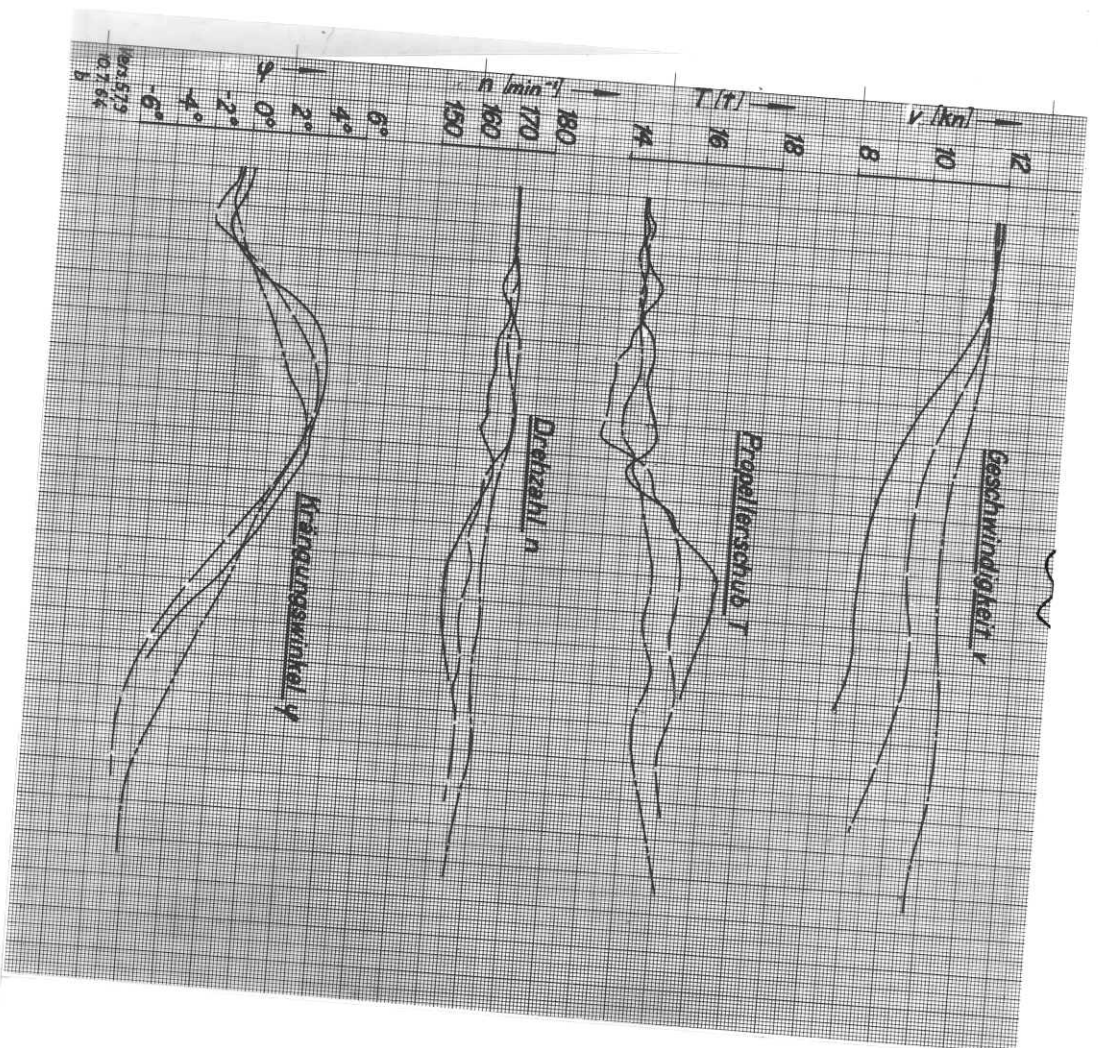
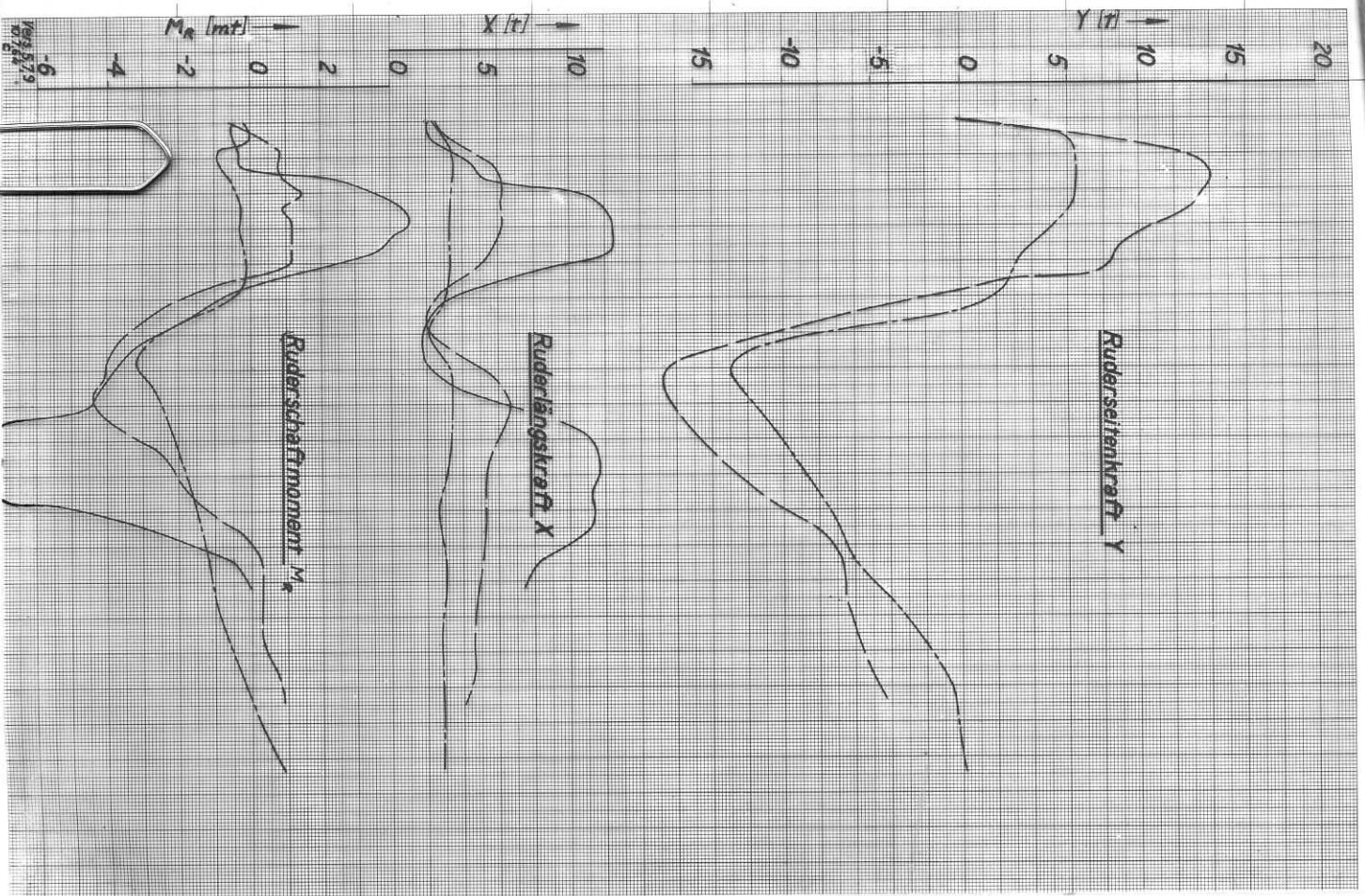
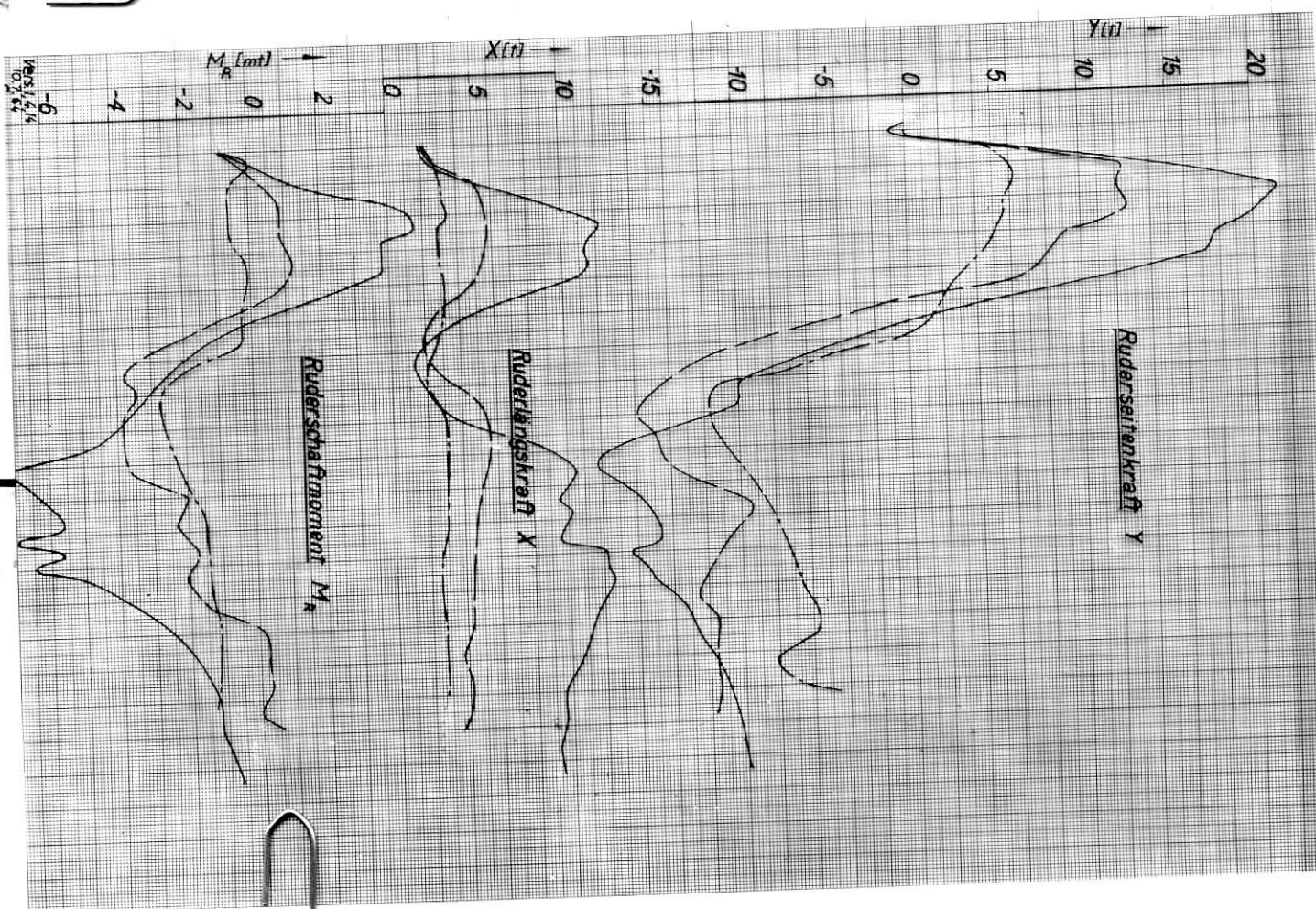
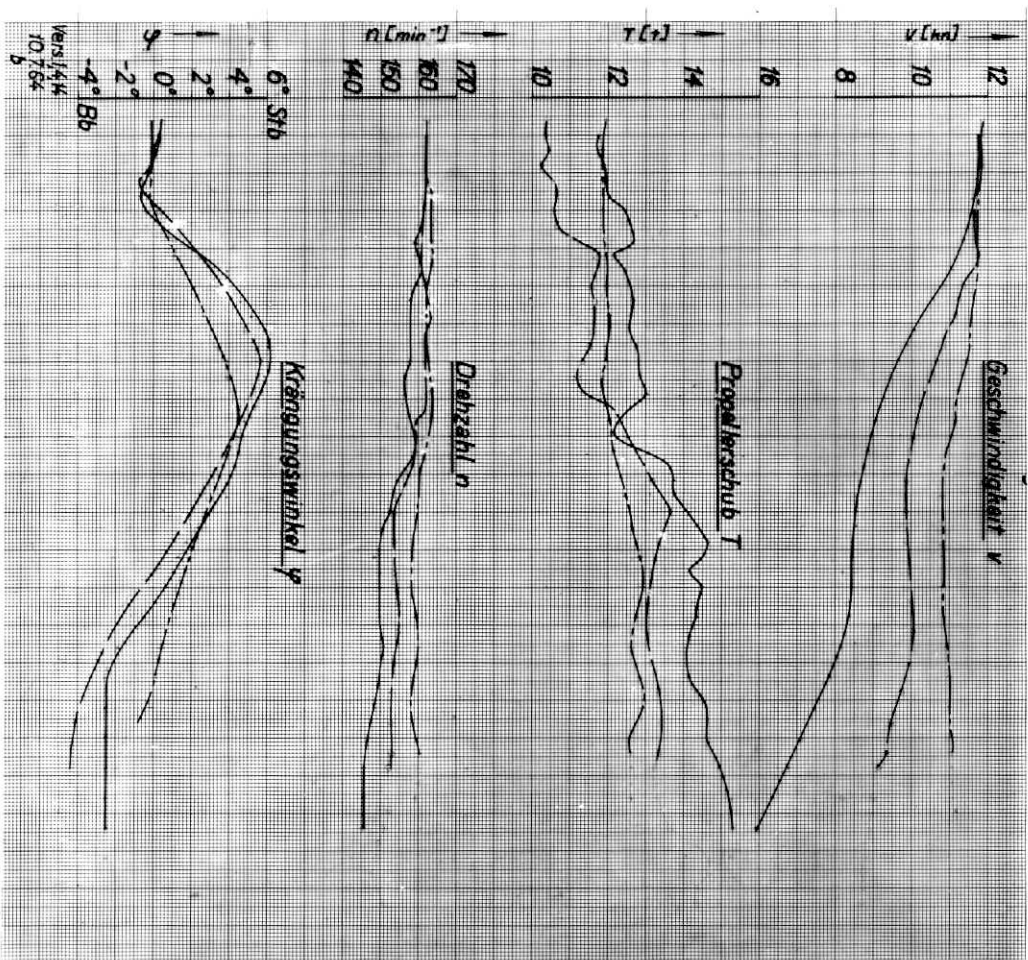


Bild 15



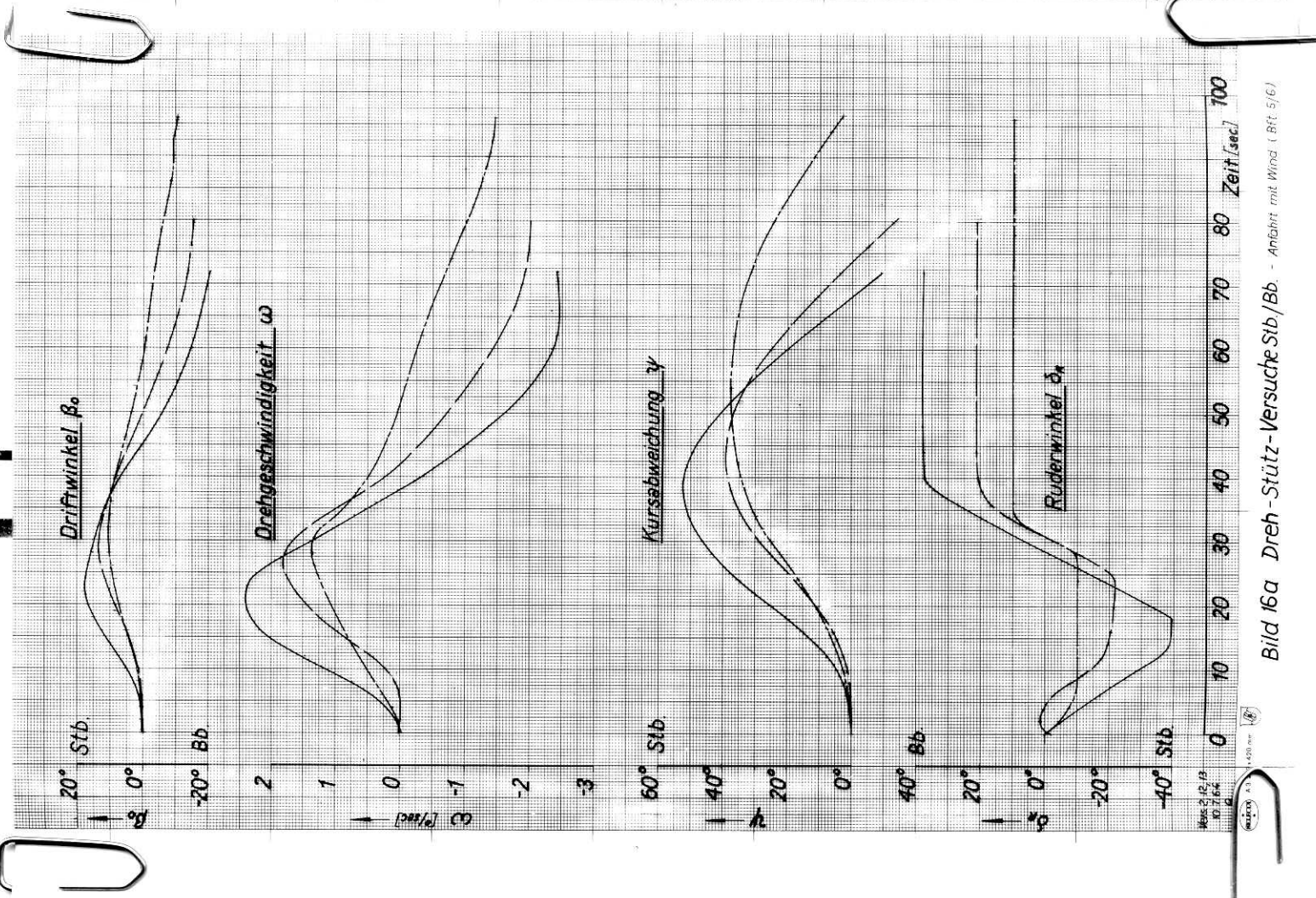


Bild 16a Dreh-Stütz-Versuche Stb/Bb - Anfahrt mit Wind (Bft 5/6)

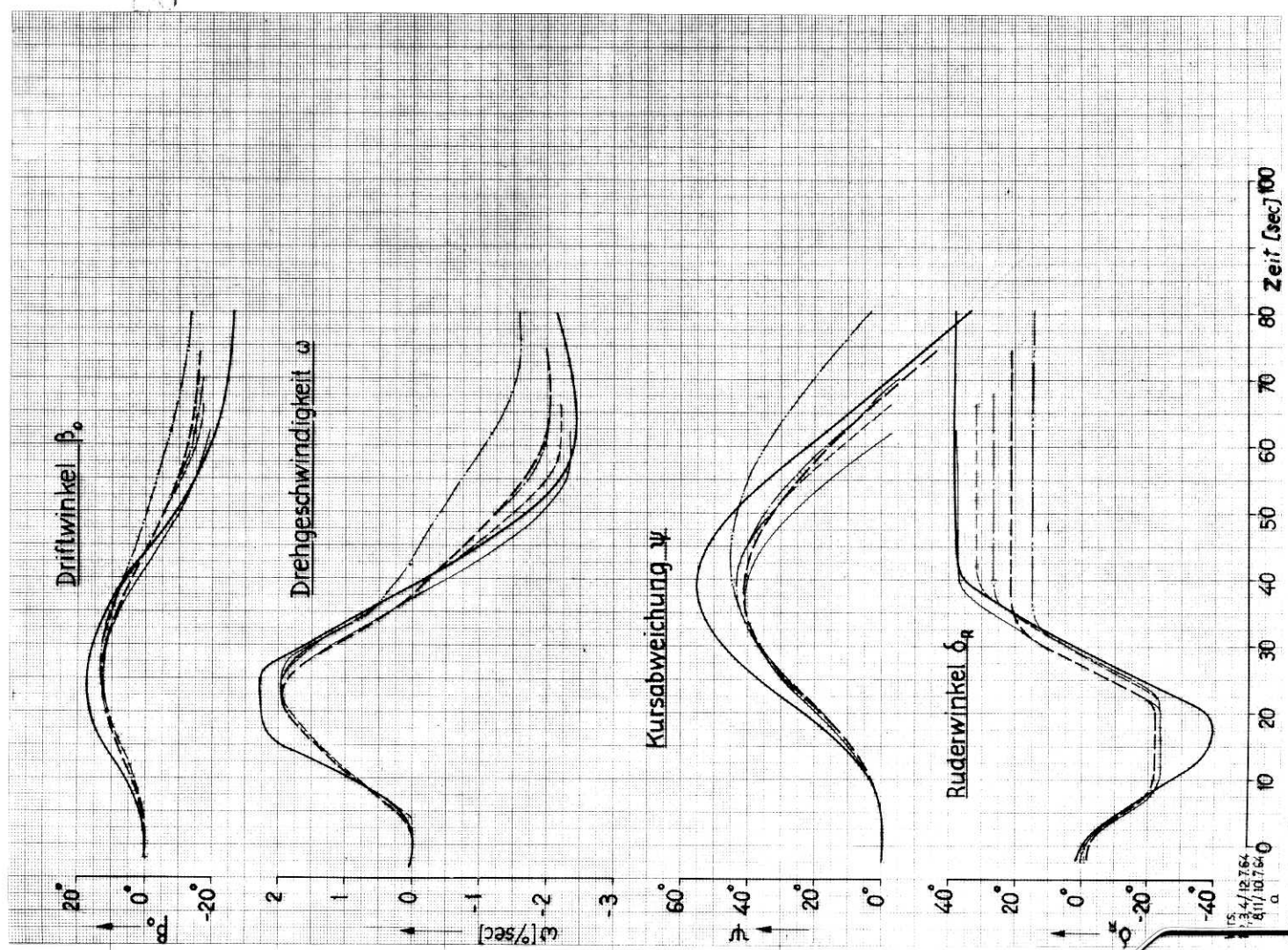


Bild 16b Dreh-Stütz-Versuche Stb/Bb - Anfahrt gegen Wind (Bft 5/6)

Bild 16

Ruderseitenkraft Y

Ruderlängskraft X

Ruderschiffmoment M_R

20

15

10

5

0

-5

-10

-15

10

5

0

2

0

-2

-4

-6

10

5

0

-5

-10

-15

Ruderseitenkraft Y

Ruderlängskraft X

Ruderschiffmoment M_R

20

15

10

5

0

-5

-10

-15

10

5

0

2

0

-2

-4

10

5

0

-5

-10

-15

Vers. 1.2.3.4/12.7.64

8/11/50.7.64

10.7.64

Bild 16

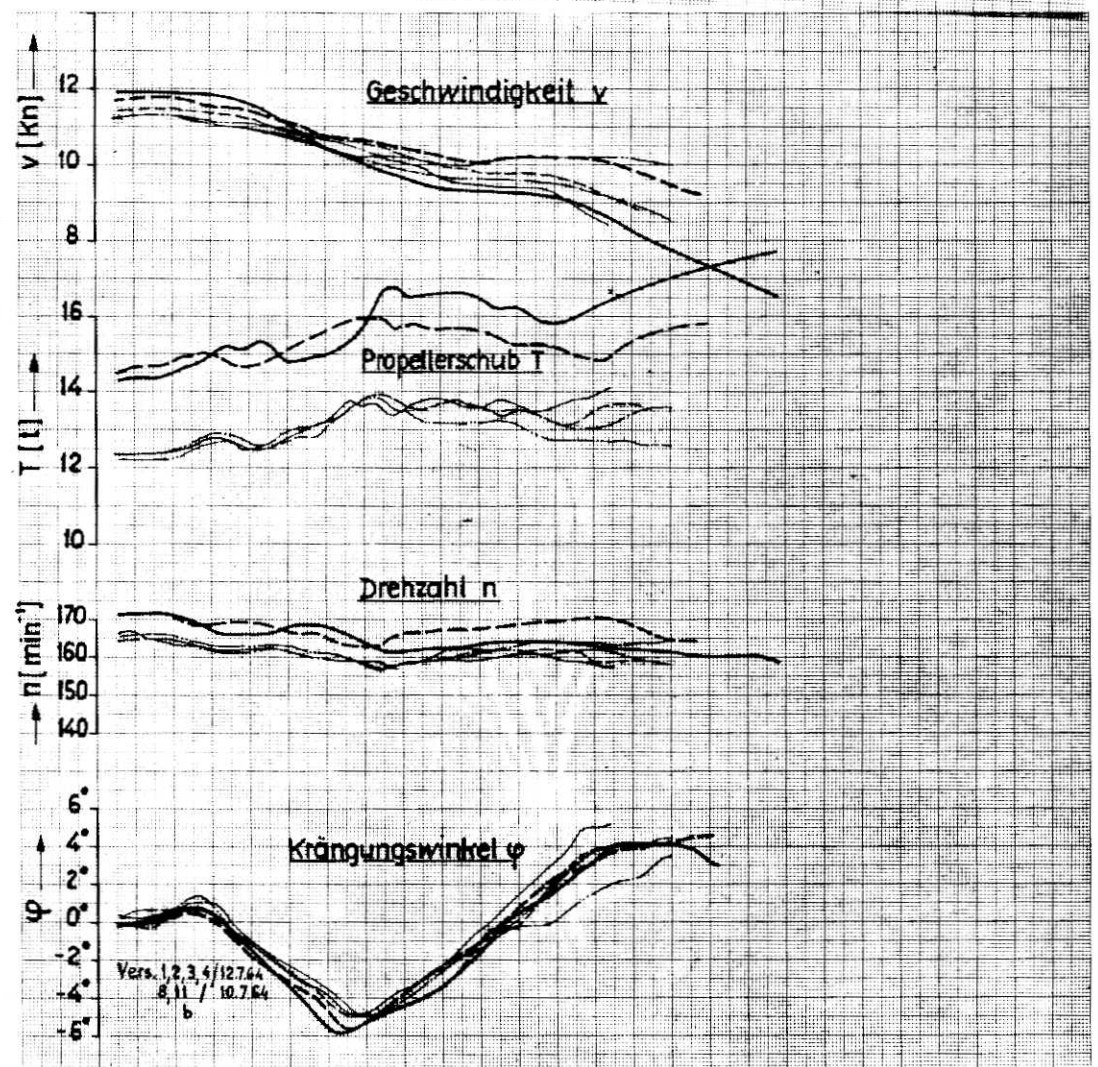
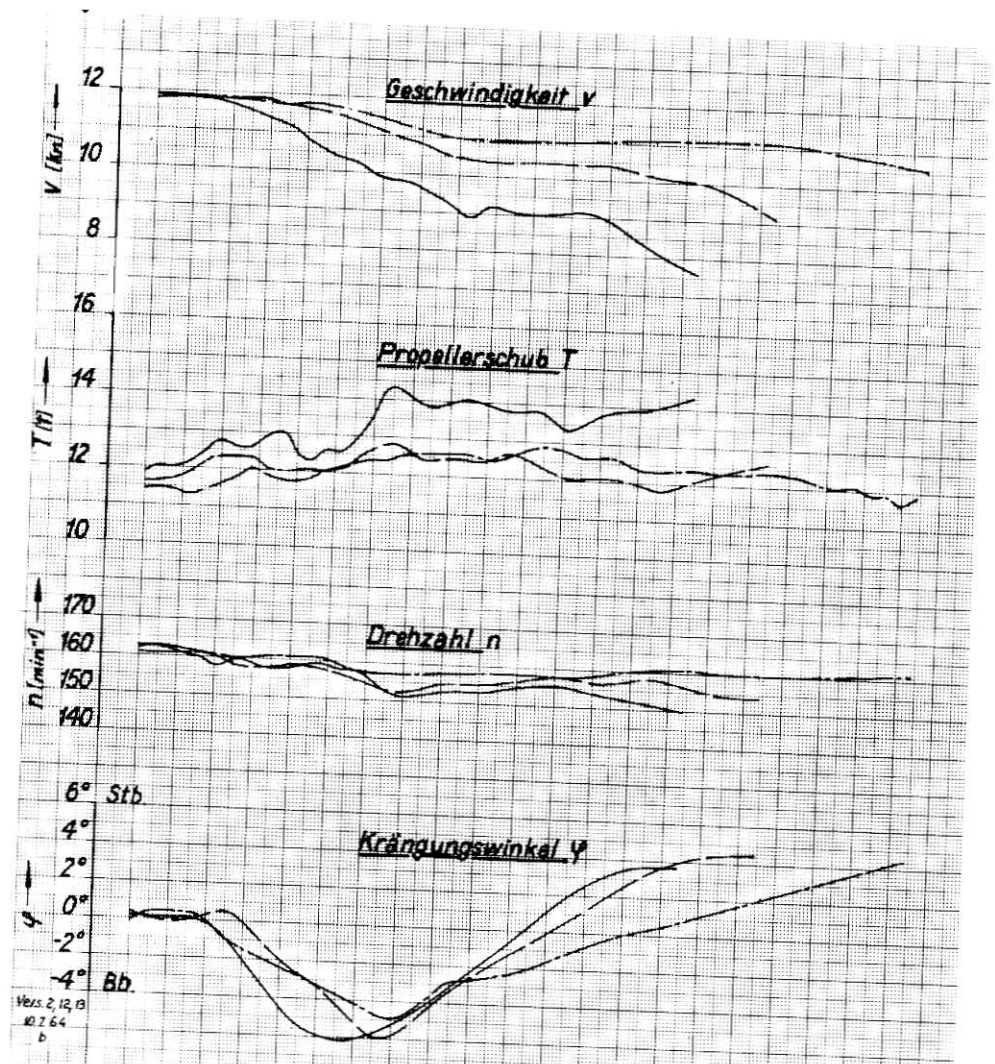


Bild 17 Maximale Ruderkräfte und -momente
gemessen bei Dreh-Stütz-Versuchen

$V_0 \approx 12 \text{ Kn}$; $\psi_{st} \approx 20^\circ$; Wind B. 5/6

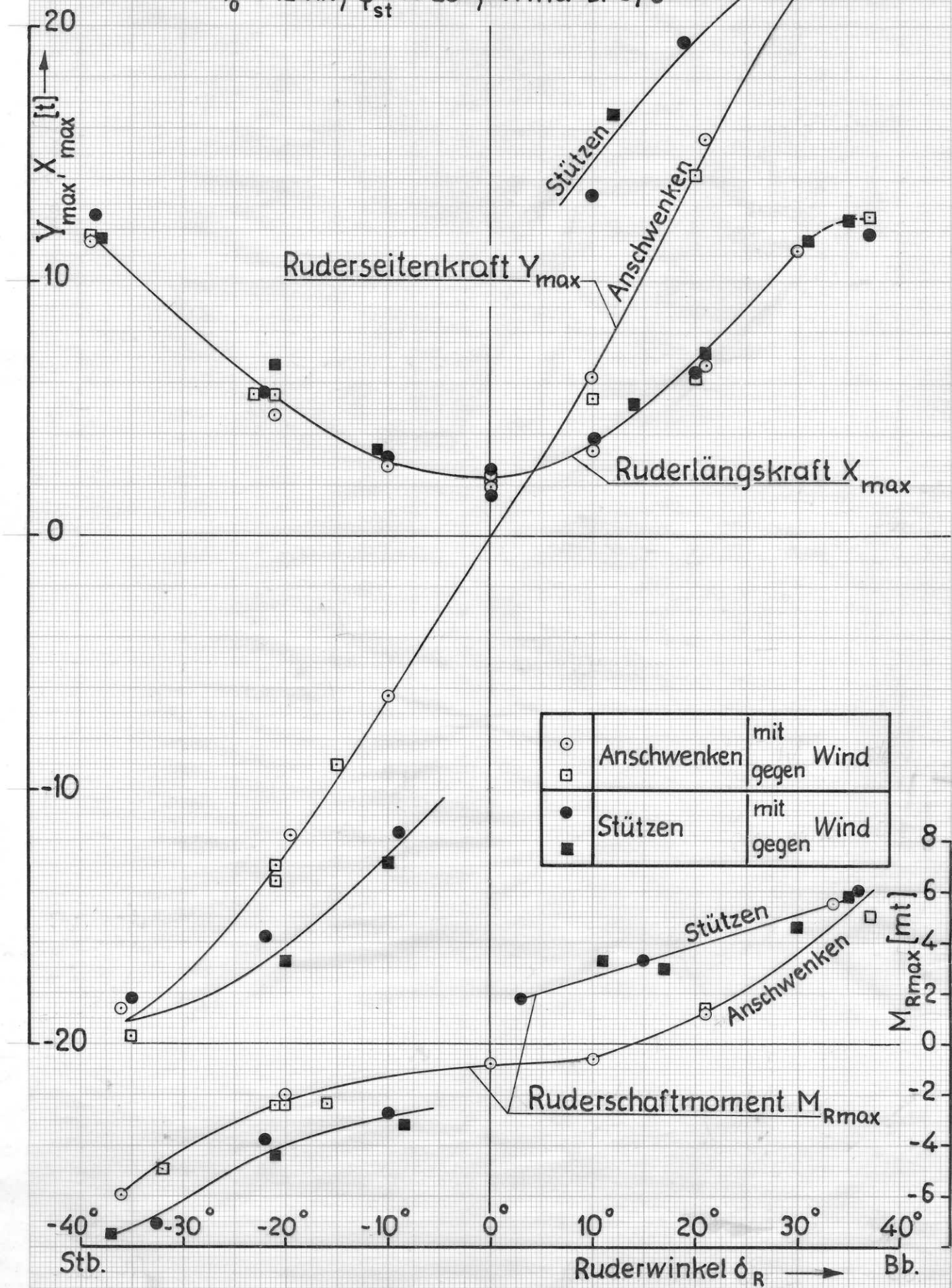
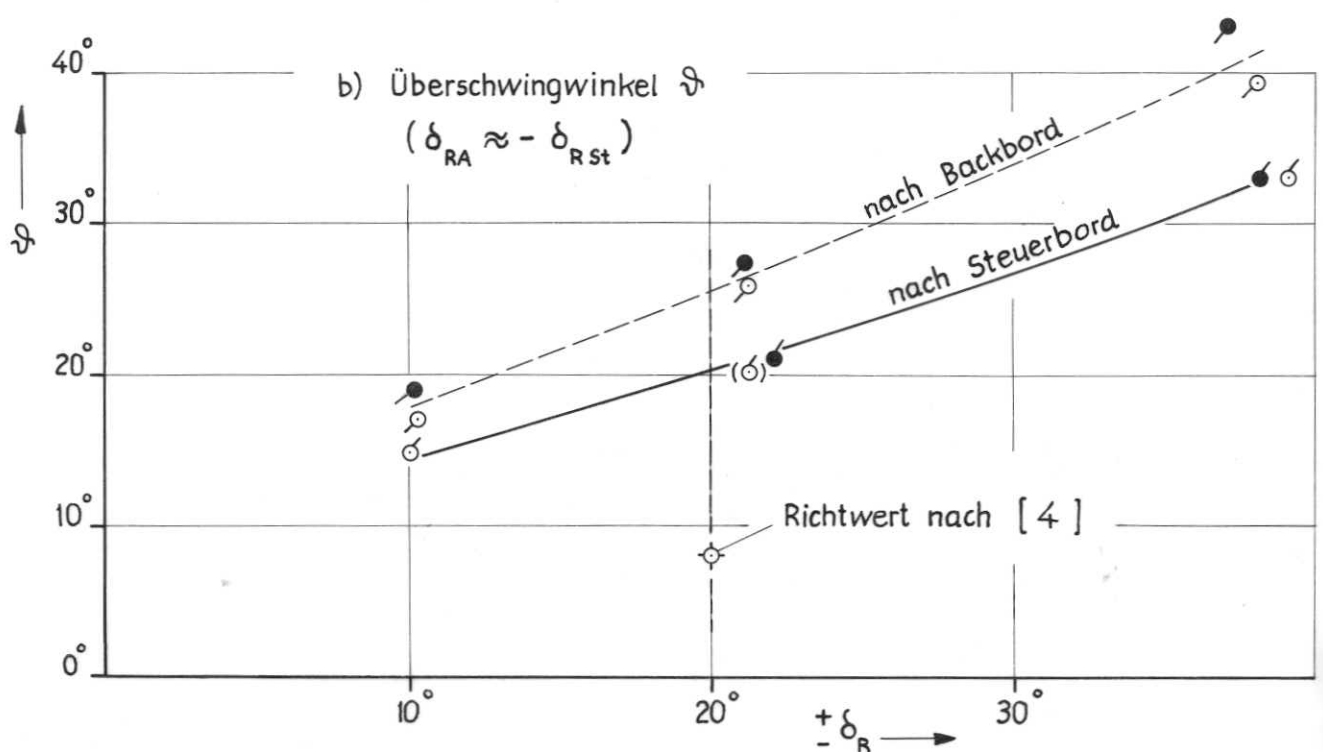
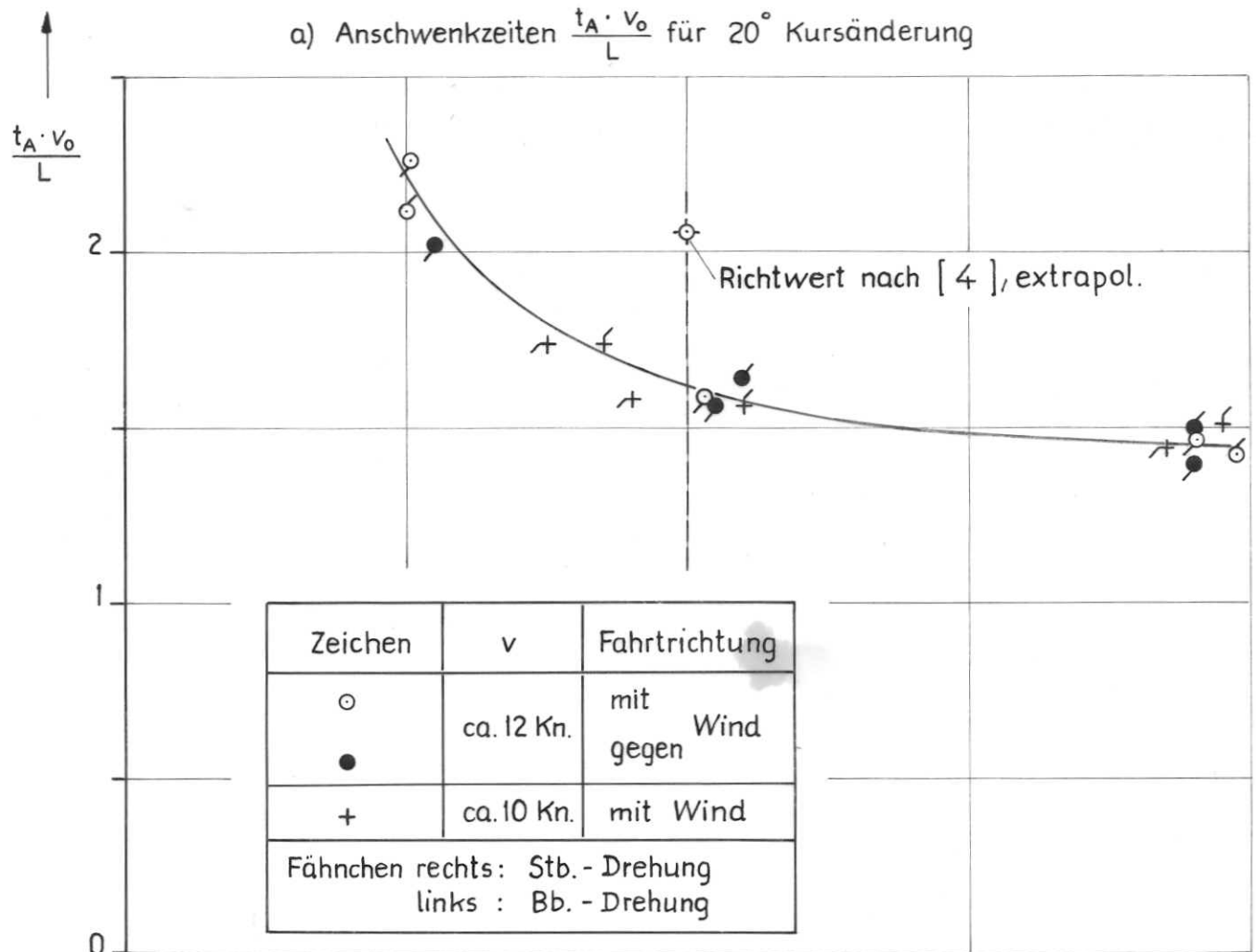
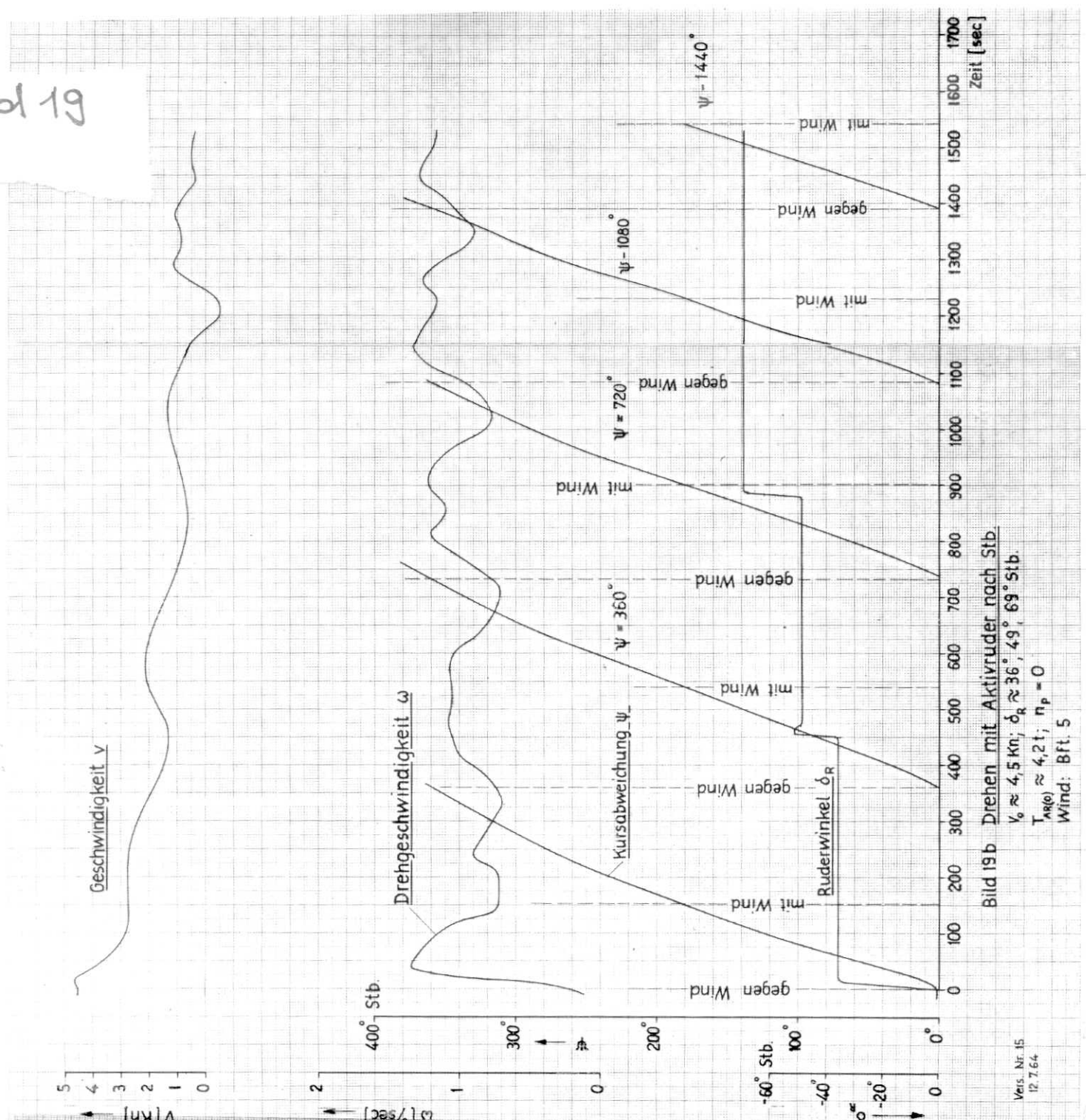
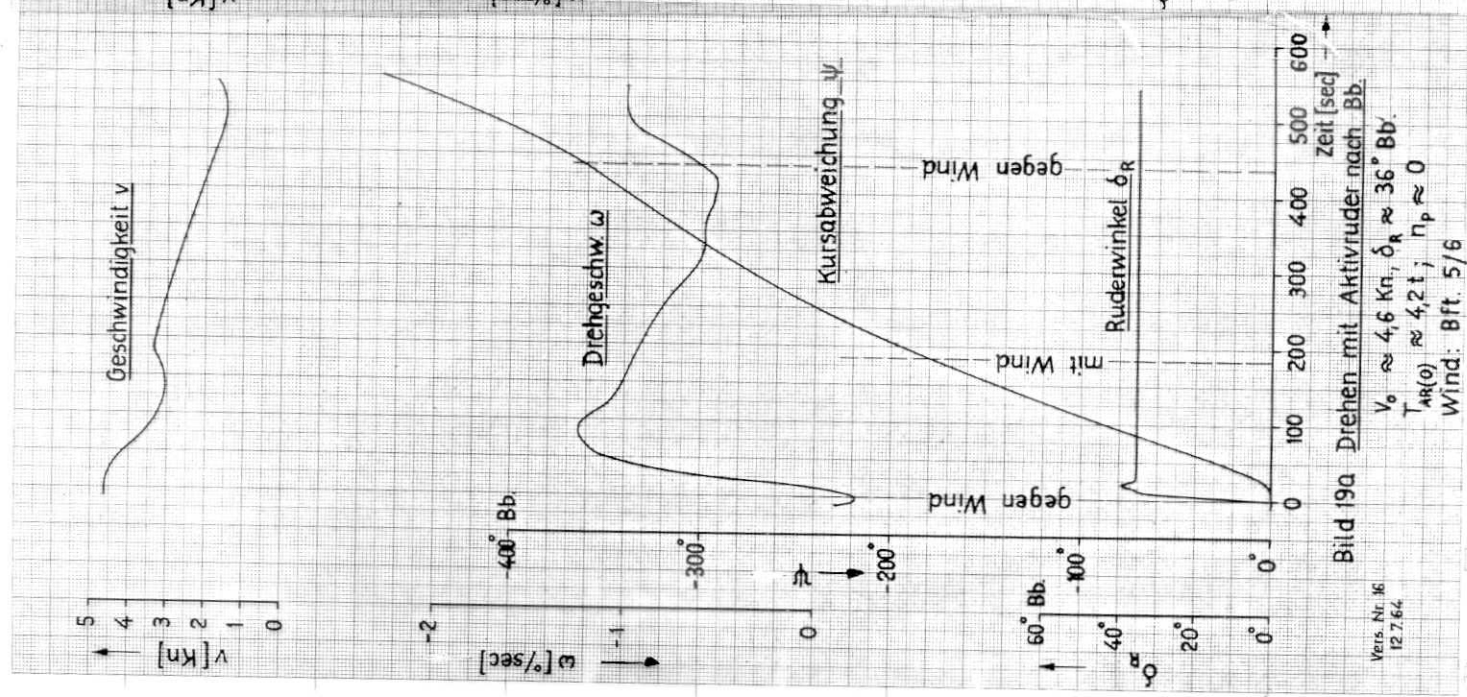
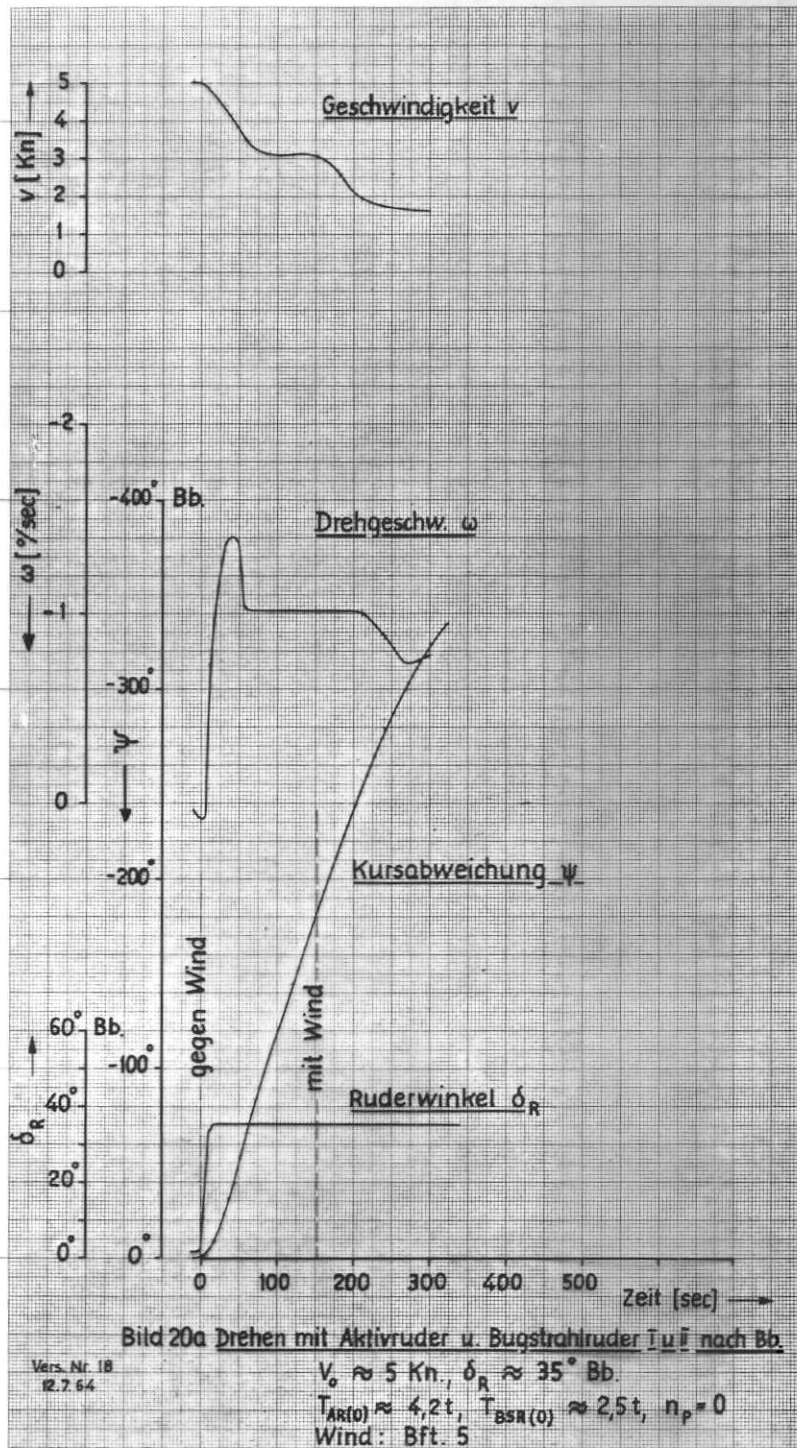


Bild 18 Anschwenkzeiten und Überschwingwinkel

aus Dreh-Stütz-Manövern mit Gegenruderlegen bei 20° Kursabweichung







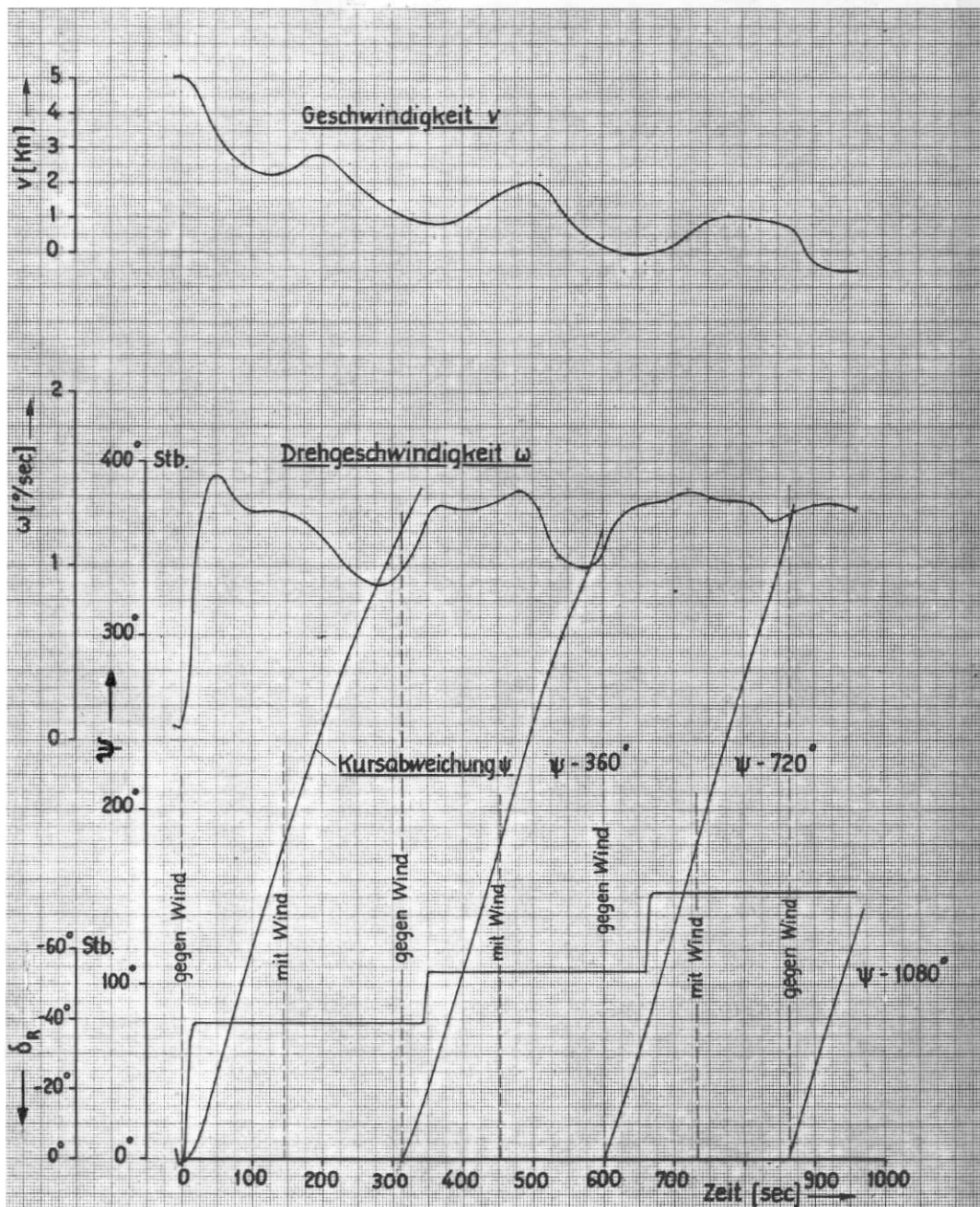


Bild 20b Drehen mit Aktivrudder u. Bugstrahlrudder I u. II nach Stb.

Vers. Nr. 17
12.7.64

$v_0 \approx 5,1 \text{ Kn}$, $\delta_R \approx 39^\circ, 54^\circ, 76^\circ \text{ Stb.}$
 $T_{AR(0)} \approx 4,2 \text{ t}$; $T_{BSR(0)} \approx 2,5 \text{ t}$
 Wind: Bft. 5

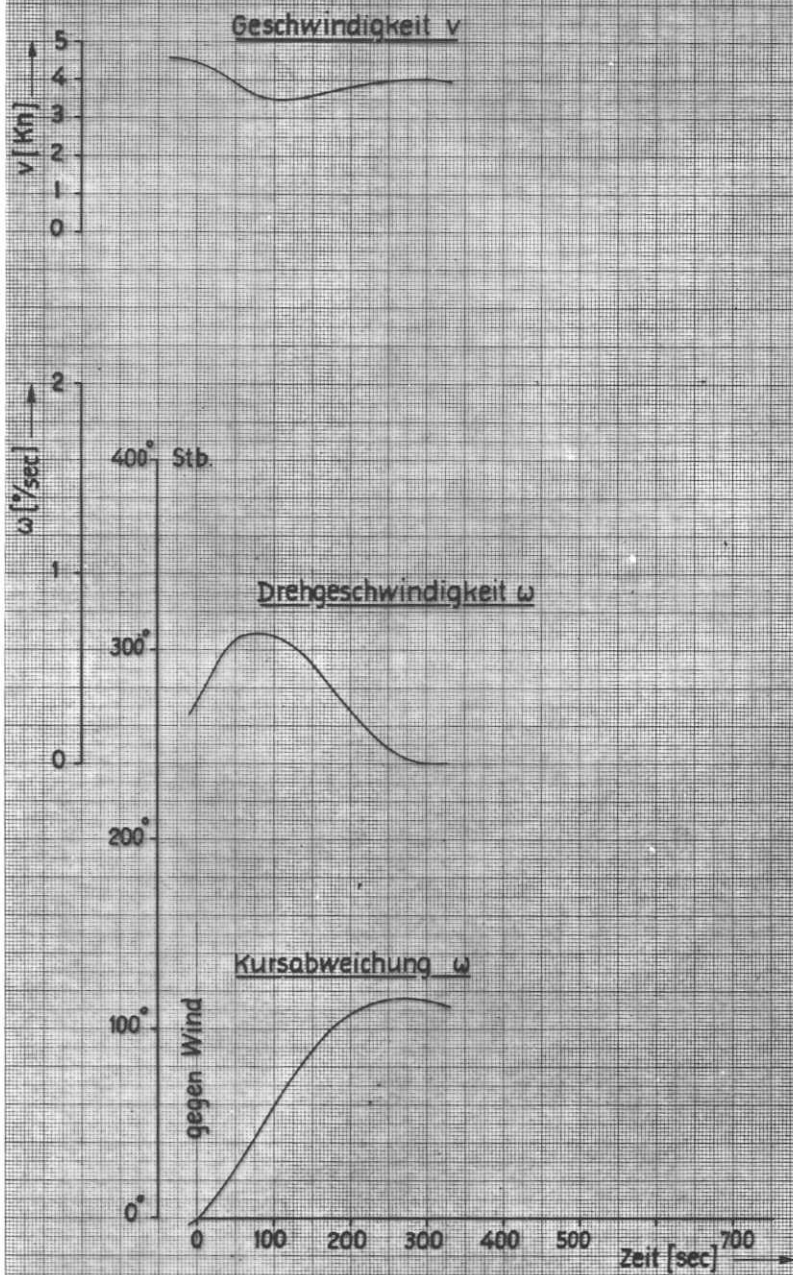


Bild 21 Drehen mit Bugstrahlruder Tu II nach Stb.

Vers. Nr. 19
12.7.64

$v_s \approx 4,6 \text{ Kn}$, $\delta_R = 0^\circ$
 $T_{BSR(0)} \approx 2,5 t$, $n_p = 70 \text{ u/min}$
 Wind: Bft. 5