

409 | Juli 1981

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

P. Oltmann

Untersuchung zum Manövrierverhalten sehr breiter Schiffe

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Untersuchung zum Manövrierverhalten sehr breiter Schiffe

P. Oltmann, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1981

© Technische Universität Hamburg-Harburg
Schriftenreihe Schiffbau
Schwarzenbergstraße 95c
D-21073 Hamburg

<http://www.tuhh.de/vss>

**Untersuchung zum
Manövrierverhalten sehr breiter Schiffe**

P. Oltmann

Juli 1981

Bericht Nr. 409

Institut für Schiffbau der Universität Hamburg

Untersuchung zum
Manövrierverhalten sehr breiter Schiffe

von
P. Oltmann

Juli 1981

Bericht Nr. 409

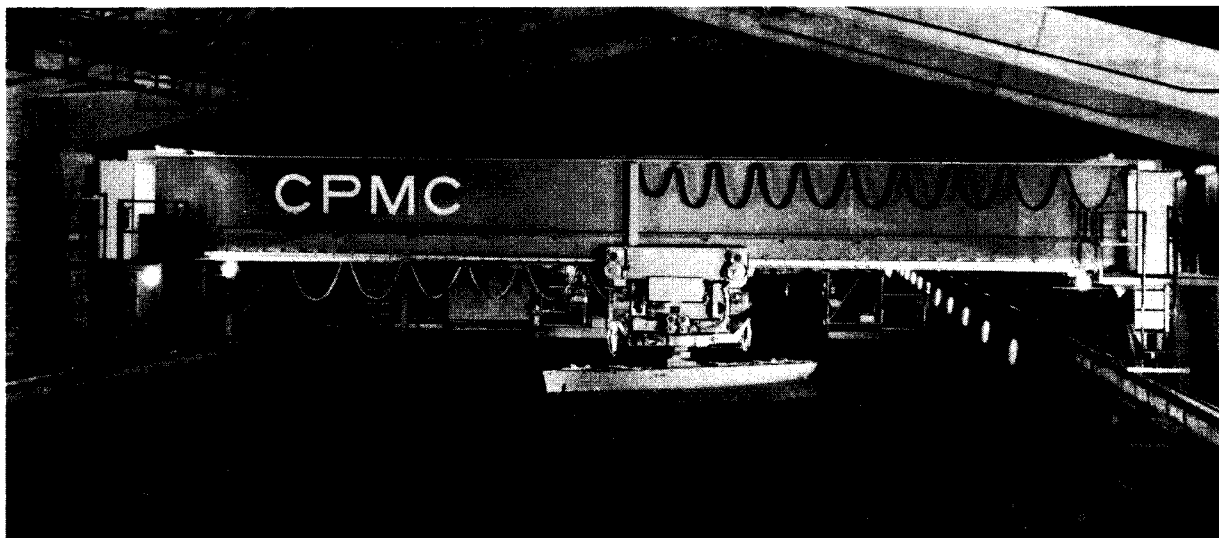
Inhaltsübersicht

	Seite
Verzeichnis der Abbildungen	ii
Zusammenfassung	1
Summary	1
1. Einleitung	2
2. Versuchsdurchführung	3
3. Ergebnisse	10
3.1. Manövrierversuche	10
3.2. Kursstetigkeitsversuche	12
4. Schlußfolgerungen	14
5. Symbolverzeichnis	15
6. Schrifttum	17
Abbildungen Nr. 1 bis 34	

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1	Koordinatensystem
Abb. 2	Definition der charakteristischen Kenngrößen von Z-Manövern
Abb. 3-5	Spantenriß, Bug- und Heckkontur der untersuchten Schiffsmodelle
3	HSVA-Modell Nr. 2578
4	HSVA-Modell Nr. 2743
5	HSVA-Modell Nr. 2816
Abb. 6-11	Beispiele von Versuchsabläufen; $\delta(t)$, $\psi(t)$, $y_o(t)$, $\beta(t)$ und $U/U_o(t)$
	HSVA-Modell Nr. 2578
6	$10^0/10^0$ Z-Manöver
7	$20^0/10^0$ Z-Manöver
	HSVA-Modell Nr. 2743
8	$10^0/10^0$ Z-Manöver
9	$20^0/10^0$ Z-Manöver
	HSVA-Modell Nr. 2816
10	$10^0/10^0$ Z-Manöver
11	$20^0/10^0$ Z-Manöver
Abb. 12-20	Charakteristische Kenngrößen von Z-Manövern in Abhängigkeit vom maximalen Ruderwinkel δ_m
12	Dim.lose Anschwenkzeit τ'_a
13	Dim.lose Stb.-Stützzeit τ'_{b1}
14	Dim.lose Bb.-Stützzeit τ'_{b2}
15	Dim.lose Rückdrehzeit τ'_c
16	Dim.lose Ausweichzeit τ'_r
17	Stb.-Überschwingwinkel α_{01}
18	Bb.-Überschwingwinkel α_{02}
19	Dim.lose maximale Bb.-Drehgeschwindigkeit $\dot{\psi}'_{\min}$
20	Dim.lose maximale Querversetzung $y_o'_{\max}$

Abb. 21-27	Statistischer Vergleich von charakteristischen Manövrierkenngrößen
21	Dim.lose Anschwenkzeit τ'_a
22	Dim.lose Stb.-Stützzeit τ'_{b1}
23	Dim.lose Rückdrehzeit τ'_c
24	Dim.lose Ausweichzeit τ'_r
25	Stb.-Überschwingwinkel α_{01}
26	Bb.-Überschwingwinkel α_{02}
27	Dim.lose maximale Bb.-Drehgeschwindigkeit $\dot{\psi}'_{\min}$
Abb. 28	Rechnerisch ermittelte Spiralkurve für das HSVA-Modell Nr. 2578
Abb. 29-31	Simulierte, modifizierte Z-Manöver für das HSVA-Modell Nr. 2578
29	$15^\circ/1^\circ$ Z-Manöver
30	$10^\circ/1^\circ$ Z-Manöver
31	$5^\circ/1^\circ$ Z-Manöver
Abb. 32-34	Beispiele von Versuchsabläufen für mod. Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_o(t)$ HSVA-Modell Nr. 2743
32	$10^\circ/1^\circ$ Z-Manöver
33	$5^\circ/1^\circ$ Z-Manöver
	HSVA-Modell Nr. 2816
34	$10^\circ/1^\circ$ Z-Manöver



Zusammenfassung

In dem vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der im Rahmen des Teilprojekts D4 des Sonderforschungsbereichs 98 "Schiffstechnik und Schiffbau" durchgeführten Manövrier- und Kursstetigkeitsversuche mit drei überbreiten Schiffsmodellen dokumentiert. Die Versuche wurden mit dem *Computerized Planar Motion Carriage* der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH durchgeführt (Betriebsart B; frei manövrierende Schiffsmodelle). Dabei wurde mit allen drei Modellen jeweils eine Serie von standardmäßigen Z-Manövern ($\psi_s = 10^0$) im Bereich $10^0 \leq \delta_m \leq 35^0$ gefahren. Mit zwei der Modelle wurde zusätzlich noch eine Reihe von modifizierten Z-Manövern ($\psi_s = 1^0$) ausgeführt.

Zu den Ergebnissen ist festzustellen, daß die unkonventionellen breiten Schiffe als Einschrauber ausgesprochen schlechte Manövrier- und Kursstetigkeitseigenschaften aufweisen. Eine merkliche Verbesserung dieser Eigenschaften kann dadurch erfolgen, daß diese Schiffe als Zweischauber mit einer Doppelrudieranlage ausgelegt werden.

Summary

The present paper documents the results of manoeuvring and course-keeping tests with three extremely wide ship models performed on behalf of the subproject D4 within the *Sonderforschungsbereich 98 "Schiffstechnik und Schiffbau"*. The model experiments have been carried out with the *Computerized Planar Motion Carriage* (tracking Mode B) at the Hamburg Ship Model Basin (HSVA). Thereby a series of standardized zigzag manoeuvres ($\psi_s = 10^0$) within the range of $10^0 \leq \delta_m \leq 35^0$ has been run with all three ship models. An additional series of modified zigzag manoeuvres ($\psi_s = 1^0$) has been performed with only two of the ship models.

It has been found that the unconventional wide beam ship models show pronounced poor manoeuvring and coursekeeping qualities, especially when projected as single-screw ships. A perceptible improvement of these qualities can be expected, if such ships are designed as twin-screw vessels with twin rudders.

1. Einleitung

Das Teilprojekt D4 des Projektbereichs D "Mögliche künftige Schiffe und ihre Entwurfsmethodik" im Sonderforschungsbereich 98 hatte die Aufgabe, die hydrodynamischen Eigenschaften von Schiffen mit extremen relativen Breiten ($3.0 < L/B < 4.3$) zu untersuchen. Dabei waren vornehmlich gesicherte Kenntnisse über den Glattwasserwiderstand, die Propulsionseigenschaften, die Bewegungen und den Zusatzwiderstand im Seegang sowie die Manövrierfähigkeit dieser unkonventionellen Schiffe zu erarbeiten. Während die wichtigsten Ergebnisse für die drei erstgenannten Teilgebiete im Abschlußbericht des Projektbereichs D, Grim *et al.* (1981), festgehalten sind, werden in dem vorliegenden Bericht die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zum Manövrier- und Kursstetigkeitsverhalten zusammengefaßt.

Nicht zuletzt aus Kostengründen mußte für die Manövrierversuche unter den vorhandenen Schiffsmodellen des Teilprojekts D4 eine Auswahl getroffen werden. Um zumindest jedoch einige Schiffsmodelle zu haben, die einer vollständigen Untersuchung, unter Berücksichtigung aller oben erwähnten hydrodynamischen Aspekte, unterzogen wurden, wurden die drei Schiffsmodelle ausgewählt, mit denen auch Seegangsversuche durchgeführt worden waren. Es handelte sich dabei um Modelle mit einem mittleren Längen-Breiten-Verhältnis von $L/B = 3.58$, aber von unterschiedlicher Völligkeit. Ein weiterer Unterschied ist darin zu sehen, daß zwei der Modelle als Einschrauber entworfen wurden, während es sich bei dem dritten um einen Zweischrauber handelte, s.a. Abschnitt 2.

In Anbetracht der Tatsache, daß im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 98 eine neuartige Versuchseinrichtung für Manövrieruntersuchungen, der *Computerized Planar Motion Carriage* (CPMC), realisiert wurde (Teilprojekt A2), bot sich eine Verwendung dieses Gerätes an. Es wurden mit allen drei Schiffsmodellen Versuche in der Betriebsart B des CPMC durchgeführt; d.h., die Schiffsmodelle manövierten jeweils frei und die notwendige Bahnvermessung erfolgte durch den CPMC. Kraftmessungen (Betriebsart A des CPMC) zur Bestimmung definierter Abhängigkeiten von einzelnen Bewegungskomponenten wurden, obgleich wünschenswert, im vorliegenden Falle nicht vorgenommen.

2. Versuchsdurchführung

Wie in der Einleitung bereits ausgeführt, wurden - nicht zuletzt aus Kostengründen - aus der insgesamt sieben Schiffsmodelle umfassenden Modellserie des Teilprojekts D4 für die notwendigen Manövrierveruntersuchungen lediglich drei Schiffsmodelle, HSVA-Modelle Nr. 2578-0012, 2743-0033 und 2816-0022, herangezogen. Es handelte sich dabei um Modelle mit einem mittleren, jeweils gleichen Längen-Breiten-Verhältnis von $L/B = 3.58$, deren Schärfe-grad C_p jedoch unterschiedlich war. Ein weiterer Unterschied ist darin zu sehen, daß das völligste Schiffsmodell dieser verkleinerten Modellserie ($C_p = 0.768$) als Zweischrauber mit einer Doppelruderanlage entworfen worden war, während die beiden anderen Schiffsmodelle als Einschrauber mit einem herkömmlichen Mittelruder ausgelegt worden waren. Die Hauptabmessungen der verwendeten Schiffsmodelle (einschließlich der wichtigsten Propeller- und Ruderabmessungen) wurden in den Tabellen 1 bis 3 zusammengefaßt. Die zugehörigen Spantenrisse sowie eine Seitenansicht einschließlich der Ruderanordnung geben die Abb. 3 bis 5 wieder.

Zur Beurteilung der Manövriereigenschaften von überbreiten Schiffen wurde mit den drei ausgewählten Schiffsmodellen jeweils eine Serie von standardmäßigen Z-Manövern mit einem Kursabfall von $\psi_s = 10.0^\circ$ bei Geschwindigkeiten entsprechend den Froude-Zahlen von $F_n = 0.10$ (Modelle Nr. 2743 und 2816) sowie $F_n = 0.15$ (Modelle Nr. 2578 und 2743) im großen Schlepptank der HSVA durchgeführt. Die Ermittlung der Kursstetigkeitseigenschaften der Schiffsmodelle erfolgte im wesentlichen über modifizierte Z-Manöver mit einem verringerten Kursabfall von $\psi_s = 1.0^\circ$ ($15^\circ/1^\circ$, $10^\circ/1^\circ$ und $5^\circ/1^\circ$ Z).

Zur Verdeutlichung der durchgeführten Versuche wird im folgenden eine kurze Beschreibung des Z-Manövers vorgenommen, das als Standardmanövrierversuch eingeführt ist und von Kempf und Krämer bereits in den dreißiger Jahren initiiert wurde. Bei den Z-Manövern wird das Schiffsmodell zunächst auf einen geraden Kurs eingesteuert. Hat es eine kurze, gerade Anfahrstrecke zurückgelegt, wird das Ruder auf den Ruderwinkel $-\delta_m$ (Stb.) gelegt, bis das Schiffsmodell um den Winkel ψ_s vom geraden Ausgangskurs nach Steuerbord abgewichen ist. Zu diesem Zeitpunkt wird das Ruder auf den gleichen Ruderwinkel nach Backbord gelegt. Das Schiffsmodell schwingt zunächst mit abnehmender Drehgeschwindigkeit bis zum Stillstand der Drehbewegung weiter. Ist es vom Aus-

Tabelle 1

Hauptabmessungen HSVA-Modell Nr. 2578-0012

Modellmaßstab 1 : 50

Länge in der Wasserlinie	5.730	m
Breite	1.600	m
Tiefgang	0.400	m
Verdrängung	2.802	m ³
Gewichtsschwerpunkt, hinter VL	2.756	m
Blockkoeffizient	0.764	
Schärfegrad	0.768	
HSVA-Stockpropeller Nr. 507/1091		
(nach außen drehend)		
Durchmesser	0.191	m
Steigungsverhältnis	0.886	
Flächenverhältnis	0.500	
Flügelzahl	4	
Mittlere Ruderhöhe	0.291	m
Mittlere Ruderlänge	0.188	m
Bewegliche Ruderfläche	2 × 0.0391	m ²
bezogen auf $L \times T$	3.41	%
Balancefläche	0.0088	m ²
bezogen auf die Ruderfläche	22.37	%
Seitenverhältnis, geometrisch	1.55	

gangskurs um den Winkel ψ_s nach Backbord abgewichen, wird das Ruder wieder auf den Winkel $-\delta_m$ (Stb.) gelegt. Der geschilderte Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden. Bei einem Z-Manöver durchfährt das Schiffsmodell einen sinusähnlichen Schlängelkurs, dessen definierte Gierphasen eine zahlenmäßige Erfassung des Manövrierverhaltens eines Schiffes ermöglichen. Ein Schema des beschriebenen Kursschwingungsvorgangs einschließlich einer Definition der wichtigsten, das Manövrierverhalten kennzeichnenden Phasen ist in Abb. 2 wiedergegeben. Als Anmerkung ist hinzuzufügen, daß gemäß den internationalen Fahrt- und Ausweichregeln Ausweichmanöver überwiegend nach

Tabelle 2

Hauptabmessungen HSVA-Modell Nr. 2743-0033

Modellmaßstab 1 : 30

Länge in der Wasserlinie	5.730	m
Breite	1.600	m
Tiefgang	0.400	m
Verdrängung	2.104	m ³
Gewichtsschwerpunkt, hinter VL	2.935	m
Blockkoeffizient	0.574	
Schärfegrad	0.600	
HSVA-Stockpropeller Nr. 1502 R (rechtsdrehend)		
Durchmesser	0.274	m
Steigungsverhältnis	0.937	
Flächenverhältnis	0.630	
Flügelzahl	4	
Mittlere Ruderhöhe	0.378	m
Mittlere Ruderlänge	0.200	m
Bewegliche Ruderfläche	0.0635	m ²
bezogen auf $L \times T$	2.77	%
Balancefläche	0.0105	m ²
bezogen auf die Ruderfläche	16.54	%
Seitenverhältnis, geometrisch	1.89	

Steuerbord ausgeführt werden. Aus diesem Grunde beginnt das Z-Manöver stets mit einer Steuerbord-Ruderlage.

Die Ruderlegegeschwindigkeit wurde für die Versuche jeweils so eingestellt, daß für die zugegebenermaßen fiktiven Großausführungen eine Zeit von 28 s eingehalten wurde, um das Ruder von 35° auf der einen Seite auf 30° auf der anderen Seite ($\Delta\delta = 65^\circ$) zu legen. Dies entspricht der üblichen Norm der Klassifikationsgesellschaften.

Tabelle 3

Hauptabmessungen HSVA-Modell Nr. 2816-0022

Modellmaßstab 1 : 30

Länge in der Wasserlinie	5.730	m
Breite	1.600	m
Tiefgang	0.400	m
Verdrängung	2.529	m ³
Gewichtsschwerpunkt, hinter VL	2.819	m
Blockkoeffizient	0.690	
Schärfegrad	0.715	
HSVA-Stockpropeller Nr. 1502 R (rechtsdrehend)		
Durchmesser	0.274	m
Steigungsverhältnis	0.937	
Flächenverhältnis	0.630	
Flügelzahl	4	
Mittlere Ruderhöhe	0.378	m
Mittlere Ruderlänge	0.200	m
Bewegliche Ruderfläche	0.0635	m ²
bezogen auf $L \times T$	2.77	%
Balancefläche	0.0105	m ²
bezogen auf die Ruderfläche	16.54	%
Seitenverhältnis, geometrisch	1.89	

Die angeführten Z-Manöver wurden unter Verwendung des im Sonderforschungsbereich 98 (Teilprojekt A2) konzipierten und realisierten CPMC der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH (HSVA) durchgeführt. Bei dem CPMC handelt es sich um eine neuartige Versuchseinrichtung, die die Ansprüche auf eine umfassende und gründliche Bestimmung der Manövrier- und Kursstetigkeitseigenschaften eines Schiffsmodells in einer Weise erfüllt, wie es mit bekannten herkömmlichen Versuchstechniken nicht möglich ist. Eine Kurzbeschreibung der Anlage soll dies im folgenden unterstreichen.

Der CPMC, der im Bedarfsfall an den großen Schleppwagen der HSVA angekoppelt wird, besteht aus einem über 18 m langen quadratischen, geschlossenen Kastenträger mit einer Seitenlänge von 2 m und einer Wanddicke von 10 mm. Aufgrund der bewußt sehr steif ausgeführten Konstruktion ergibt sich eine niedrigste Eigenfrequenz von etwa 7 Hz. Die Ankopplung an den Schleppwagen erfolgt durch zwei seitlich angebrachte, in Längsrichtung starre Kuppelstangen. Unter dem Kastenträger sind die drei unabhängigen CPMC-Antriebe angeordnet. Für den y_0 -Wagen sind an den beiden unteren Kanten des Kastenträgers zwei über die ganze Tankbreite gehende Schienen befestigt, die an ihrer Unterseite jeweils mit einer Zahnstange verschraubt sind. Der y_0 -Wagen hängt auf jeder Schiene mit zwei Laufrädern und wird mit jeweils zwei Führungsrädern seitlich geführt. Angetrieben wird er über vier Antriebsritzel, die in die Zahnstangen eingreifen und die gleichzeitig als Abhebesicherung dienen. Seitlich wird der Fahrbereich jeweils durch hydraulische Stoßdämpfer begrenzt. Auf einer gleichartigen Schienenanlage an der Unterseite des y_0 -Wagens läuft der Δx_0 -Wagen. Der ψ -Antrieb, der als Drehtisch ausgebildet ist, hängt wiederum unter dem Δx_0 -Wagen und ist über eine Hubplattform in der Höhe elektrisch verstellbar. Die Hauptabmessungen und die dynamischen Eigenschaften des CPMC wurden im übrigen so gewählt, daß im Rahmen der vorgegebenen Tankabmessungen in der HSVA jede beliebige realistische, horizontale Bewegung eines Handelsschiffes im entsprechenden Modellmaßstab erzeugt werden kann.

Der CPMC verfügt über verschiedene einzigartige Fähigkeiten, die ihn anderen existierenden Versuchseinrichtungen weit überlegen machen. Dazu gehört unter anderem die Möglichkeit, mit Hilfe der drei beschriebenen unabhängigen Antriebe - zusammen mit dem Antrieb des großen Schleppwagens - jede gewünschte periodische oder auch aperiodische horizontale Bewegung eines gefesselten Schiffsmodells in drei Freiheitsgraden zu erzeugen (Betriebsart A). Die Anlage ist des weiteren nicht nur für die Untersuchung gefesselter Schiffsmodelle geeignet, sondern erlaubt auch die exakte Erfassung der Bahnkoordinaten eines frei manövrierenden Schiffsmodells (Betriebsart B).

In der Betriebsart A wird das Schiffsmodell fest unter dem CPMC angekoppelt und kann lediglich frei trimmen und tauchen. Der gesamte Bewegungsablauf wird per Programm von einem Prozeßrechner vorgegeben, während die am Schiffsmodell auftretenden Kräfte und Momente kontinuierlich gemessen werden.

Eine Kraftmeßwaage übernimmt dabei sowohl die Kraftmessung als auch die Verbindung des Schiffsmodells mit dem CPMC. Die einzelnen Kraftkomponenten werden mit Kraftmeßdosen über Trägerfrequenzverstärker und Analog-Digital-Wandler vom Prozeßrechner erfaßt.

In Betriebsart B, die für die vorliegenden Versuche relevant ist, folgt der CPMC einem frei manövrierenden Schiffsmodell automatisch nach und ermittelt dabei seine genaue Bewegung, die sich aus dem Weg der Meßplattform (CPMC) relativ zum Schlepptank und dem Weg des Schiffsmodells relativ zur Meßplattform zusammensetzt. Die für die Nachführung der einzelnen Antriebe und die Bahnvermessung notwendige Ermittlung der auftretenden Differenzwege sowie die Drehung des Schiffsmodells wird mit Hilfe einer Sechskomponenten-Wegmeßvorrichtung durchgeführt, die zwischen dem Schiffsmodell und der ψ -Plattform des CPMC eingebaut ist. Es wird dadurch eine Messung der Modellbewegungen in allen sechs Freiheitsgraden ermöglicht. Im vorliegenden Falle wurde allerdings aus Kapazitätsgründen auf eine Messung der Tauchung z_0 sowie des Stampfwinkels θ und des Rollwinkels ϕ verzichtet. Die Wegmeßvorrichtung ist besonders leicht konstruiert und besteht im wesentlichen aus einem senkrechten Teleskoprohr, das über ein Kardangelenk im Schiffsmodell befestigt ist. Am oberen Ende des Teleskoprohres befinden sich zwei senkrecht zueinander stehende, bewegliche Aluminium-Schlitten, die an der CPMC-Plattform gelagert sind.

Während in Betriebsart A (gefesseltes Schiffsmodell) aus Gründen der Phasentreue zwischen den verschiedenen Bewegungskomponenten eine hohe Positionsgenauigkeit verlangt werden muß, die große Anforderungen an die CPMC-Regelung stellt, ist die Genauigkeit in Betriebsart B (frei manövrierende Schiffsmodelle) in bezug auf die Nachführung nicht so kritisch, solange der Abstand zwischen der ψ -Plattform und dem Schiffsmodell innerhalb gewisser Nachföhrtoleranzen bleibt. Die Fläche, die sich aus diesen Nachföhrtoleranzen ergibt, wird durch zwei in das Schiffsmodell integrierte, fünfeckige Aluminiumrahmen begrenzt, die zusammen mit den Stangen einer an der ψ -Plattform angebrachten Fangvorrichtung ein Überschreiten des zulässigen Arbeitsbereiches der Wegmeßvorrichtung verhindern. Mit Hilfe dieser Fangvorrichtung kann das Schiffsmodell außerdem jederzeit an den CPMC gefesselt werden.

Die Versuchsführung in Betriebsart B erfolgt über den vorhandenen

Prozeßrechner S301 durch ein spezielles Programmsystem, das alle anfallenden Aufgaben wie die Versuchsvorbereitung, die Steuerung und Überwachung der Anlagen, die Meßwerterfassung und die Protokollerstellung durchführt. Vor dem Versuch werden die signifikanten Versuchsparameter des Z-Manövers (Ausgangsgeschwindigkeit U_o , maximaler Ruderwinkel δ_m , gewünschter Kursabfall ψ_s und die maximale Meßzeit) über einen Bedienungsblattschreiber eingegeben. Nach dem Drücken der Start-Taste läuft der Versuch rechnergeführt automatisch ab. Das mit Hilfe der Fangvorrichtung gefesselte Schiffsmodell wird auf die vorgegebene Ausgangsgeschwindigkeit beschleunigt. Nach dem Erreichen dieser Geschwindigkeit werden die drei Antriebe des CPMC freigegeben und die Fangvorrichtung geöffnet. Nach einer Übergangszeit (Anlaufstrecke) von rund 2.5 s wird das gewünschte Z-Manöver eingeleitet. Während dieser Phase gibt das zugehörige Programmsystem neue Sollgeschwindigkeiten für den Schleppwagen und Steuersignale für die Ruderanlage aus, liest die Weginkremente ein und überwacht die Lage des Schiffsmodells, um eventuell drohende Kollisionen mit der Tankseitenwand zu vermeiden. Außerdem werden die jeweiligen Ruderwinkel $\delta(t)$ und gegebenenfalls zusätzliche Meßwerte erfaßt. Nach der Beendigung der vorgegebenen Meßphase wird das Schiffsmodell automatisch auf einen geraden Endkurs gebracht und mit Hilfe der Fangvorrichtung an den CPMC gefesselt. Aufgrund einer kürzlich durchgeführten Erweiterung der Rechnerkapazität auf dem großen Schleppwagen können im Anschluß an jeden Versuch die wichtigsten Größen, wie Ruderwinkel δ , Kurswinkel ψ und Querversetzung y_o , als Funktion der Zeit t auf einem Flachbettplotter ausgegeben werden.

Weitere, ins Detail gehende Einzelheiten zum CPMC finden sich bei Grim *et al.* (1976) bzw. bei Oltmann und Wolff (1976).

3. Ergebnisse

3.1. Manövrierversuche

Die wichtigsten Ergebnisse der durchgeführten Manövrierversuche (Z-Manöver) sind in den Abb. 6 bis 27 zusammengefaßt. Die Abb. 6 bis 11 enthalten die Versuchsabläufe einiger ausgewählter Versuchsfahrten für die drei Schiffsmodelle, wobei neben dem Ruderwinkel δ , dem Kurswinkel ψ und der Querversetzung y_0 auch der Driftwinkel β und die Bahngeschwindigkeit U (bezogen auf die Ausgangsgeschwindigkeit U_0) als Funktion der Zeit t aufgetragen wurden ¹⁾. Zu den Versuchsabläufen für das Modell Nr. 2578 (Abb. 6 und 7) ist anzumerken, daß diese rechnerisch simuliert wurden. Dies ist dadurch begründet, daß die eigentlichen Versuche mit diesem Schiffsmodell bereits zu einem frühen Zeitpunkt, d.h. kurz nach Fertigstellung des CPMC, durchgeführt wurden und daß die derzeit zur Verfügung stehende Rudermaschine bzw. die zugehörige Steuerung noch nicht voll funktionsfähig war. Konkret bedeutete das, daß die empfohlene Ruderlegesgeschwindigkeit nicht exakt eingehalten werden konnte. Es wurde deshalb auf ein vom Berichter entwickeltes Identifikationsverfahren, vgl. Oltmann (1978), zurückgegriffen und die gewünschten Z-Manöver, nach Ermittlung der notwendigen Bewegungsgleichungsparameter, rechnerisch simuliert.

Im Abschnitt 2 wurde bei der Beschreibung des schematischen Ablaufs beim Z-Manöver bereits auf die definierten Manövrierphasen dieses Standardversuchs hingewiesen, vgl. auch Abb. 2. Wird nun der Kursabfall ψ_s jeweils konstant gehalten und die maximale Ruderlage δ_m von Versuch zu Versuch in kleinen Schritten geändert ($\Delta\delta_m = 5.0^\circ$), erhält man für die unterschiedlichen Kenngrößen sogenannte "Querkurven" als Funktion der Ruderlage δ_m . Aus diesen Querkurven läßt sich anschließend die Wirksamkeit kleiner, mittlerer oder großer Ruderwinkel unmittelbar ablesen.

Für die drei untersuchten Schiffsmodelle wurden die wichtigsten charakteristischen Kenngrößen des Z-Manövers, wie Anschwenkzeit, Stützzeit, Überschwingwinkel, maximale Querversetzung etc., in den Abb. 12 bis 20 zusammengestellt. Um einen objektiven Vergleich zu ermöglichen, wurden

¹⁾ Die Vorzeichenregelung erfolgte entsprechend dem in Abb. 1 wiedergegebenen Koordinatensystem!

dabei, mit Ausnahme der Überschwingwinkel α_{01} und α_{02} , alle Größen in dimensionsloser Form wiedergegeben¹⁾. Man erkennt anhand der dargestellten Querkurven, daß die wirksamsten Ruderwinkel - bei einem Kursabfall von $\psi_s = 10.0^\circ$ - im Bereich von $20.0^\circ \leq \delta_m \leq 30.0^\circ$ liegen. Diese Aussage gilt für alle drei Schiffsmodelle. Vergleicht man das Manövrierverhalten der drei Schiffsmodelle untereinander, dann ist festzustellen, daß relativ gesehen das Modell Nr. 2578 die besten Manövriereigenschaften aufweist. Dies ist insofern nicht verwunderlich, als es sich bei diesem Modell um die Zweischrauber-Version mit Doppelmüderanlage handelt. Das bedeutet, daß in diesem Falle - verglichen mit den beiden Einschraubern - auch die wirksame Ruderfläche relativ größer ist.

Zum Manövrierverhalten der breiten Schiffe ist allgemein festzustellen, daß es sich doch merklich von dem Verhalten anderer, vergleichbarer Schiffe unterscheidet. Diese Tatsache, die insbesondere für die beiden Einschrauberversionen gilt, geht sehr deutlich aus den Abb. 21 bis 27 hervor, in denen für das $10^\circ/10^\circ$ und das $20^\circ/10^\circ$ Z-Manöver ein Vergleich - auf der Basis dimensionsloser Kenngrößen des Z-Manövers - mit dem vorliegenden statistischen Datenmaterial der HSVA vorgenommen wurde, vgl. auch Brix (1972). Die drei überbreiten Schiffsmodelle wurden dabei naturgemäß in die Gruppe der Massengutschiffe eingeordnet. Um die allgemeine Bewertung der Versuchsergebnisse zu erleichtern und um gleichzeitig eine gewisse Sortierung zu erreichen, wurde jeweils durch die zahlreichen, stark streuenden Meßpunkte eine Regressionsgerade (ermittelt nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate) gelegt. Die beiden zusätzlich eingezeichneten Grenzgeraden wurden so bestimmt, daß rund 50 % der gesamten Daten in den eingegrenzten Bereich fallen. Man ersieht aus den genannten Abbildungen, daß, mit Ausnahme des Modells Nr. 2578, die dimensionslosen Kenngrößen der überbreiten Schiffe zumeist außerhalb, und zwar auf der *negativen* Seite, des durch die Grenzgeraden markierten Bereichs liegen.

1) Die Kenngrößen wurden unter Verwendung der Modelllänge L und der Ausgangsgeschwindigkeit U_0 dimensionslos gemacht.

3.2. Kursstetigkeitsversuche

Die Ermittlung der Kursstetigkeitseigenschaften bzw. die Gierstabilität erfolgte für die drei Schiffsmodelle auf unterschiedliche Weise. In einer Grundsatzstudie konnte gezeigt werden, daß die Gierstabilitätseigenschaften eines Schiffes bzw. eines Schiffsmodells qualitativ sehr gut mit Hilfe einer Serie von modifizierten Z-Manövern mit kleinem Kursabfall ($\psi_s = 1.0^0$) ermittelt werden können, vgl. Oltmann (1979). Diese Vorgehensweise bietet sich vor allem dann an, wenn - wie im Falle der HSVA - für die notwendigen Modellversuche lediglich ein normaler, rechteckiger Schleppkanal zur Verfügung steht, in dem der klassische Spiralversuch nach Dieudonné oder Bech nicht ausgeführt werden kann. In Anlehnung an die genannte Studie wurde mit dem Modell Nr. 2743 eine Kurzserie von modifizierten Z-Manövern ($10^0/1^0$ und $5^0/1^0$ Z) gefahren. Die zugehörigen Versuchsabläufe sind in den Abb. 32 und 33 wiedergegeben. Man erkennt insbesondere aus Abb. 33 ($5^0/1^0$ Z), daß das Schiffsmodell im Bereich kleiner Ruderwinkel eine ausgeprägte Gierinstabilität aufweisen muß. Bei dem Modell Nr. 2816 genügte bereits das $10^0/1^0$ Z-Manöver (Abb. 34), um den Nachweis zu führen, daß auch dieses Modell eine stark ausgeprägte Gierinstabilität im Bereich kleiner Ruderwinkel besitzt.

Im Abschnitt 3.1. wurde bereits ausgeführt, daß die Versuche mit dem Modell Nr. 2578 schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt (Dezember 1976) durchgeführt wurden. Das bedeutet, daß in diesem einen Falle keine Versuchsergebnisse von modifizierten Z-Manövern vorliegen. Um dennoch eine Aussage über die Gierstabilitätseigenschaften dieses Schiffsmodells machen zu können, wurde - unter Verwendung der ermittelten Bewegungsgleichungsparameter (s.a. Abschnitt 3.1.) - eine rechnerische Simulation des Spiralversuchs nach Bech vorgenommen¹⁾. Das zugehörige Ergebnis ist in Abb. 28 dargestellt. Man erkennt anhand der ausgewiesenen Funktionsverläufe, daß das Schiffsmodell im Bereich $-1.0^0 \leq \delta \leq +1.0^0$ gierinstabil ist. Dies ist jedoch ein relativ schmaler Bereich, und es dürfte infolgedessen auch keine große Schwierigkeiten bereiten, das Schiff auf einem geraden Kurs zu halten. Um einen unmittelbaren Vergleich mit den beiden anderen untersuchten Schiffs-

1) Eine genaue Beschreibung dieses Versuchs findet sich bei Oltmann (1979).

modellen zu haben, wurden die modifizierten Z-Manöver ($15^0/1^0$, $10^0/1^0$ und $5^0/1^0$ Z) gleichfalls rechnerisch simuliert, Abb. 29 bis 31. Der Vergleich mit den Abb. 32 bis 34 deutet an, daß der Instabilitätsbereich bei den beiden anderen Schiffsmodellen sehr viel größer sein muß.

4. Schlußfolgerungen

Die durchgeführten Modellversuche mit den drei unkonventionellen, überbreiten Schiffsmodellen machen zum einen deutlich, daß Schiffe mit derartigen Formparametern zu einer ausgeprägten bereichsweisen Gierinstabilität neigen. Diese Eigenschaft ist insofern negativ zu bewerten, als das Schiff *in praxi* nur durch ständiges Ruderlegen auf einem geraden Kurs gehalten werden kann. Das wiederum ist mit einer gewissen Widerstandserhöhung bzw. mit einem Geschwindigkeitsverlust verbunden, und kann somit die Wirtschaftlichkeit des Schiffes beeinträchtigen. Eine Maßnahme zur Verminderung dieser unerwünschten Gierinstabilität kann - wie die Modellversuche gleichfalls zeigen - darin bestehen, derartige Schiffe generell als Zweischrauber mit einer Doppelrudieranlage zu entwerfen.

Eine ähnliche Aussage wie für das Kursstetigkeitsverhalten gilt auch für das allgemeine Manövrierverhalten. Die Modellversuche haben gezeigt, daß die überbreiten Schiffe eine sehr große Drehfähigkeit besitzen. Das führt einerseits zwar zu sehr kurzen Anschwenkzeiten, ist andererseits aber auch mit großen Überschwingwinkeln, einem großen Querversatz und vor allem mit schlechten Stützeigenschaften verbunden. Auch hier kann durch den Einbau einer Doppelrudieranlage eine merkliche Verbesserung erzielt werden. Eine weitere Verbesserung könnte außerdem durch eine Erhöhung der Ruderlegungsgeschwindigkeit erreicht werden.

5. Symbolverzeichnis

A_x	Größte Spantfläche
B	Breite des Schiffsmodells
C_B	Blockkoeffizient $= \nabla / L B T$
C_P	Schärfegrad $= \nabla / A_x L$
D	Propellerdurchmesser
F_n	Froude-Zahl $= V / \sqrt{g L}$
G	Gewichtsschwerpunkt
g	Erdbeschleunigung
I_{zz}	Massenträgheitsmoment des Schiffes, bezogen auf die z -Achse
L	Länge des Schiffsmodells
m	Masse des Schiffsmodells
N	Hydrodynamisches Moment um die z -Achse
n	Propellerdrehzahl
O	Ursprung des körperfesten Koordinatensystems x, y, z
R	Stationärer Drehkreisradius
R_n	Reynolds-Zahl $= V L / \nu$
r	Drehgeschwindigkeit um die z -Achse $= \dot{\psi}$
r'	Dimensionslose Drehgeschwindigkeit $= r L / U = L / R$
T	Periode des Z-Manövers, vgl. Abb. 2
T	Tiefgang des Schiffsmodells
t	Zeit
U	Resultierende Geschwindigkeit von O in der horizontalen Ebene
U_o	Ausgangswert von U in der Anfangsphase eines Manövers
u, v	Komponenten der Geschwindigkeit U in Richtung der Körperachsen x und y
V	Schiffsgeschwindigkeit
X, Y	Komponenten der hydrodynamischen Kraft in Richtung der Körperachsen x und y
x, y, z	Körperfestes Koordinatensystem
x_G, y_G, z_G	Koordinaten des Gewichtsschwerpunktes G
x_o, y_o, z_o	Koordinaten von O in einem raumfesten System
α_o	Überschwingwinkel im Z-Manöver, vgl. Abb. 2
β	Driftwinkel $= \arctan (-v/u)$

δ	Ruderlagenwinkel
δ_o	Neutraler Ruderwinkel ($r = 0$)
δ_m	Maximaler Ruderwinkel beim Z-Manöver (Absolutwert)
λ	Modellmaßstab
ν	Kinetische Zähigkeit des Wassers
ρ	Dichte des Wassers
τ	Charakteristische Zeitabschnitte des Z-Manövers, vgl. Abb. 2
τ_a	Anschwenkzeit
τ_b	Stützzeit
τ_c	Rückdrehzeit
τ_r	Ausweichzeit
ψ	Kurswinkel
ψ_s	Kursabfall beim Z-Manöver (Umschaltzeitpunkt)
∇	Verdrängungsvolumen

Anmerkung:

Als Symbole wurden weitgehend die von der ITTC empfohlenen Standardsymbole verwendet.

Ein "Apostroph" deutet an, daß die jeweilige Größe mit den Grundeinheiten $\rho L^3/2$ (Masse), L (Länge) und L/U (Zeit) dimensionslos gemacht wurde.

Ein "Punkt" über einer Größe kennzeichnet wie üblich die Ableitung nach der Zeit t .

6. Schrifttum

1. Brix, J.: Die Manövrierdaten der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt.
Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt, Hamburg, Bericht Nr. 1500 (1972).
2. Grim, O.; Oltmann, P.; Sharma, S.D.; Wolff, K.: CPMC - A Novel Facility for Planar Motion Testing of Ship Models.
Proceedings 11th Symp. on Naval Hydrodynamics, University College, London (1976) 115-131.
3. Grim, O. et al.: Probleme der Hydrodynamik künftig möglicher Schiffe (Teilprojekt D4).
Abschlußbericht Projektbereich D "Mögliche künftige Schiffe und ihre Entwurfsmethodik", Eigenverlag SFB 98 (1981).
4. Oltmann, P.: Bestimmung der Manöviereigenschaften aus den Bahnkurven freimanövrierender Schiffsmodelle.
Institut für Schiffbau, Hamburg, Bericht Nr. 364 (1978).
5. Oltmann, P.: Beitrag zur Ermittlung des dynamischen Gierverhaltens von Schiffen.
Institut für Schiffbau, Hamburg, Bericht Nr. 384 (1979).
6. Oltmann, P.; Wolff, K.: Computerized Planar Motion Carriage - Anlagenbeschreibung und erste Betriebserfahrungen.
Jahrbuch STG 70 (1976) 413-441.

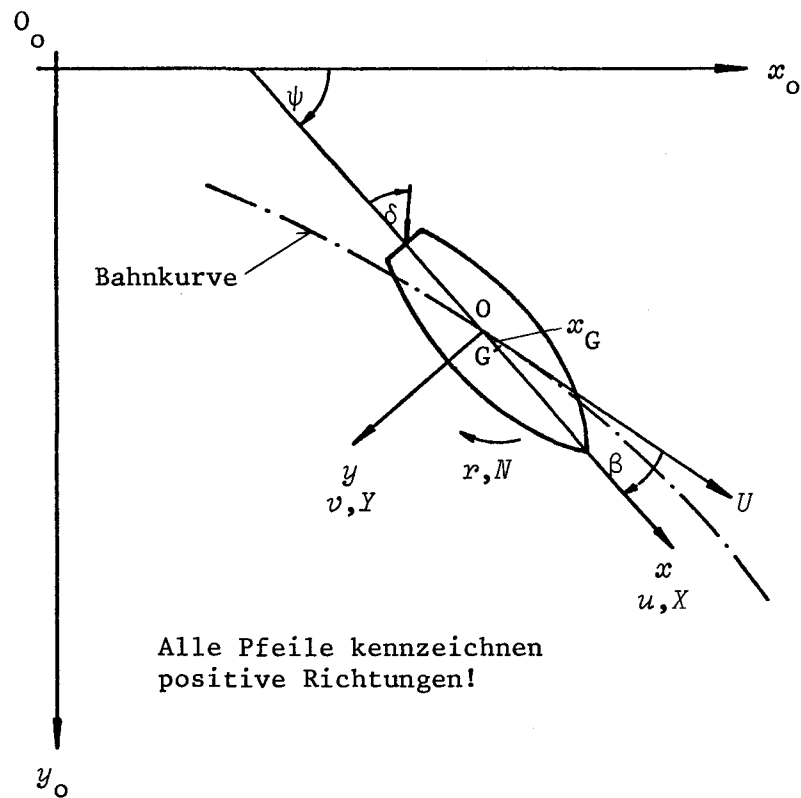


Abb. 1 Koordinatensystem

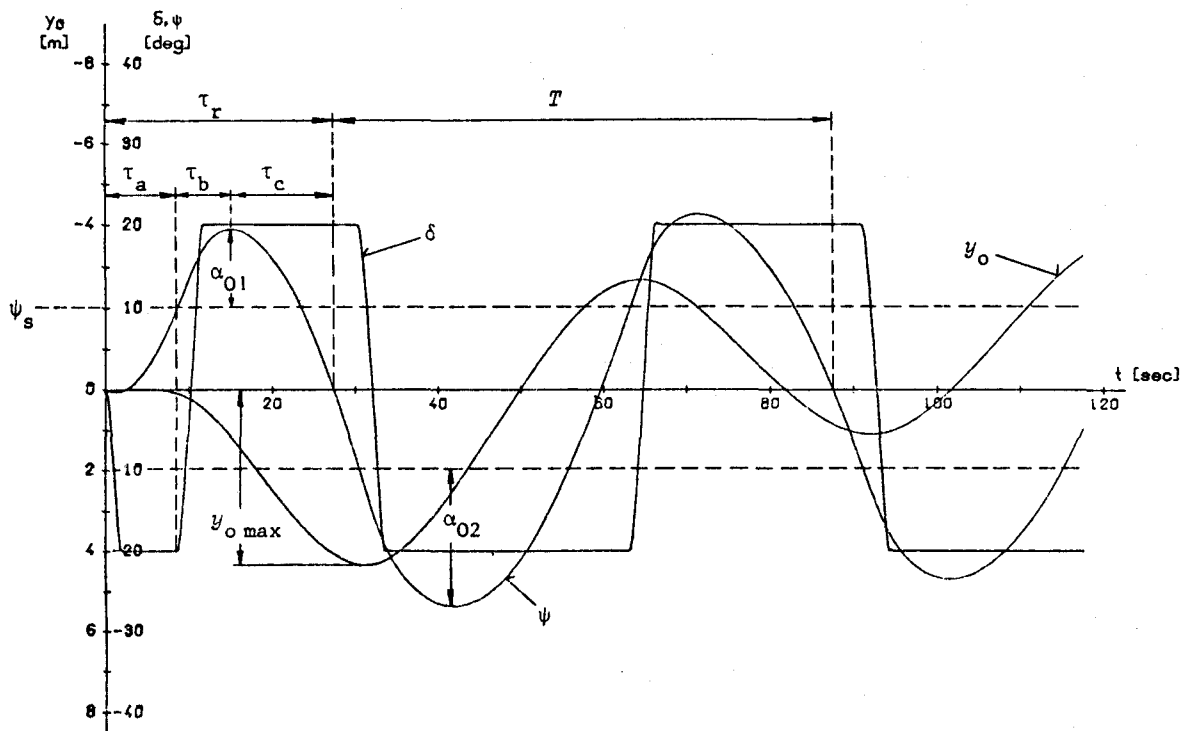


Abb. 2 Definition der charakteristischen Kenngrößen von Z-Manövern

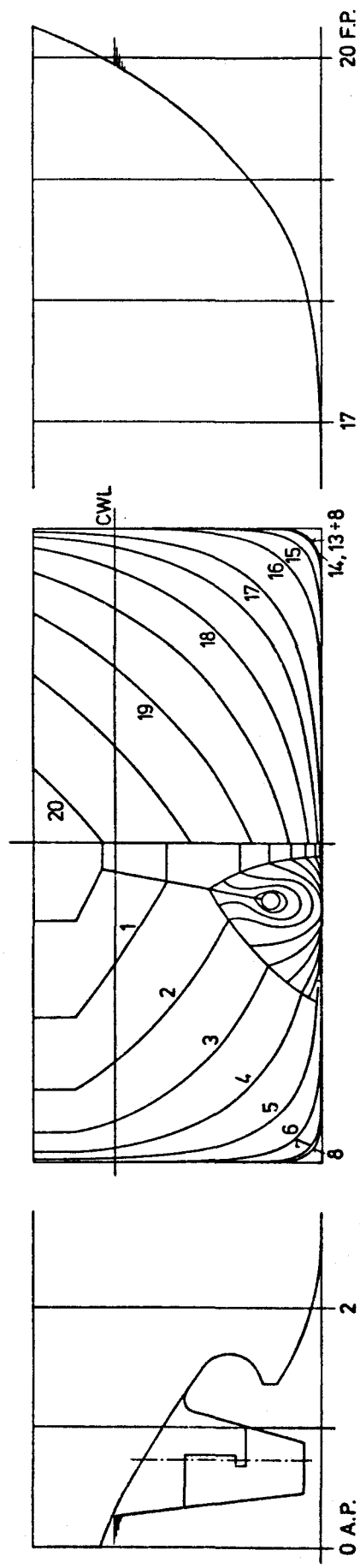


Abb. 3 Spantenriß, Bug- und Heckkontur des HSVA-Modells Nr. 2578

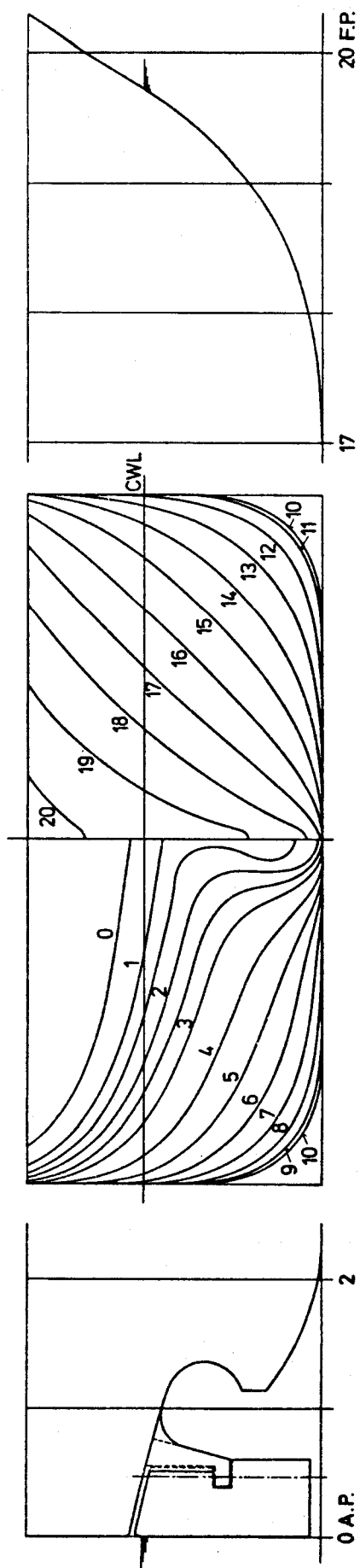


Abb. 4 Spantenriß, Bug- und Heckkontur des HSVA-Modells Nr. 2743

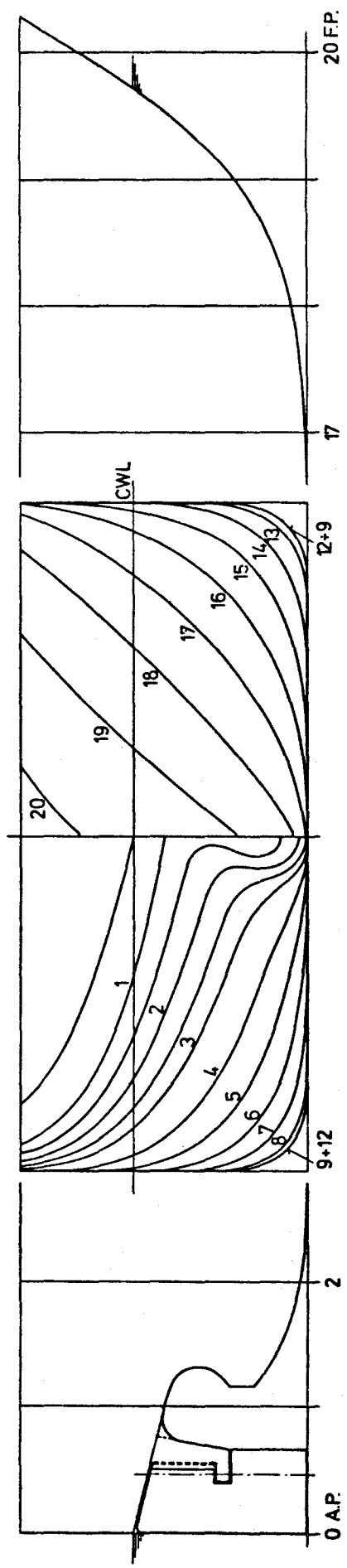
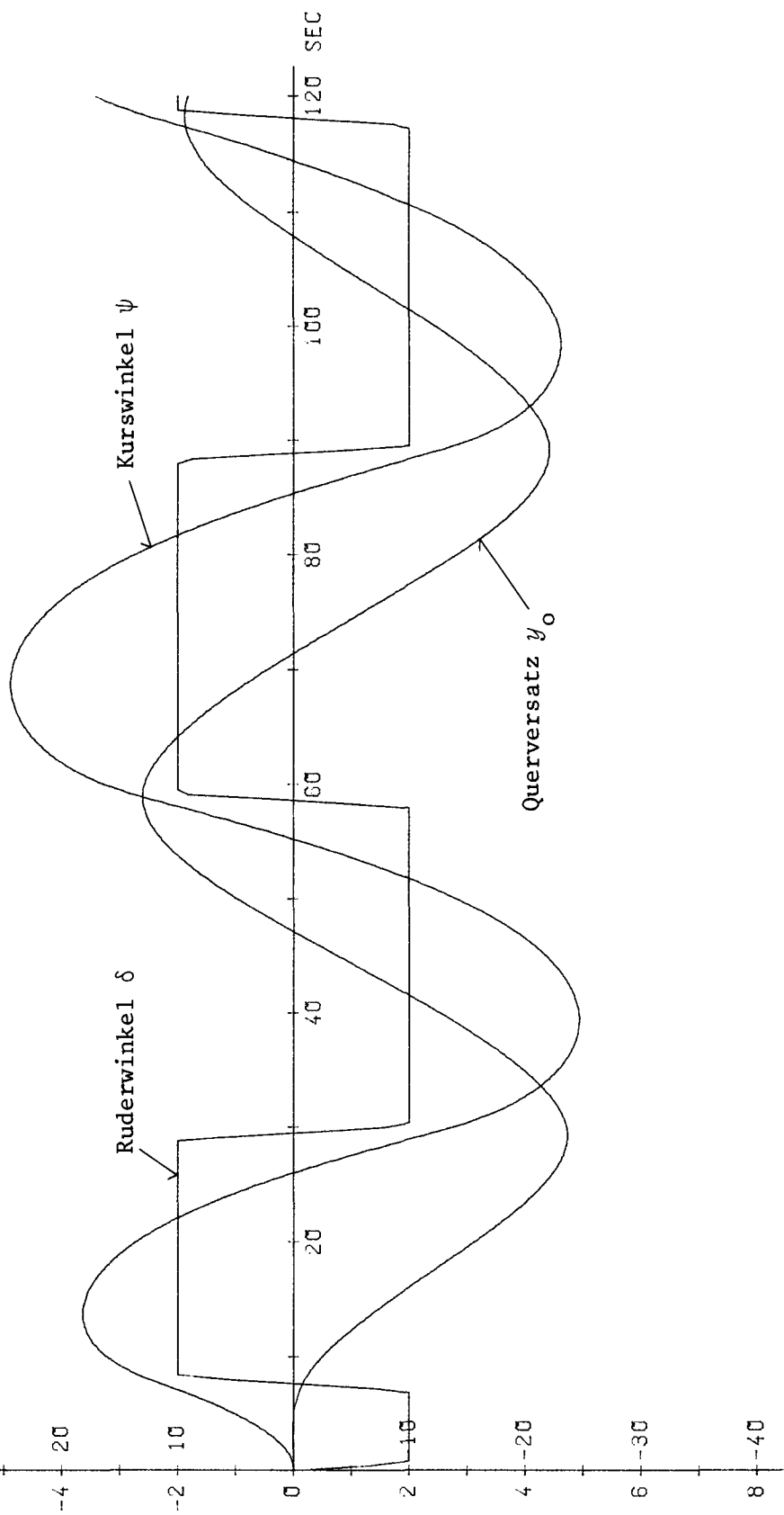


Abb. 5 Spantenriß, Bug- und Heckkontur des HSWA-Modells Nr. 2816



Abb. 6a Versuchsablauf 10°/10° Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_0(t)$
 HSVA-Modell Nr. 2578 (rechnerisch simuliert)



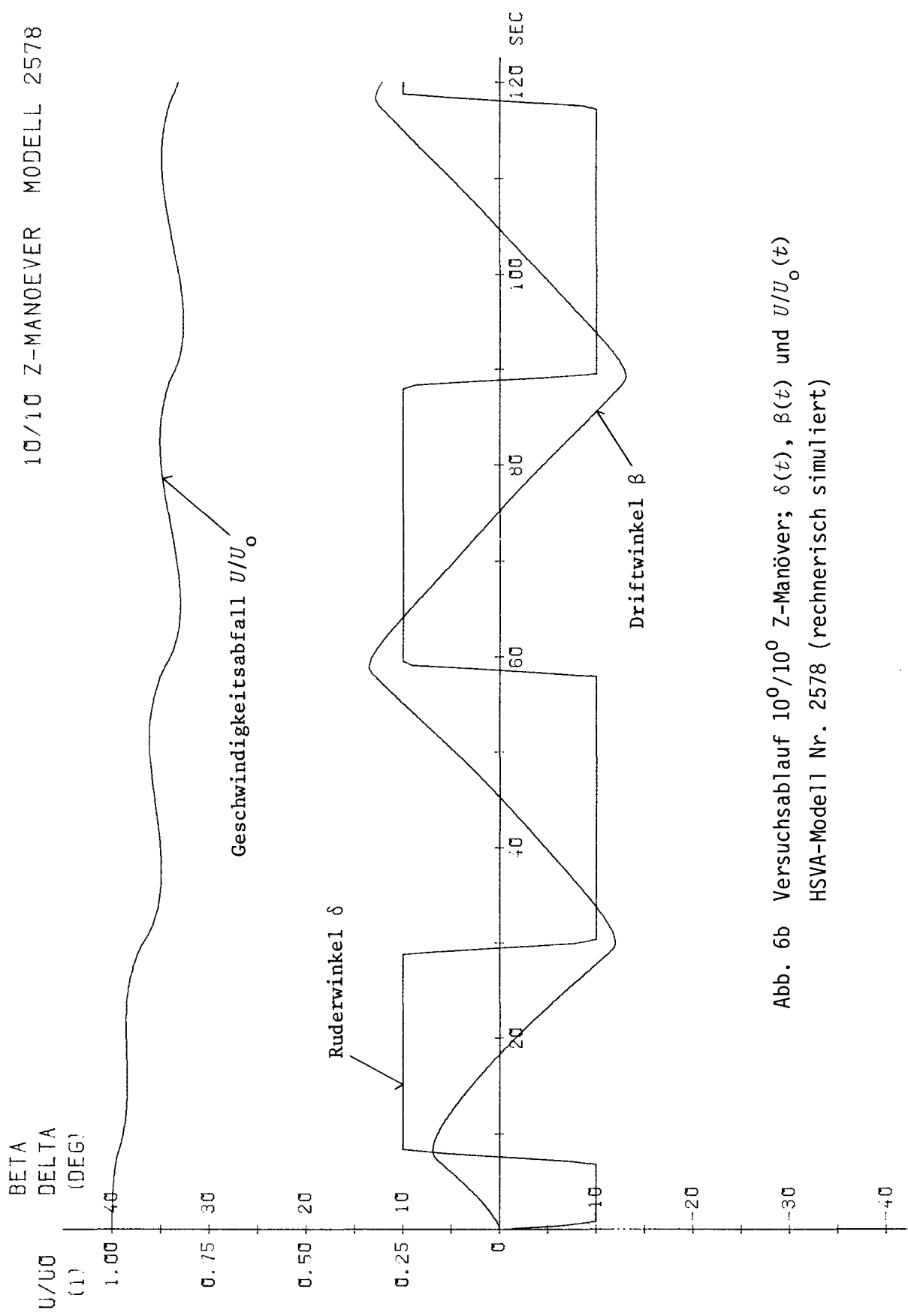


Abb. 6b Versuchsablauf 10⁰/10⁰ Z-Manöver; $\delta(t)$, $\beta(t)$ und $U/U_0(t)$
 HSVA-Modell Nr. 2578 (rechnerisch simuliert)

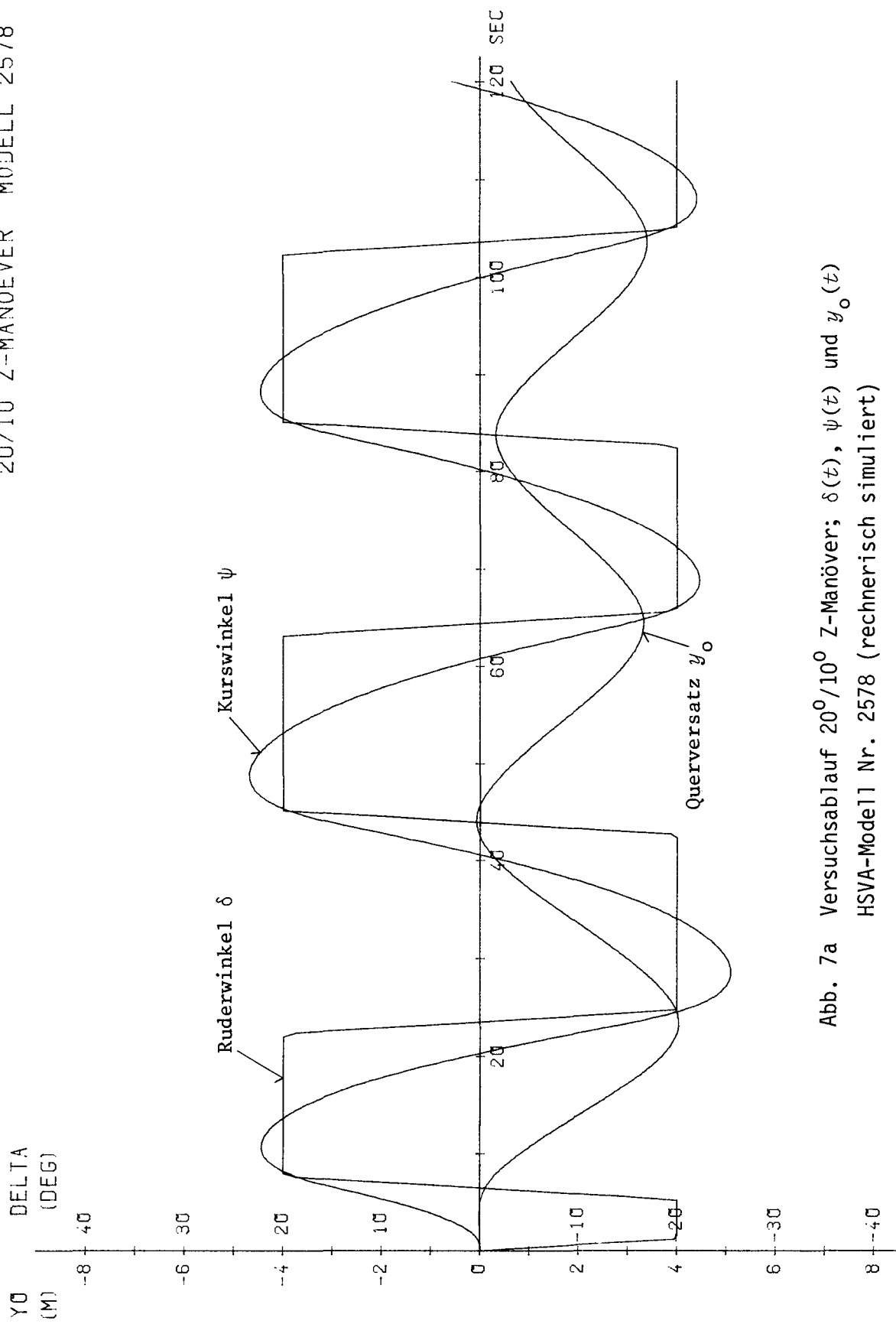


Abb. 7a Versuchsablauf 20°/10° Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_o(t)$
HSVA-Modell Nr. 2578 (rechnerisch simuliert)

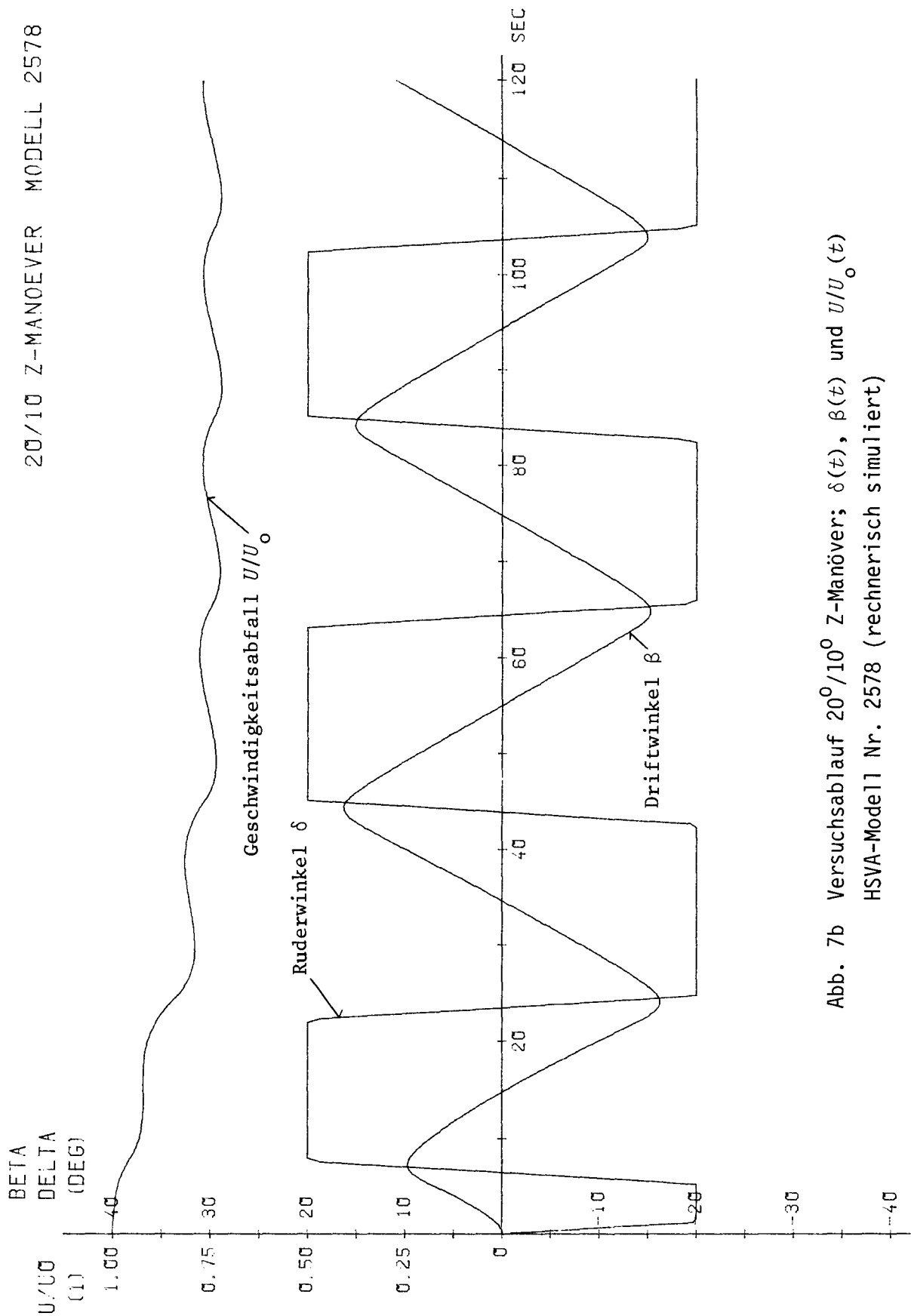
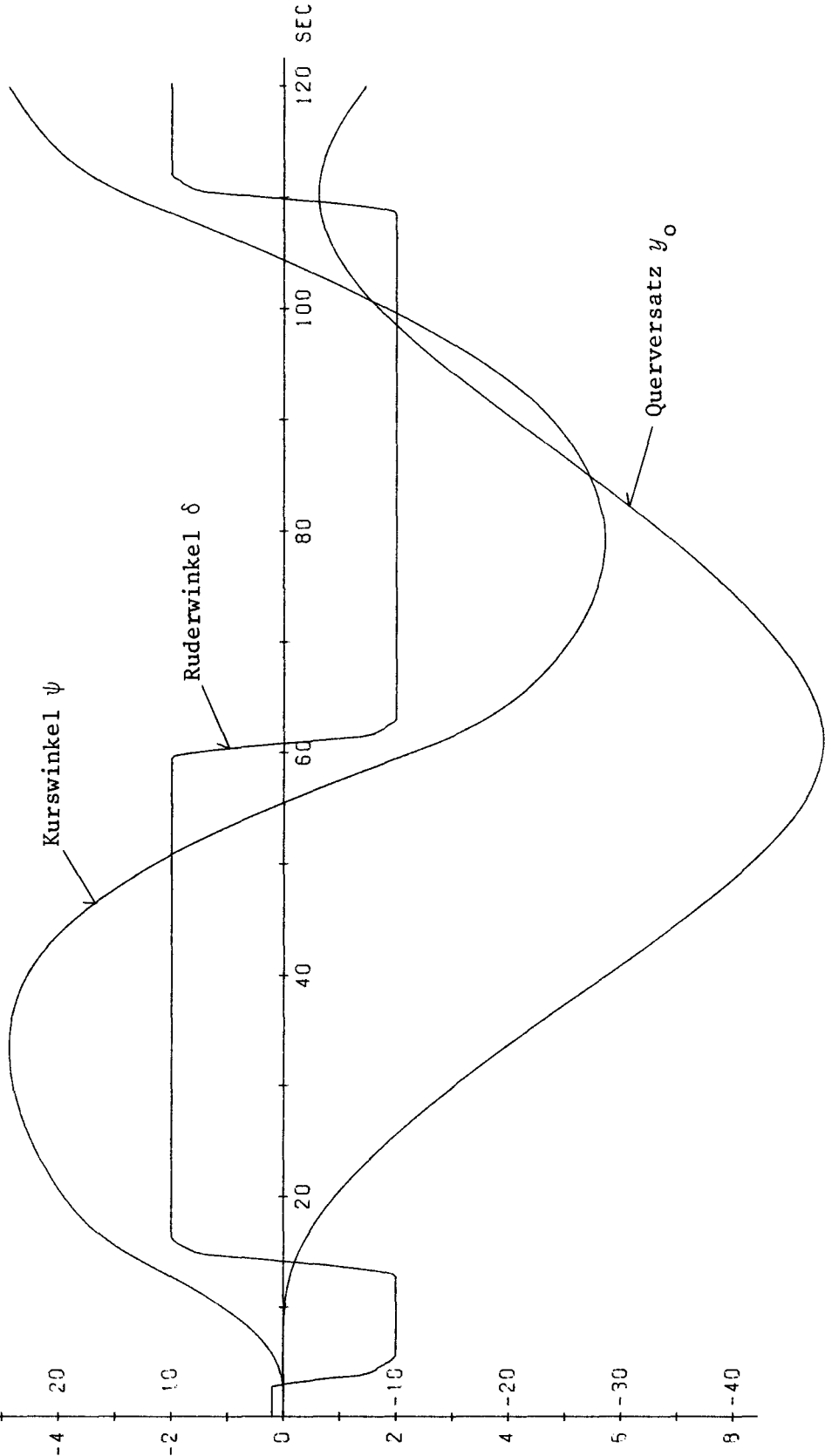


Abb. 7b Versuchsablauf 20°/10° Z-Manöver; $\delta(t)$, $\beta(t)$ und $U/U_0(t)$
 HSWA-Modell Nr. 2578 (rechnerisch simuliert)

PSI
DELTA
(M)
(DEC)

4.12.80 2743 FN=0.1 10/10

Abb. 8a Versuchsablauf $10^0/10^0$ Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_o(t)$
HSVA-Modell Nr. 2743



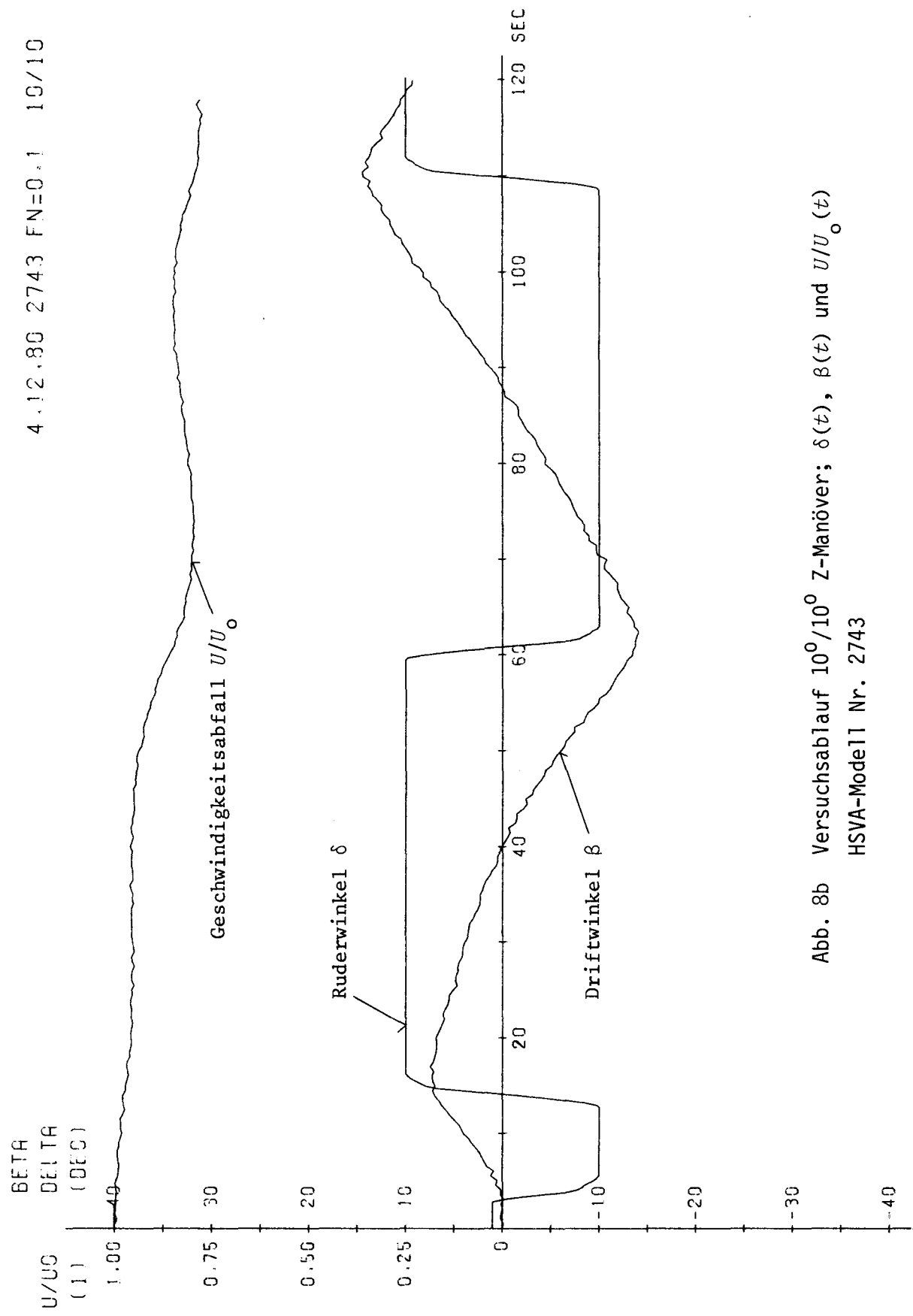


Abb. 8b Versuchsablauf $10^0/10^0$ Z-Manöver; $\delta(t)$, $\beta(t)$ und $U/U_0(t)$
 HSVA-Modell Nr. 2743

PSI
DELTA
(M)
(DEC)

-8 + 40

-6 + 30

-4 + 20

-2 + 10

0

2 + -10

4 + -20

6 + -30

8 + -40

Kurswinkel ψ

Ruderwinkel δ

Querversatz y_o

120 SEC

Abb. 9a Versuchsablauf $20^\circ/10^\circ$ Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_o(t)$

HSVA-Modell Nr. 2743

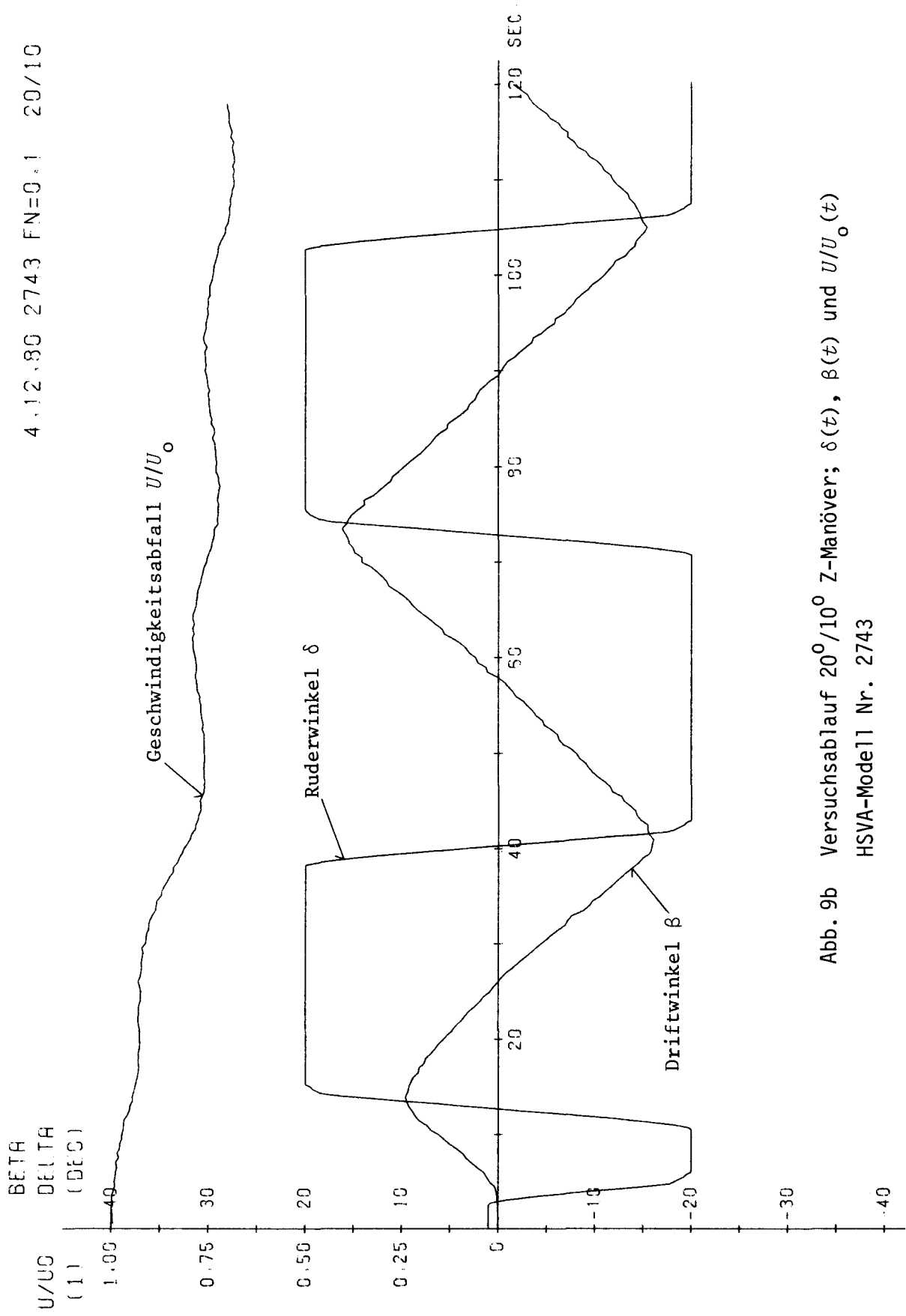
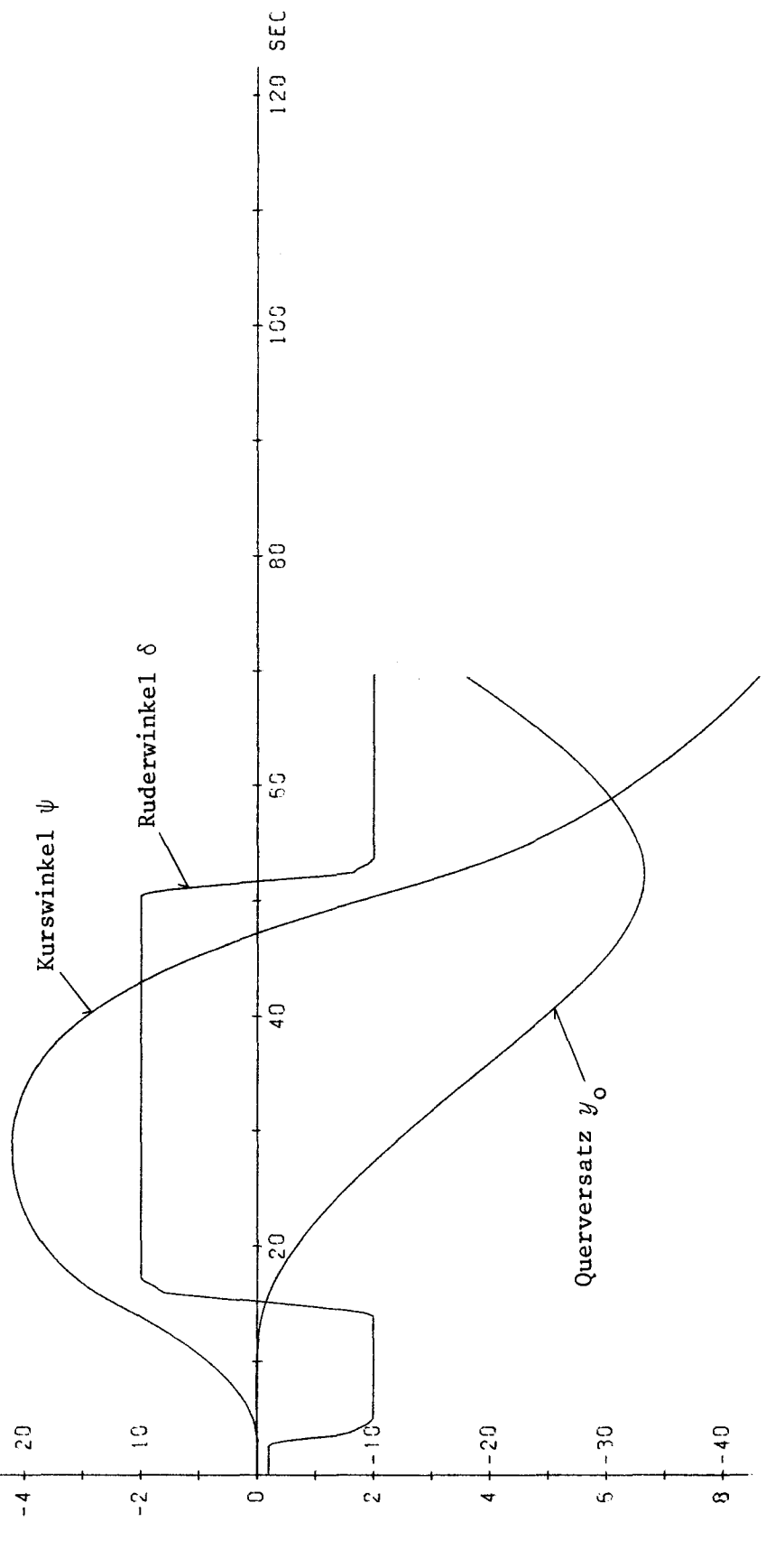


Abb. 9b Versuchsablauf 20°/10° Z-Manöver; $\delta(t)$, $\beta(t)$ und $U/U_0(t)$
 HSVA-Modell Nr. 2743

PSI
DELTA
(M) (DEG)

2.12.80 2816 FN=0.1 10/10

Abb. 10a Versuchsablauf $10^0/10^0$ Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_o(t)$
 HSVA-Modell Nr. 2816



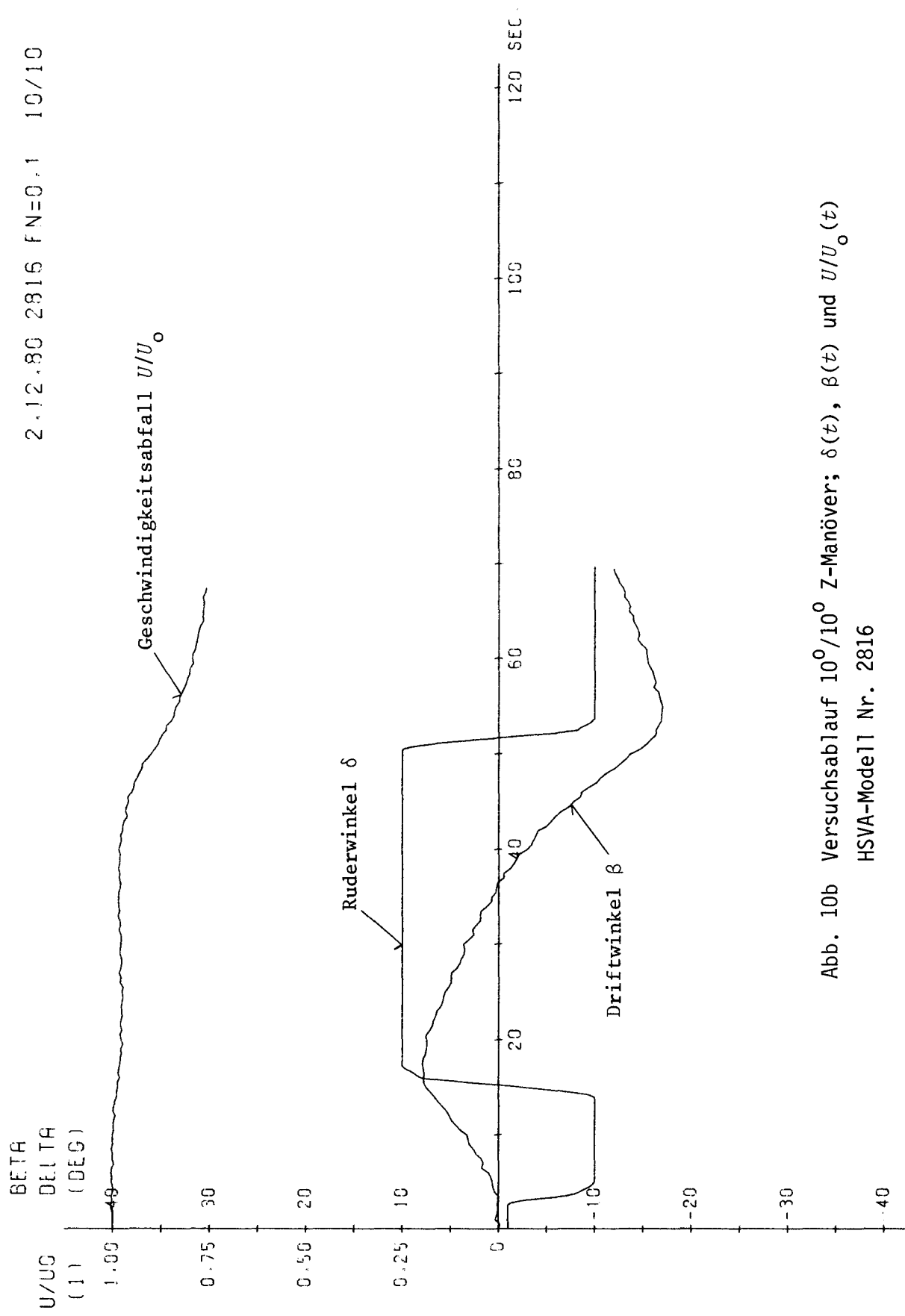
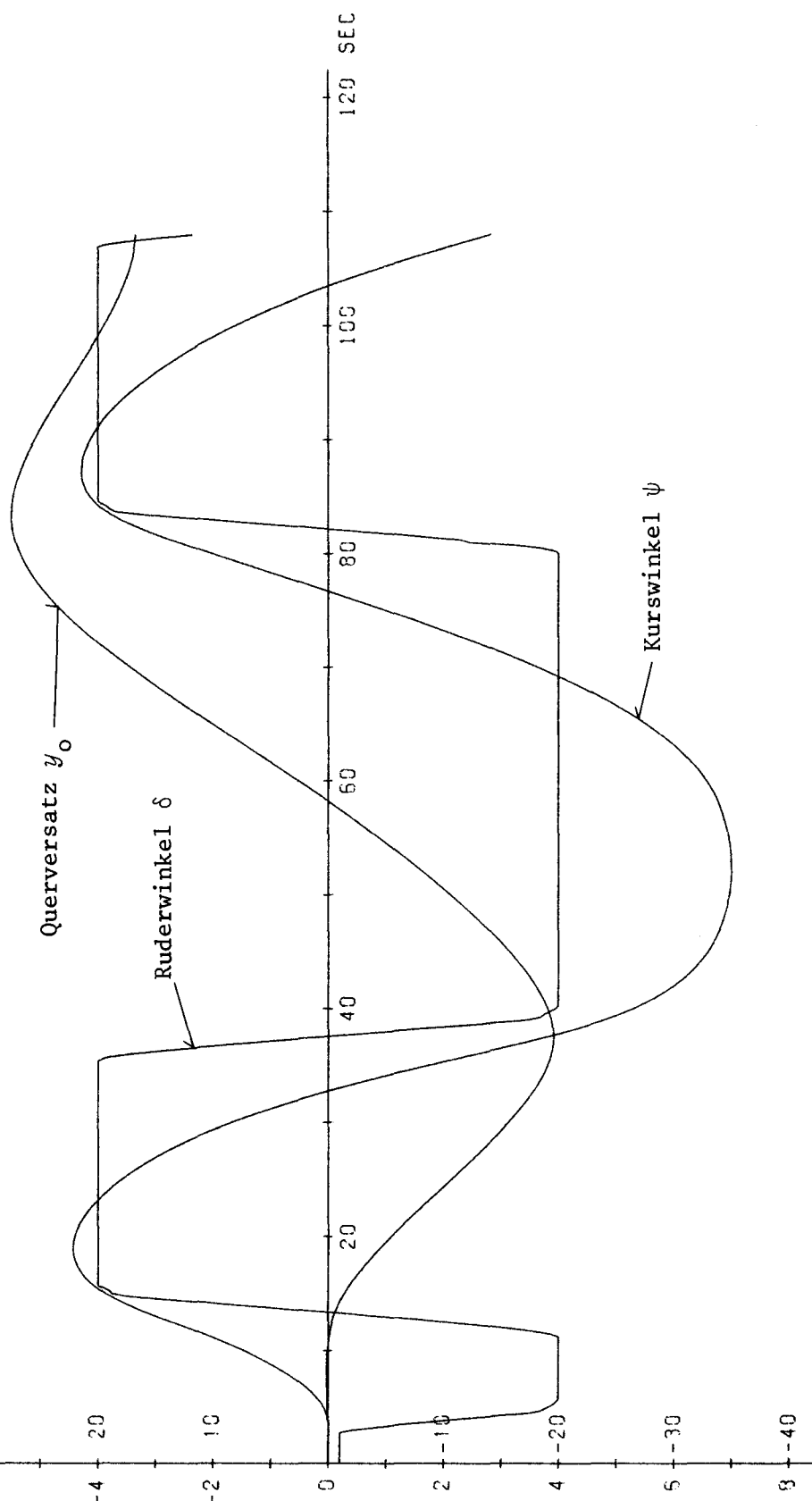


Abb. 10b Versuchsablauf $10^0/10^0$ Z-Manöver; $\delta(t)$, $\beta(t)$ und $U/U_0(t)$
 HVA-Modell Nr. 2816

PSI
DELTA
(M)
(DEG)

2.12.80 2816 FN=0.1 20/10

Abb. 11a Versuchsablauf $20^\circ/10^\circ$ Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_o(t)$
HSVA-Modell Nr. 2816



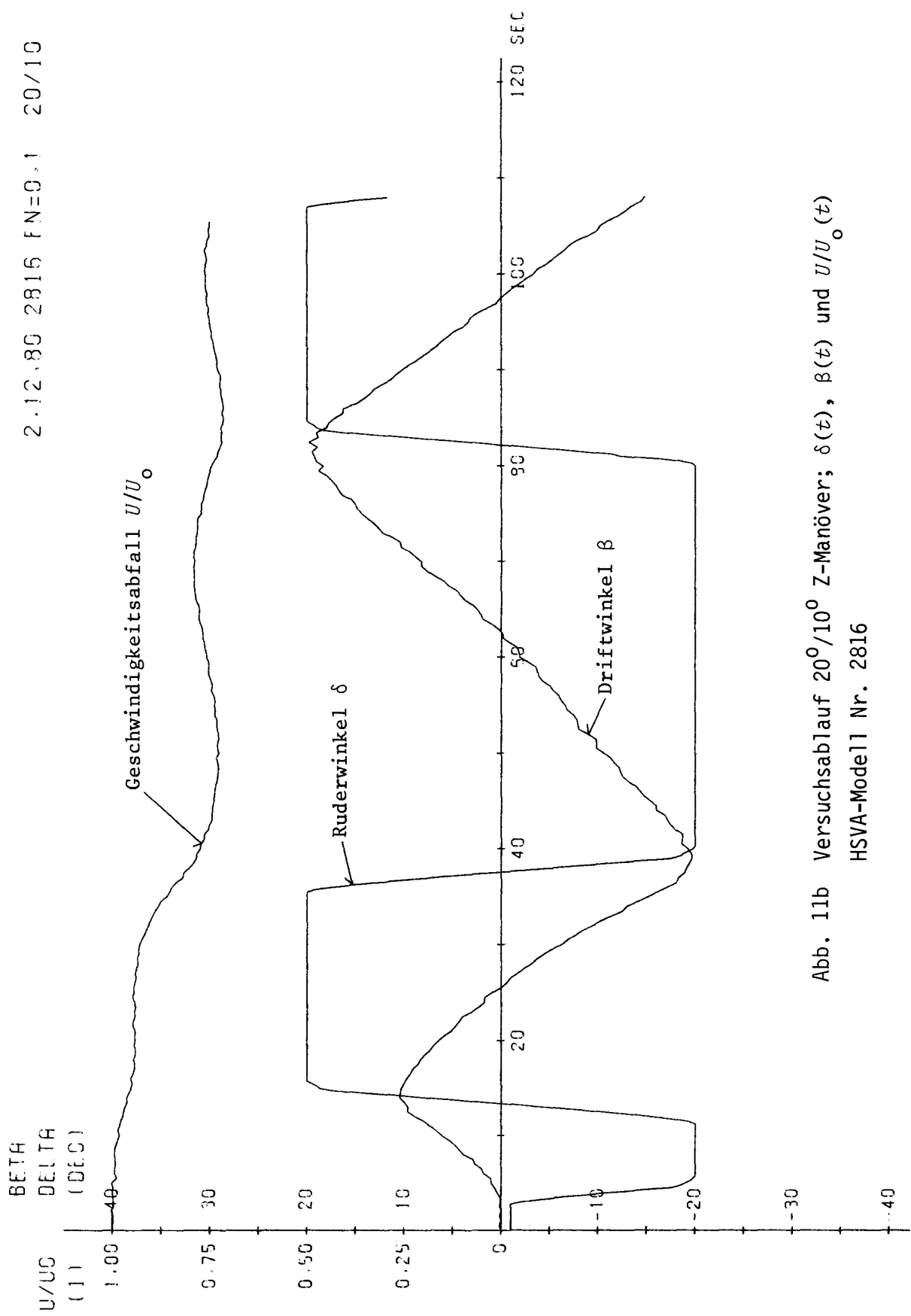


Abb. 11b Versuchsablauf $20^\circ/10^\circ$ Z-Manöver; $\delta(t)$, $\beta(t)$ und $U/U_0(t)$
 HSVA-Modell Nr. 2816

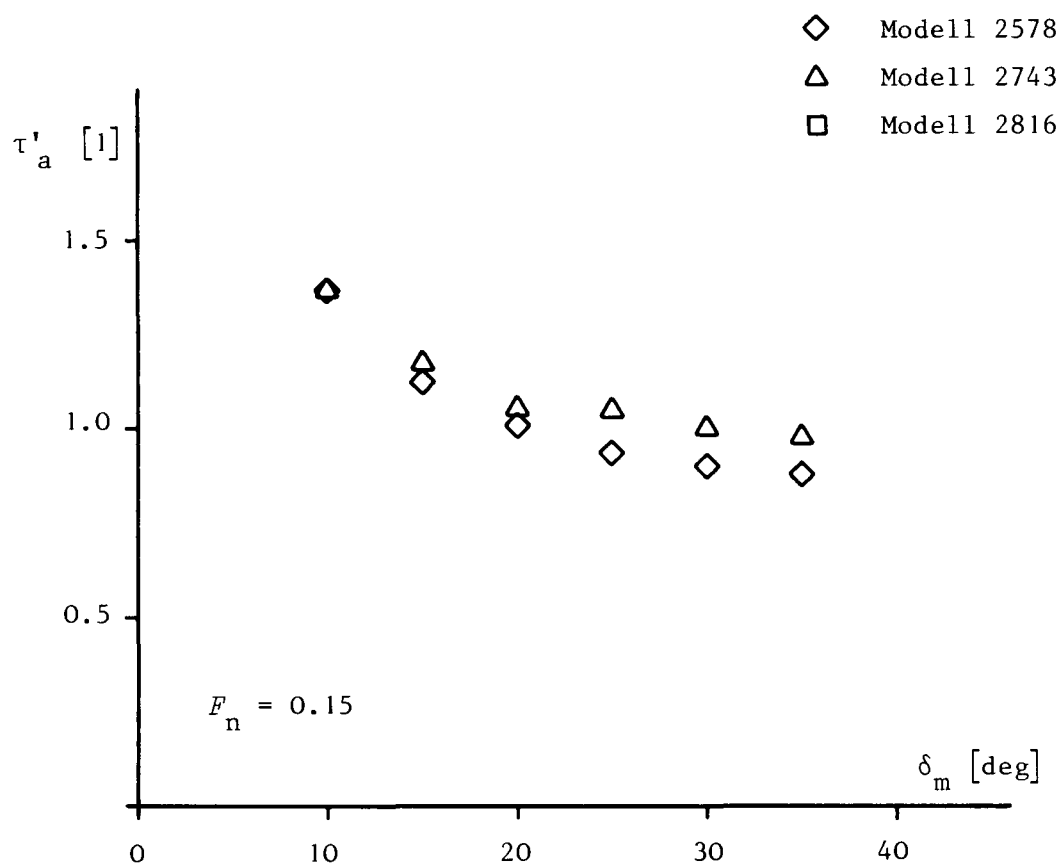
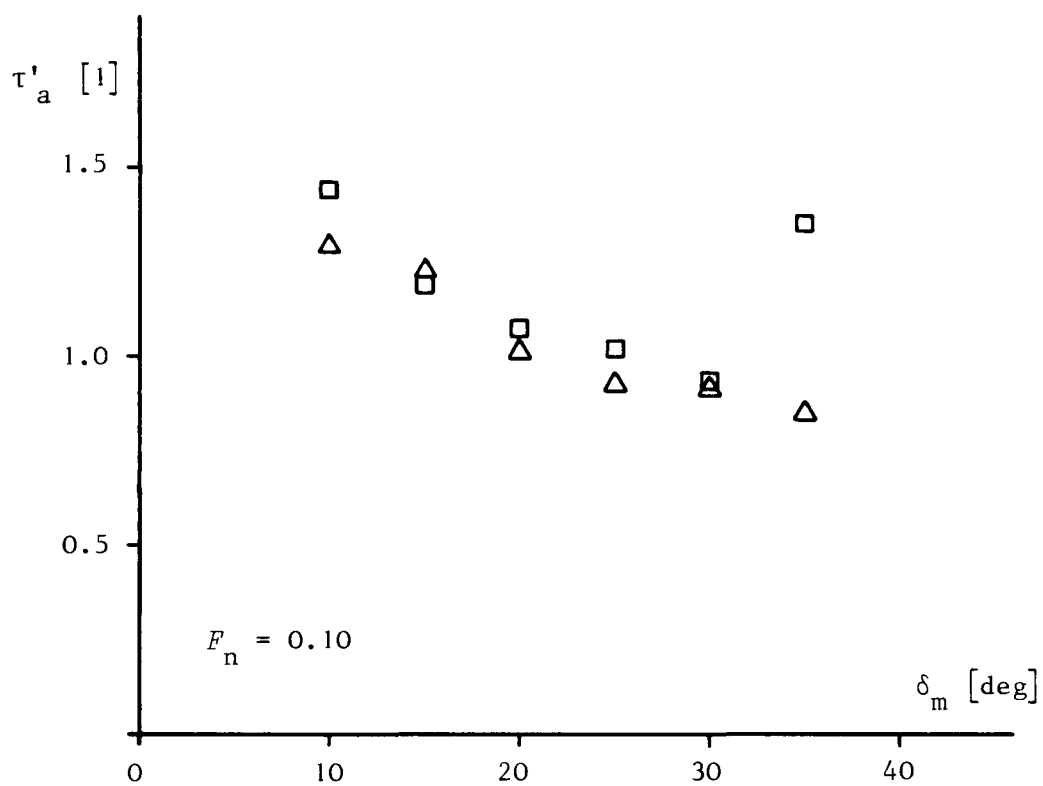


Abb. 12 Dim.lose Anschwenkzeit $\tau'_a = f(\delta_m)$

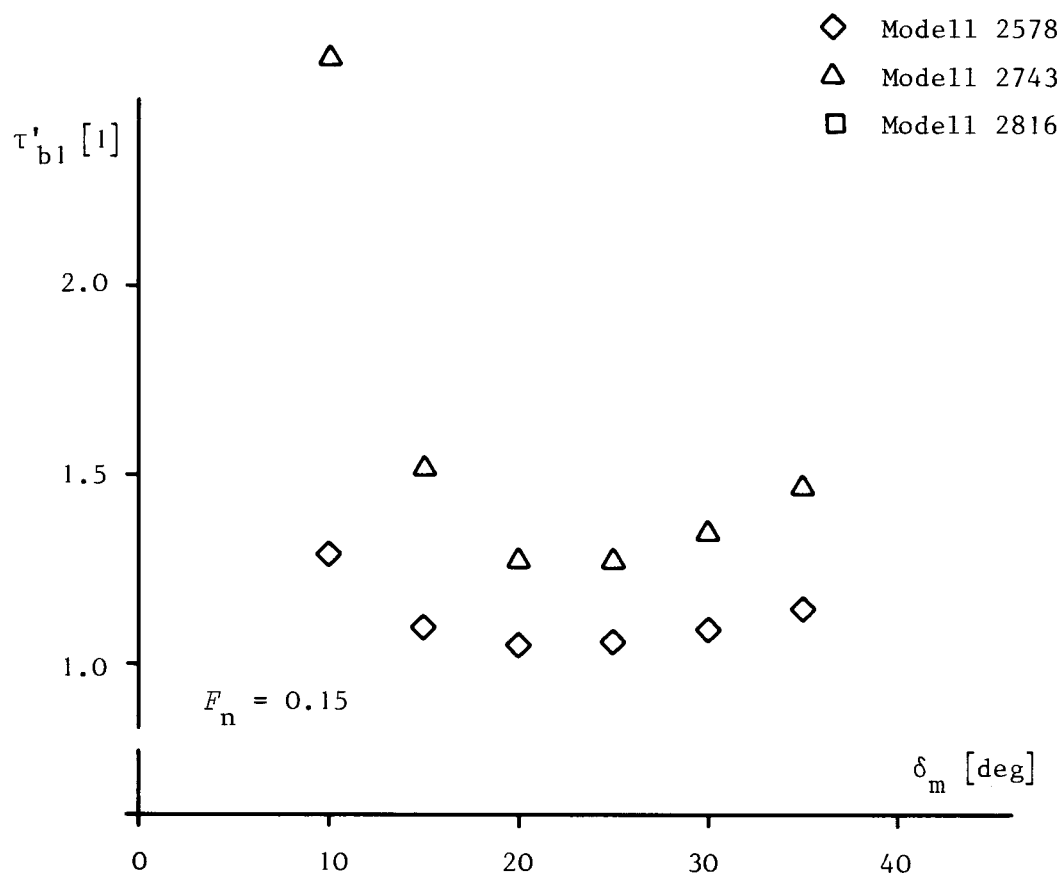
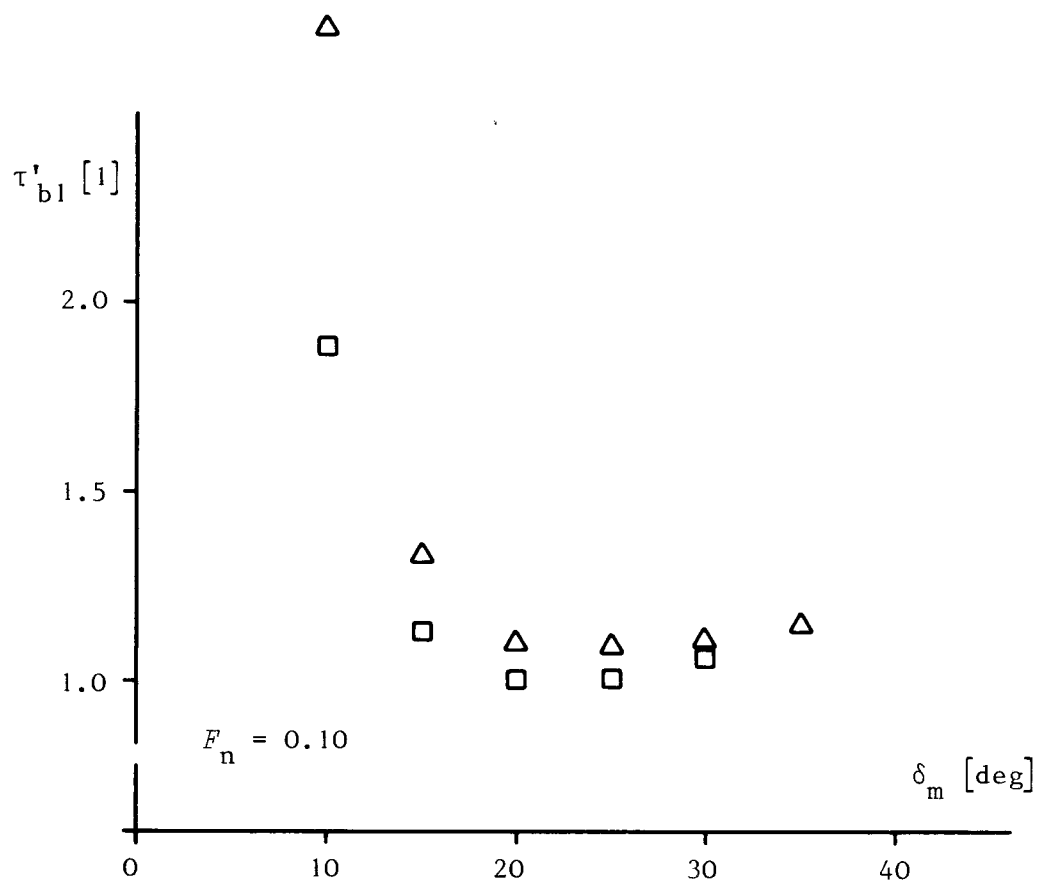


Abb. 13 Dim.lose Stb.-Stützzeit $\tau'_{bl} = f(\delta_m)$

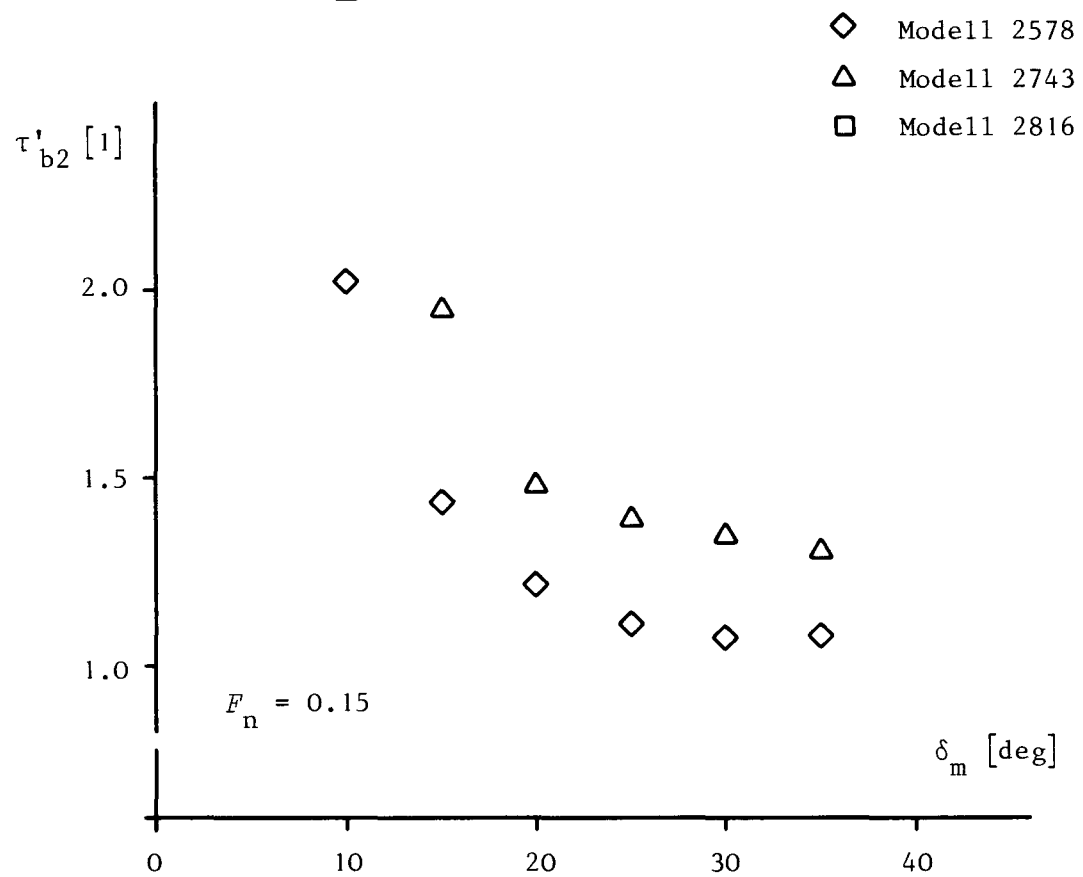
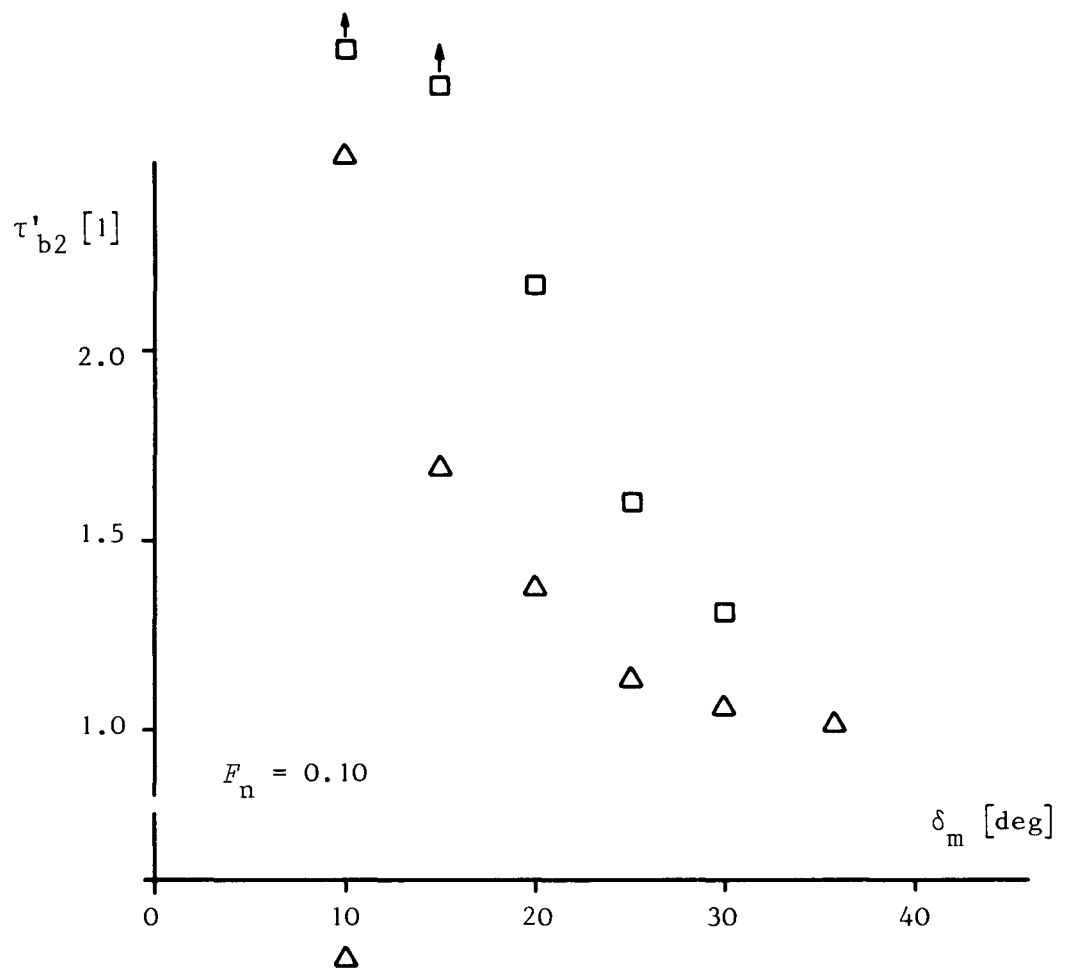


Abb. 14 Dim.lose Bb.-Stützzeit $\tau'_{b2} = f(\delta_m)$

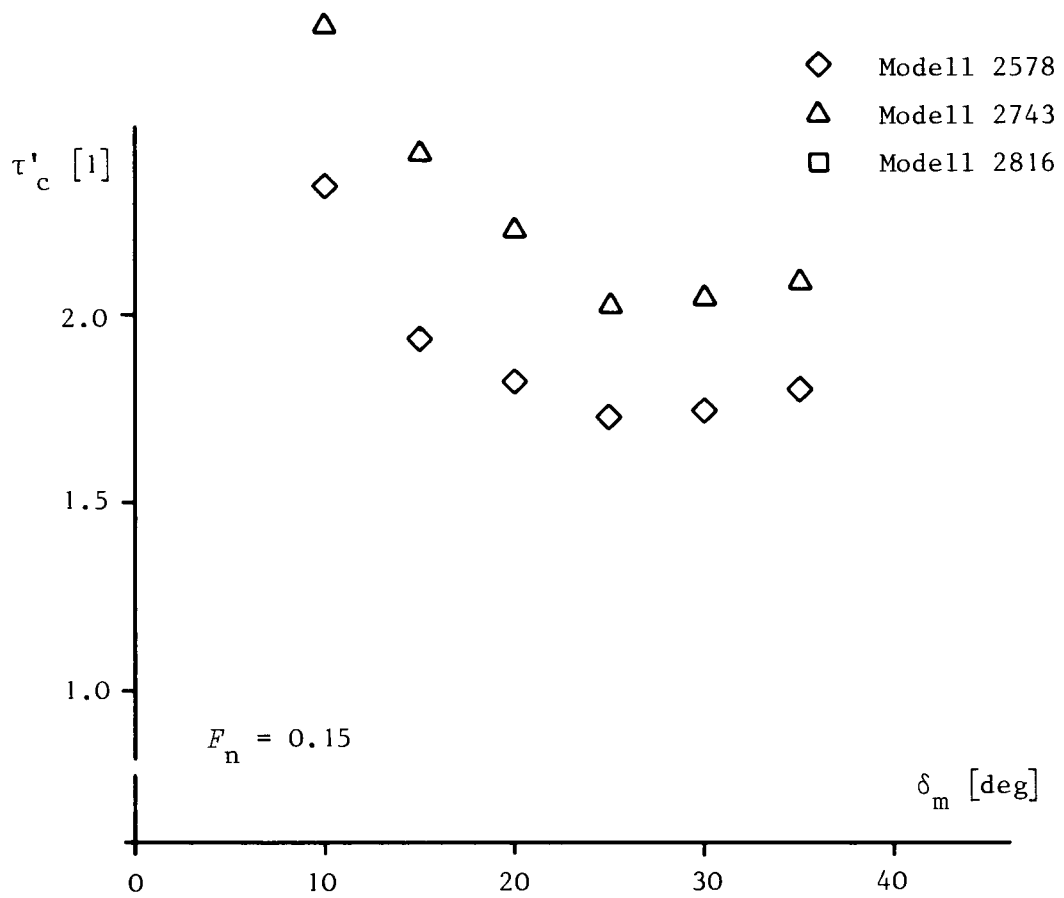
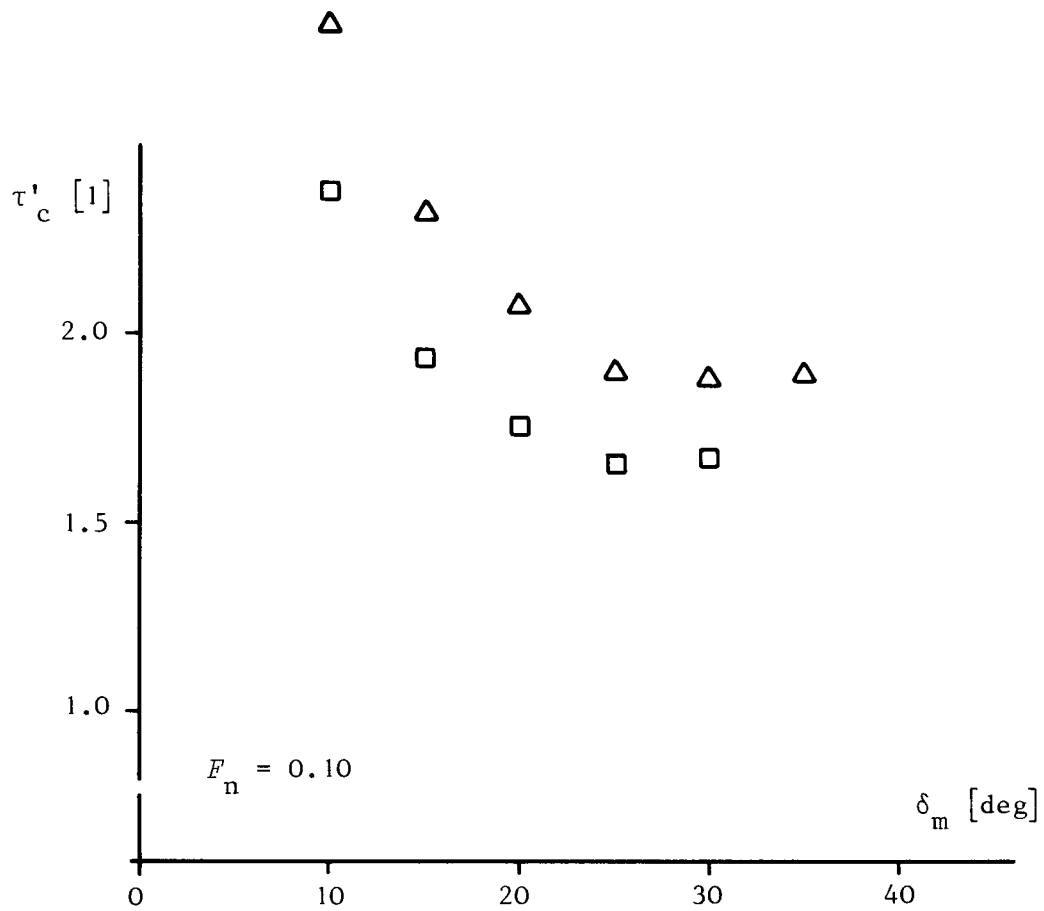


Abb. 15 Dim.lose Rückdrehzeit $\tau'_c = f(\delta_m)$

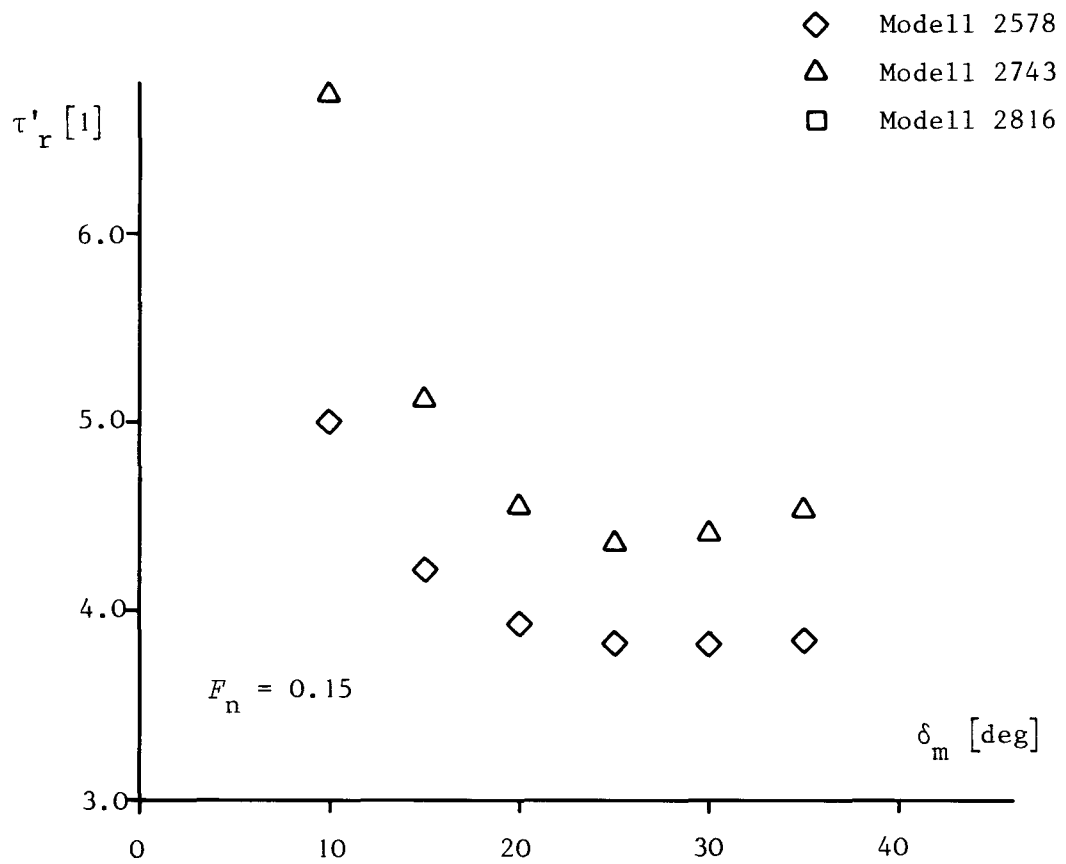
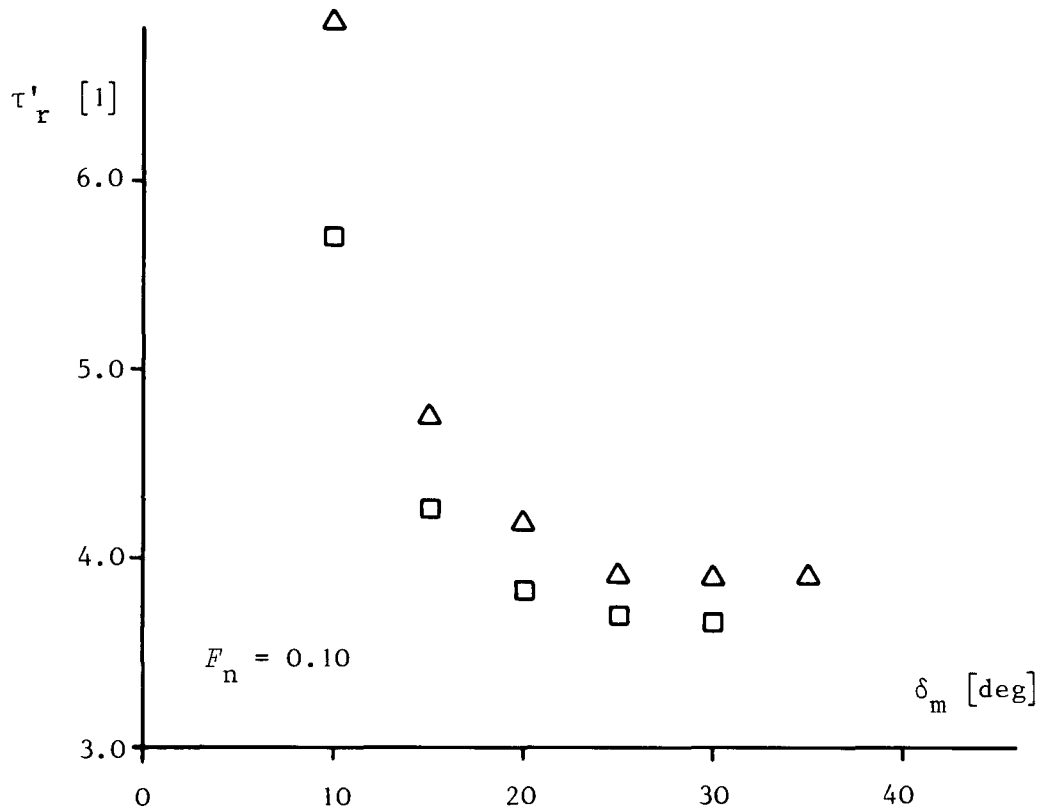


Abb. 16 Dim.lose Ausweichzeit $\tau'_r = f(\delta_m)$

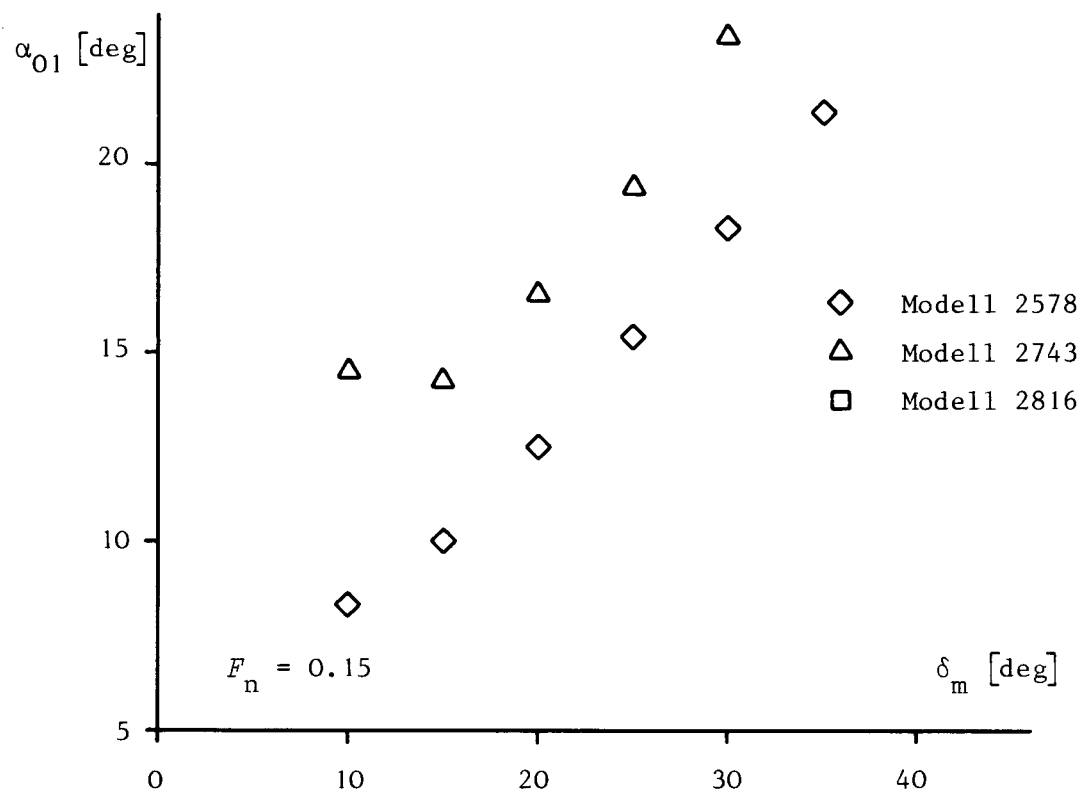
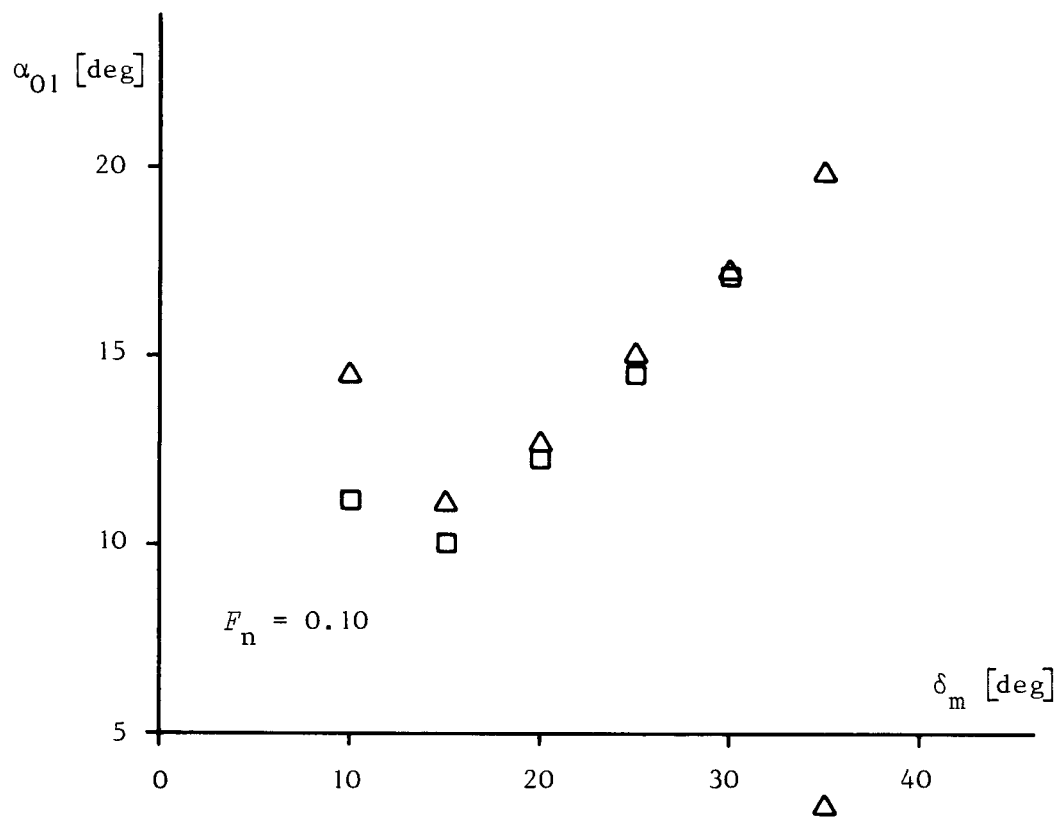


Abb. 17 Stb.-Überschwingwinkel $\alpha_{01} = f(\delta_m)$

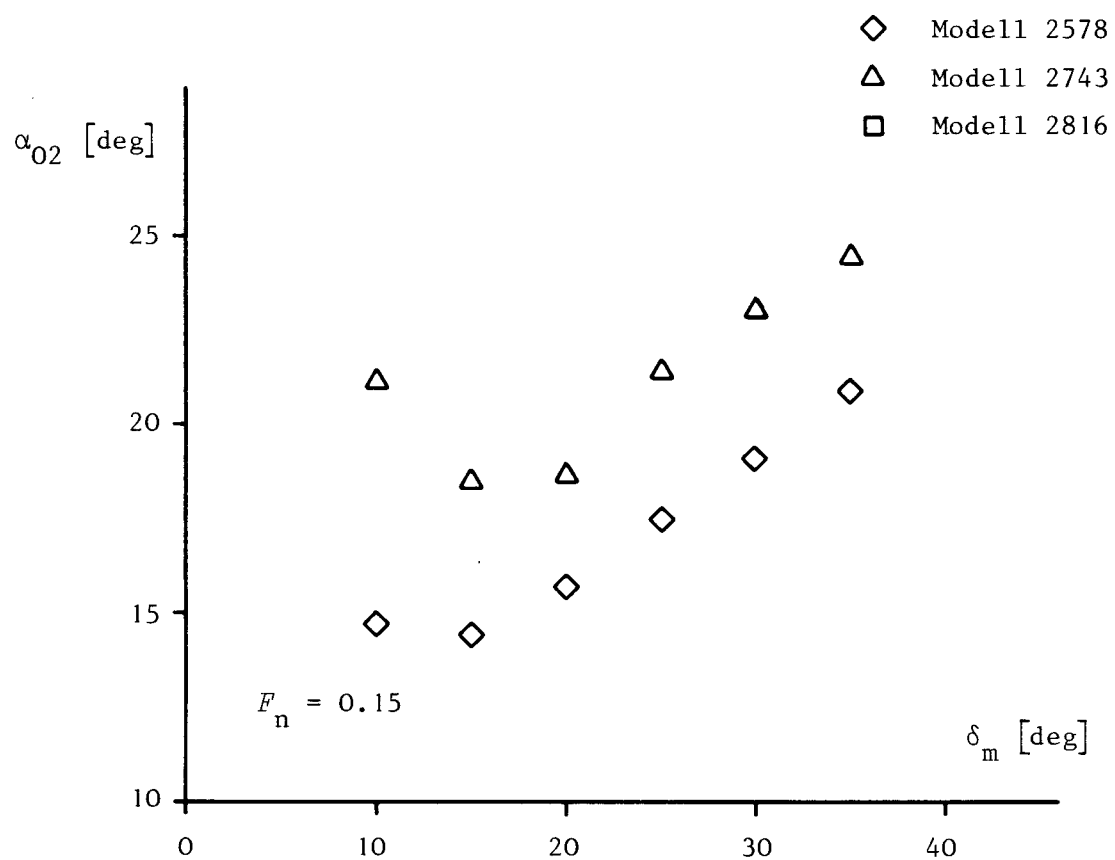
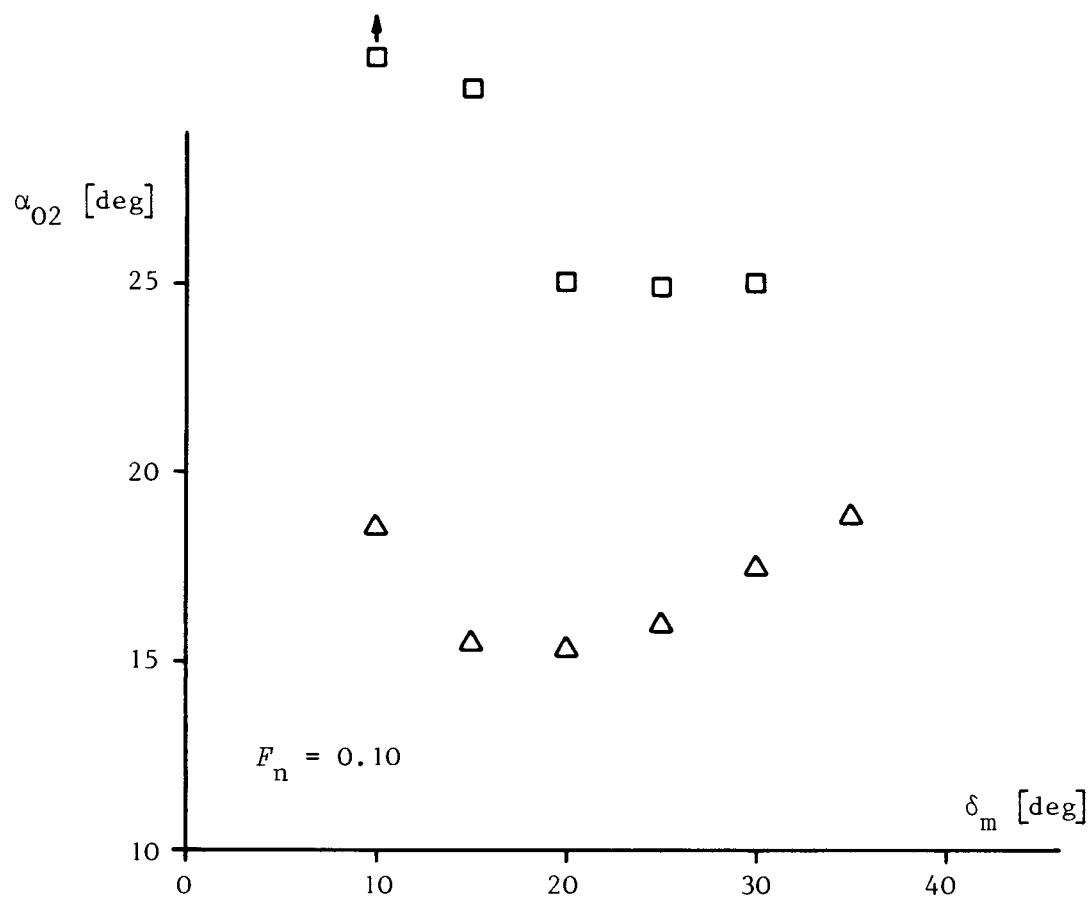


Abb. 18 Bb.-Überschwingwinkel $\alpha_{02} = f(\delta_m)$

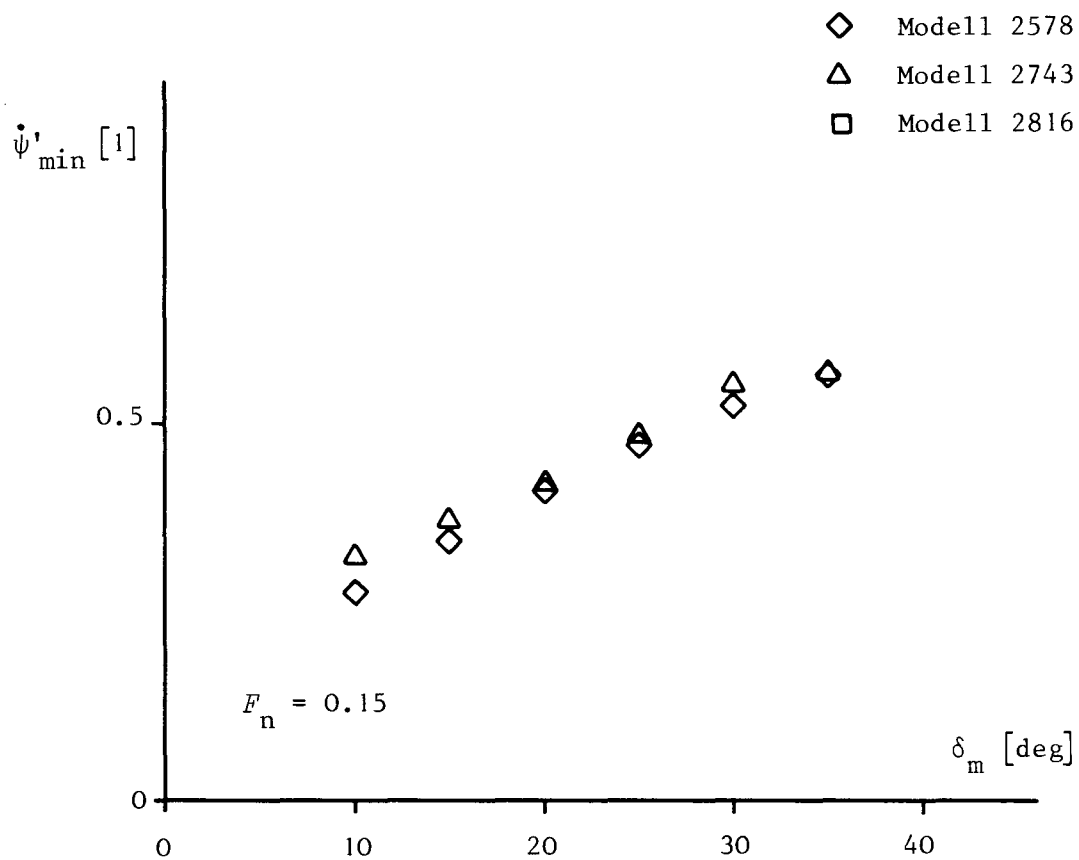
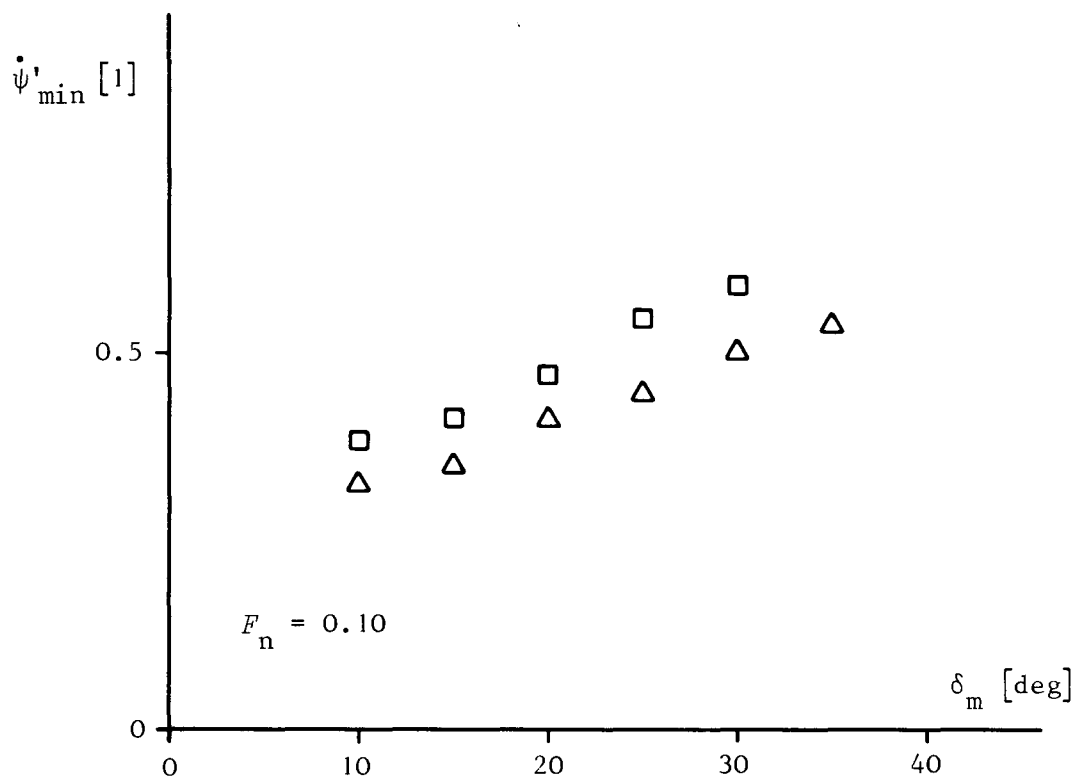


Abb. 19 Dim.lose Bb.-Drehgeschwindigkeit $\dot{\psi}'_{\min} = f(\delta_m)$

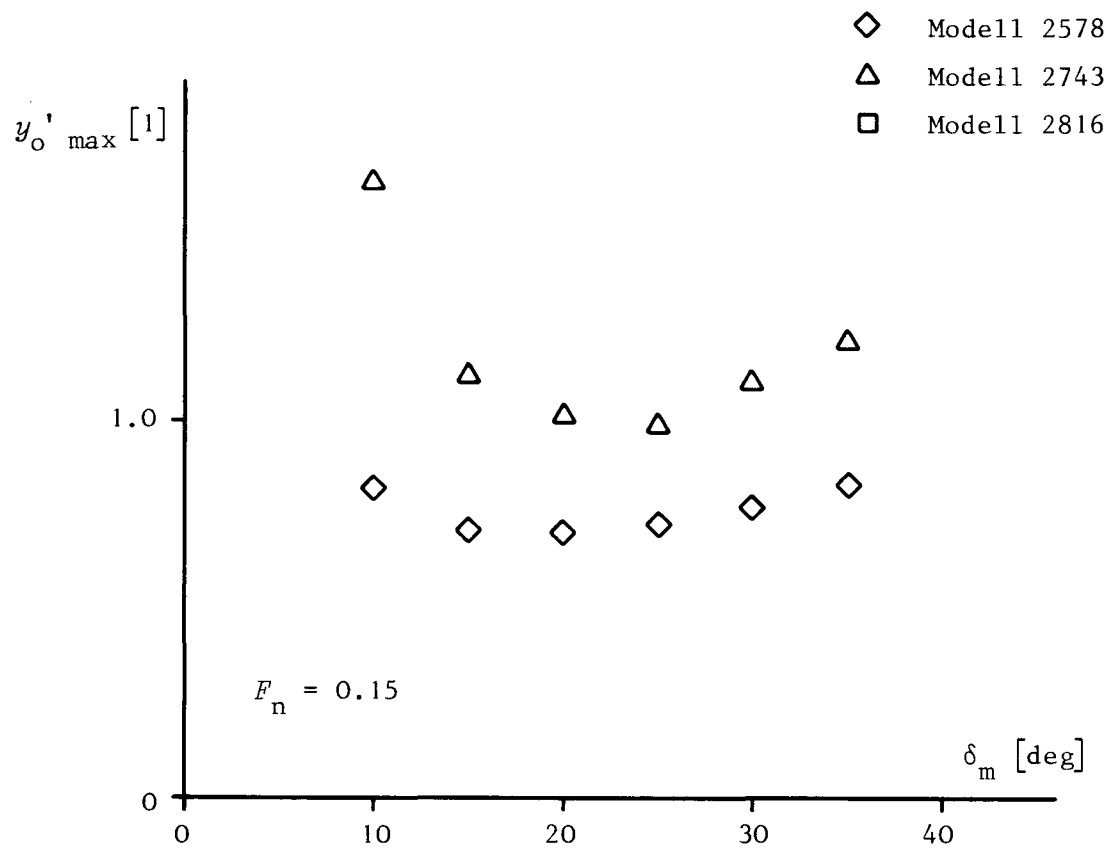
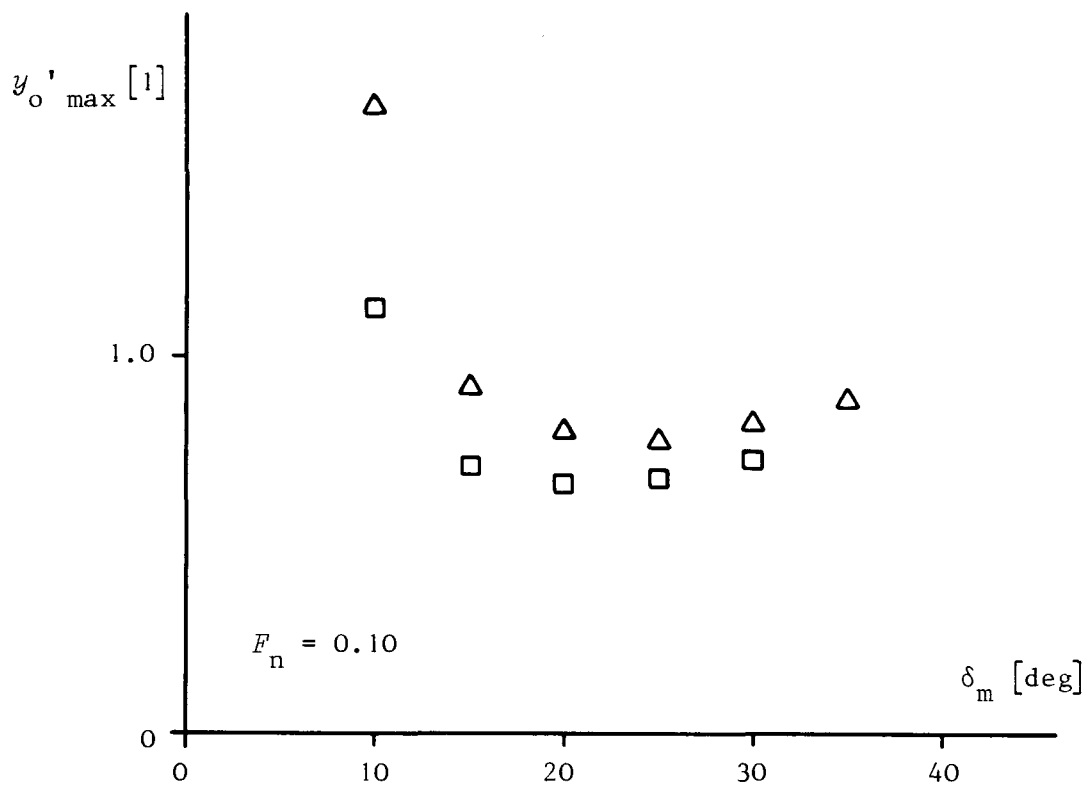
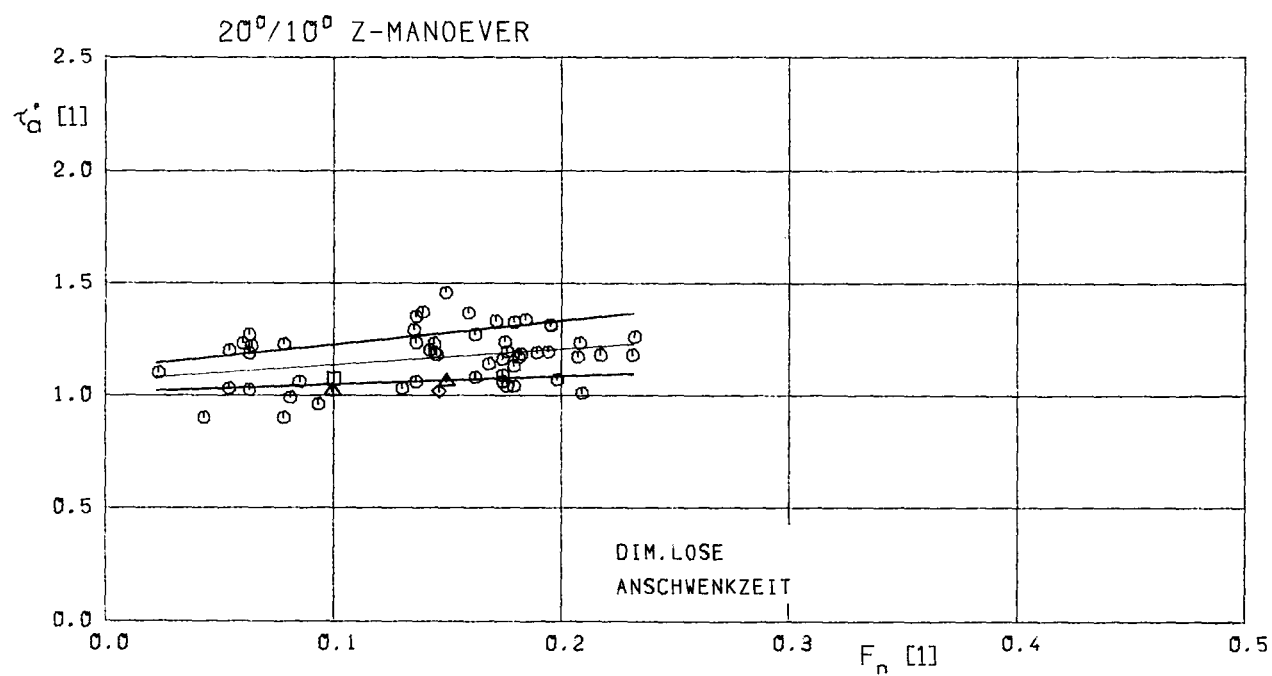
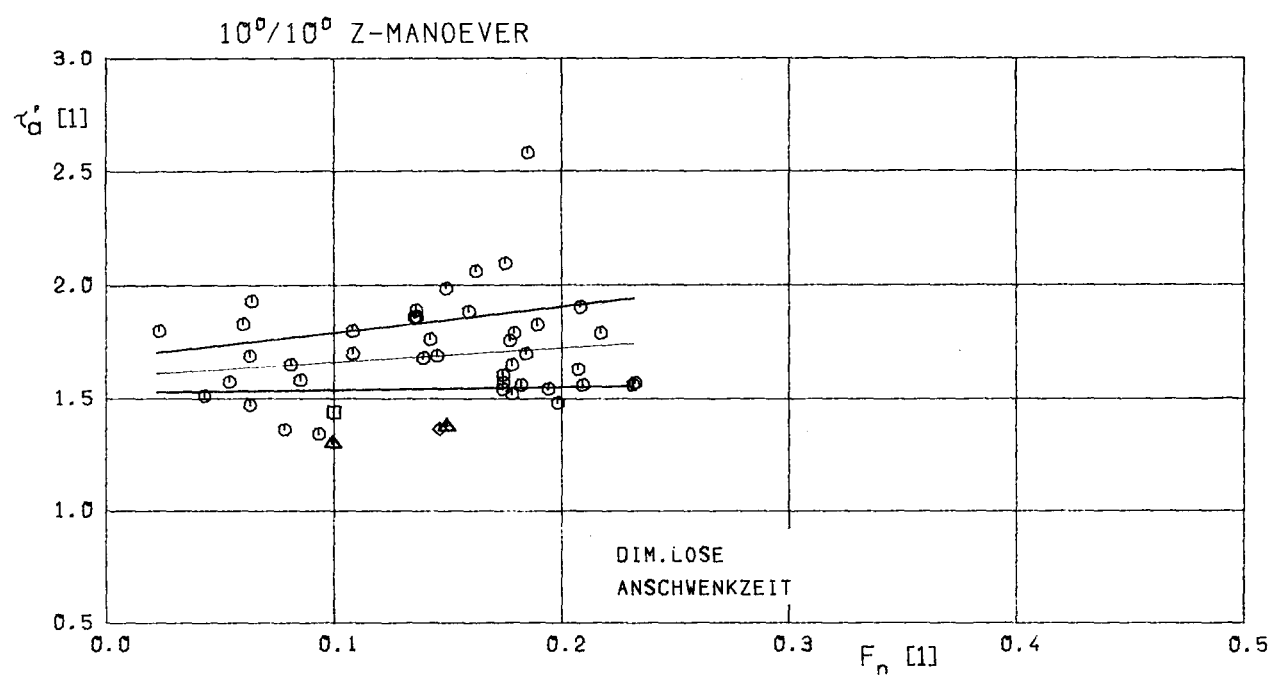


Abb. 20 Dim.lose maximale Querversetzung $y_o'_{\max} = f(\delta_m)$



○ STATIST. DATEN DER HSVA, MASSENGUTSCHIFFE

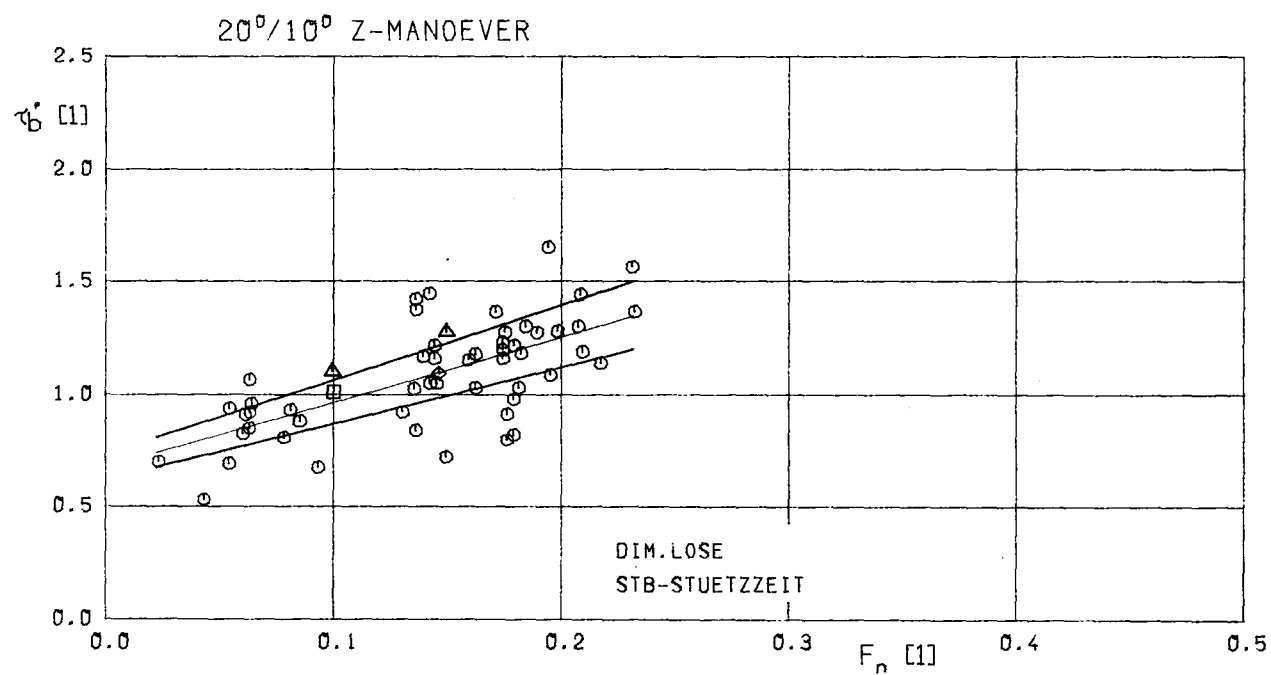
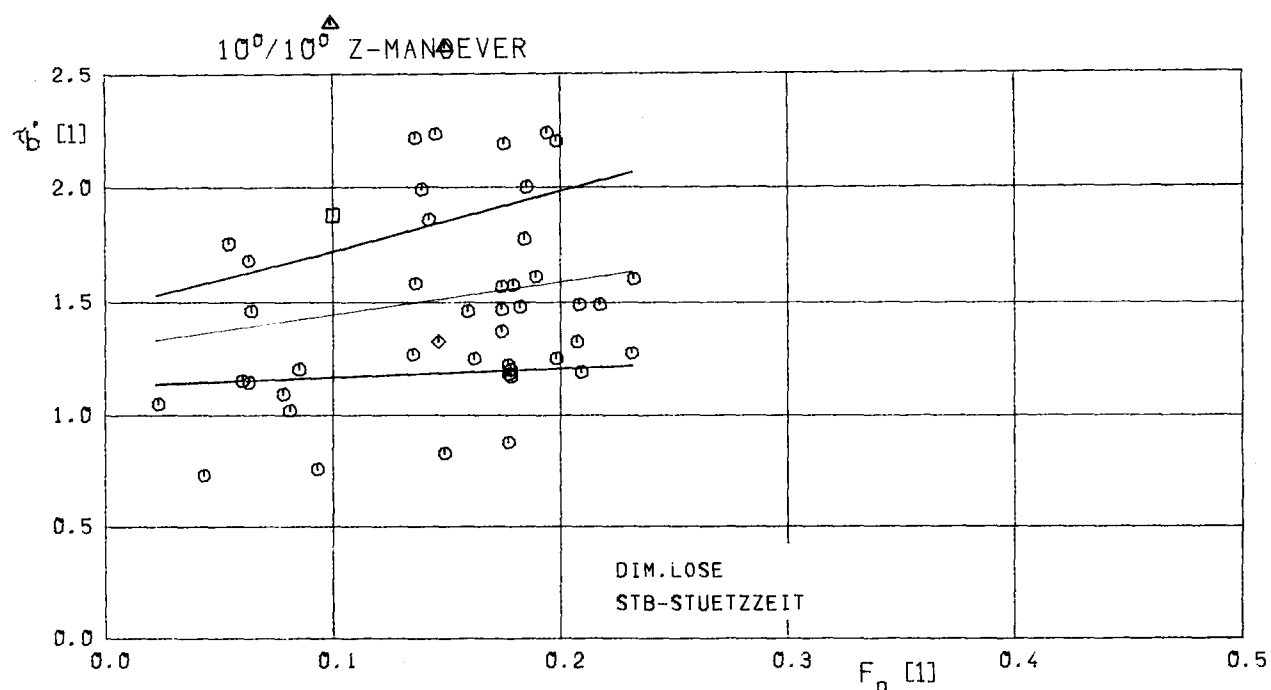
◇ HSVA-MODELL NR. 2578, $CP = 0.768$

△ HSVA-MODELL NR. 2743, $CP = 0.600$

□ HSVA-MODELL NR. 2816, $CP = 0.715$

STAND: 04.12.80

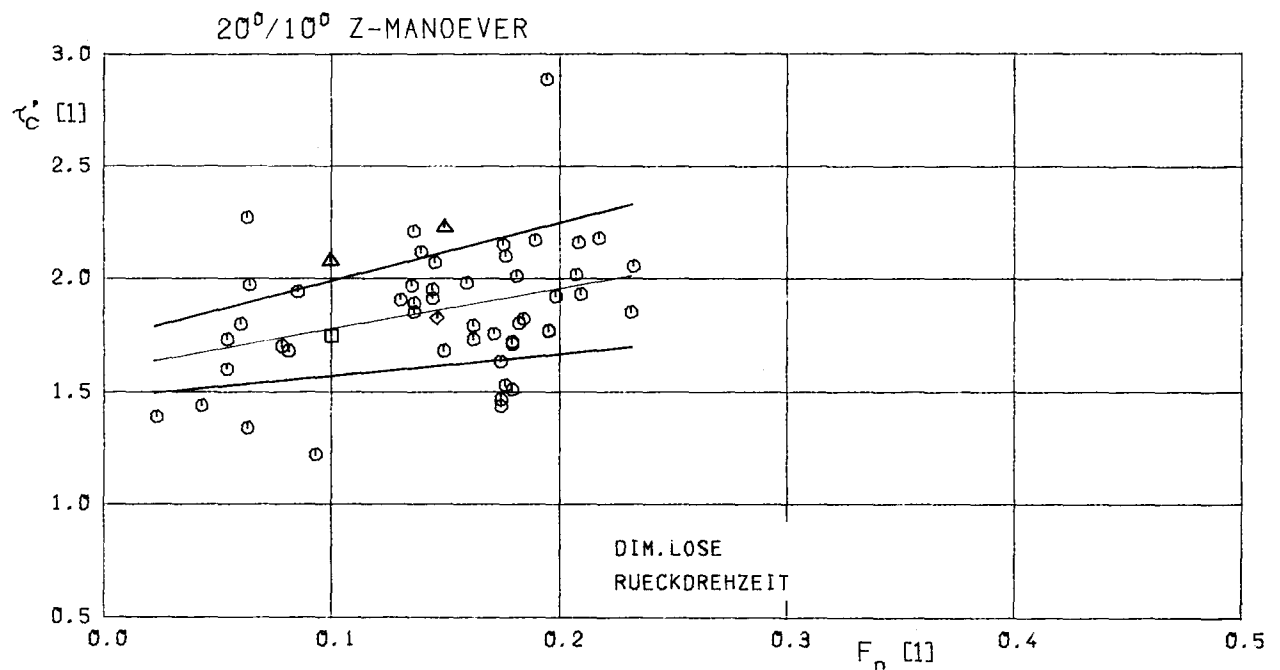
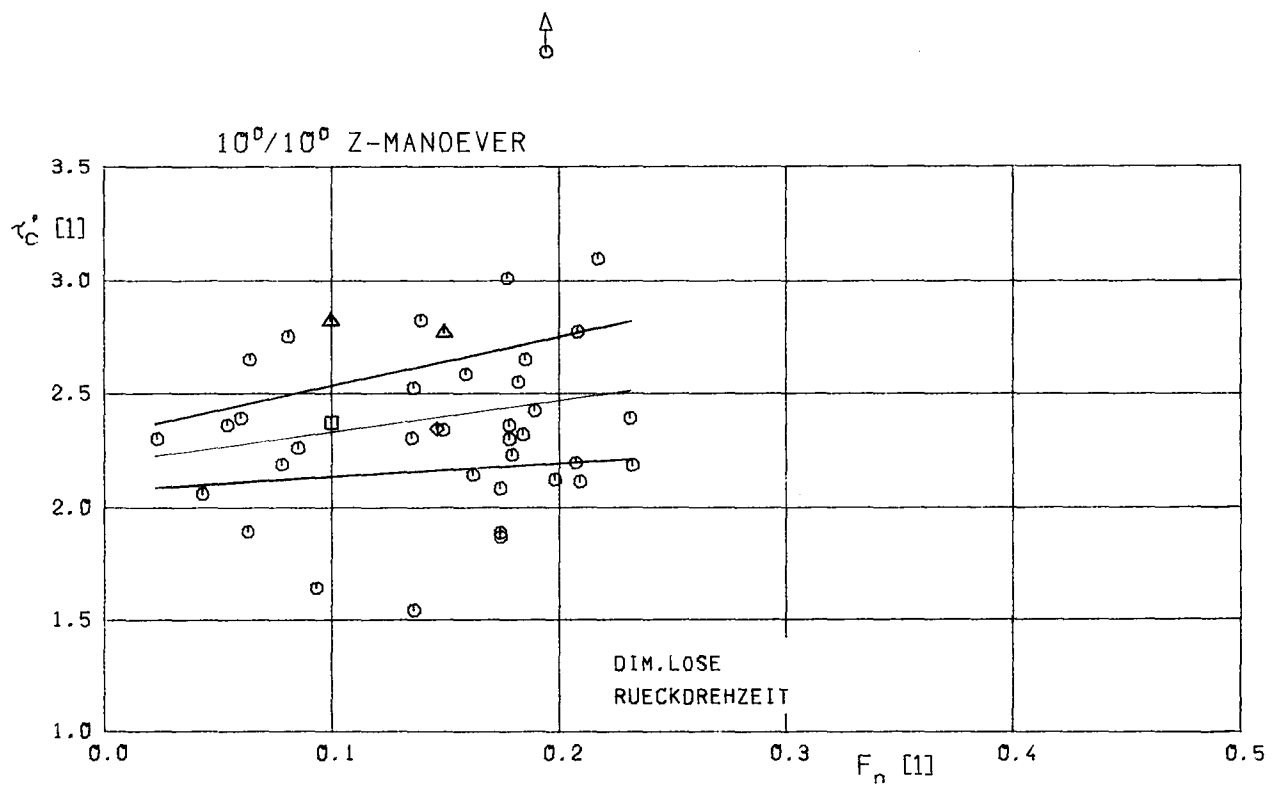
Abb. 21 Statistischer Vergleich von Manövrierkenngrößen



- STATIST. DATEN DER HSVA, MASSENGUTSCHIFFE
- ◇ HSVA-MODELL NR. 2578, $CP = 0.768$
- △ HSVA-MODELL NR. 2743, $CP = 0.600$
- HSVA-MODELL NR. 2816, $CP = 0.715$

STAND: 04.12.80

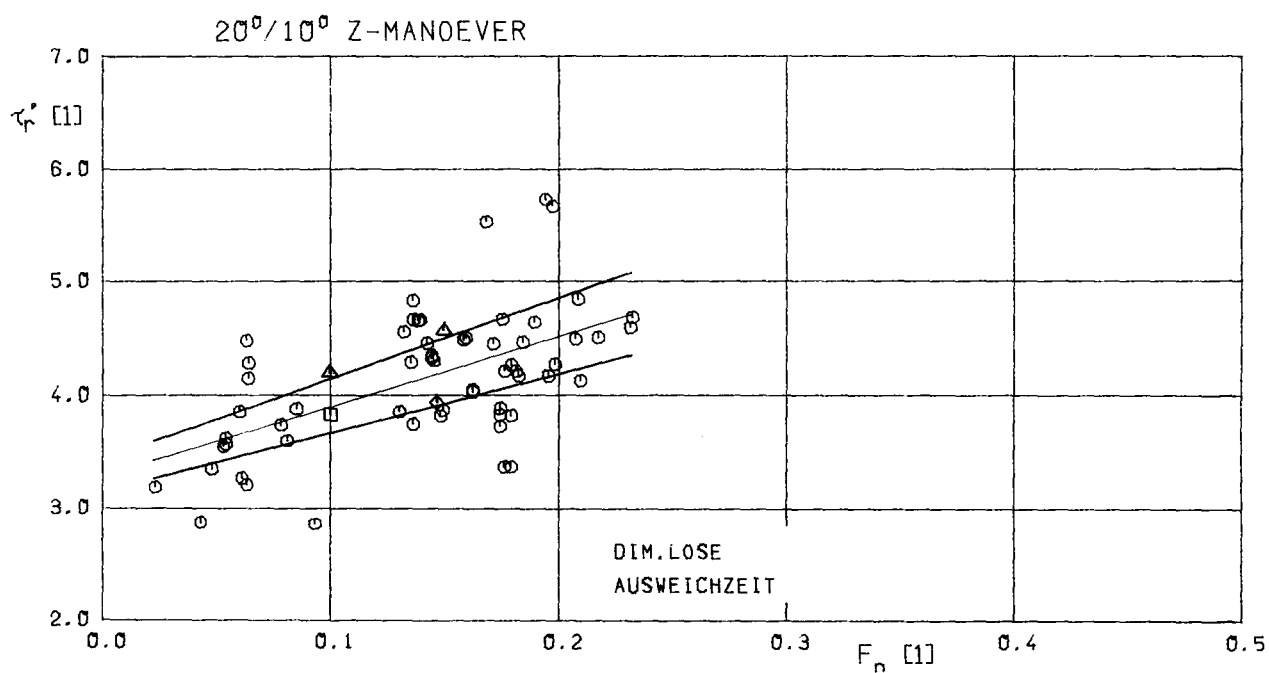
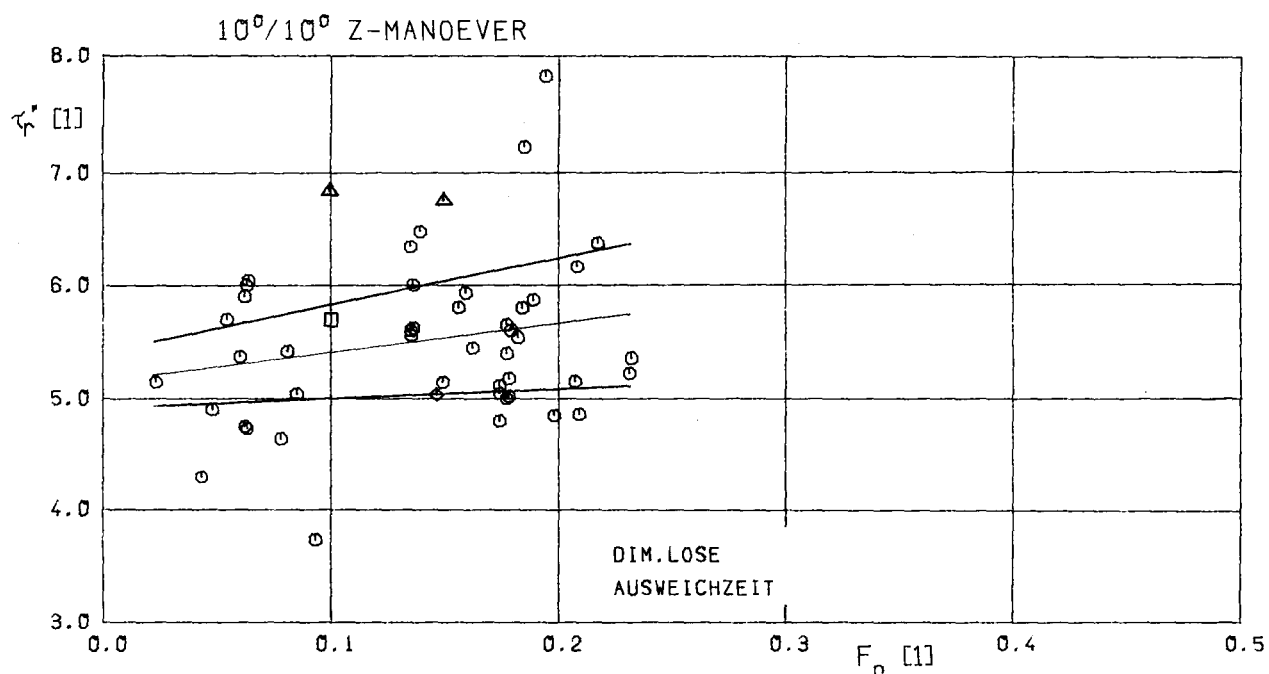
Abb. 22 Statistischer Vergleich von Manövrierkenngrößen



- STATIST. DATEN DER HSVA, MASSENGUTSCHIFFE
- ◇ HSVA-MODELL NR. 2578, $CP = 0.768$
- △ HSVA-MODELL NR. 2743, $CP = 0.600$
- HSVA-MODELL NR. 2816, $CP = 0.715$

STAND: 04.12.80

Abb. 23 Statistischer Vergleich von Manövrierkenngrößen



○ STATIST. DATEN DER HSVA, MASSENGUTSCHIFFE

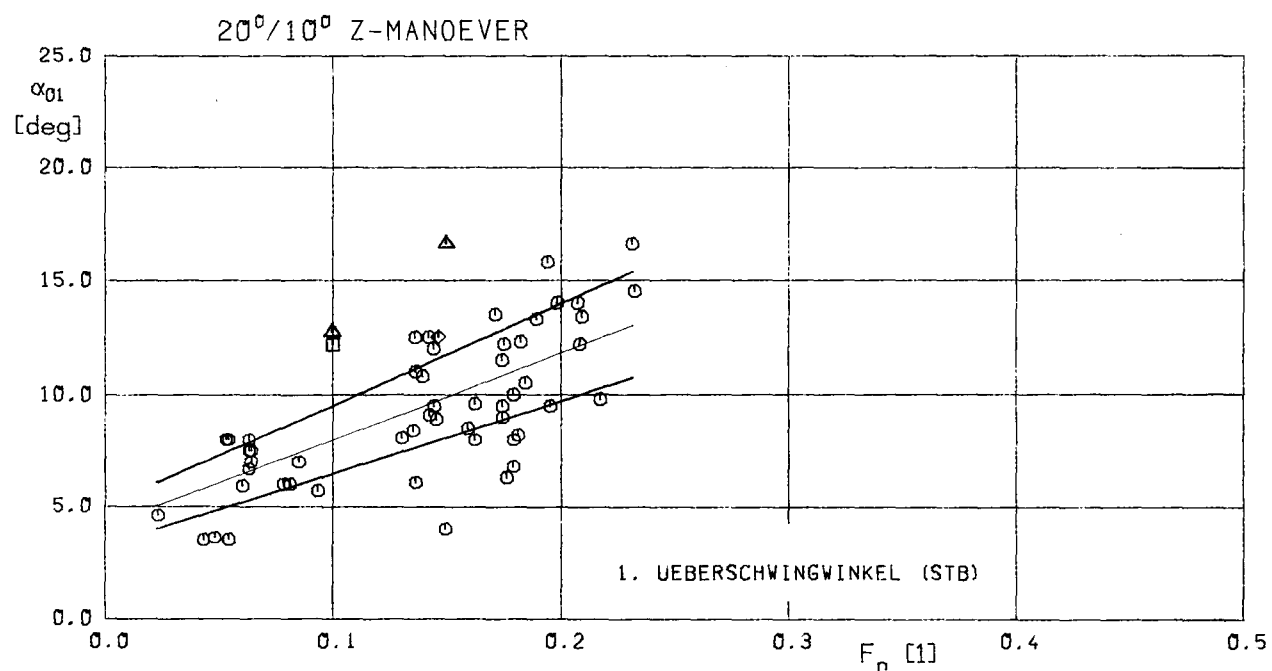
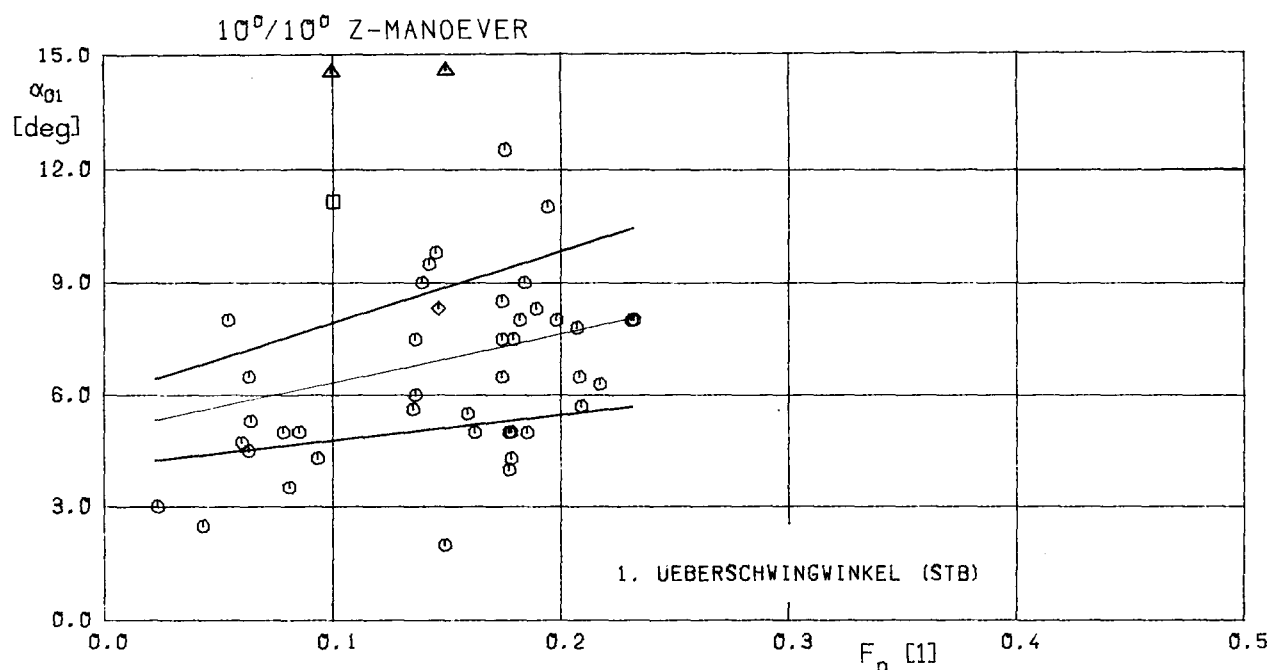
◇ HSVA-MODELL NR. 2578, $CP = 0.768$

△ HSVA-MODELL NR. 2743, $CP = 0.600$

□ HSVA-MODELL NR. 2816, $CP = 0.715$

STAND: 04.12.80

Abb. 24 Statistischer Vergleich von Manövrierkenngrößen



○ STATIST. DATEN DER HSVA, MASSENGUTSCHIFFE

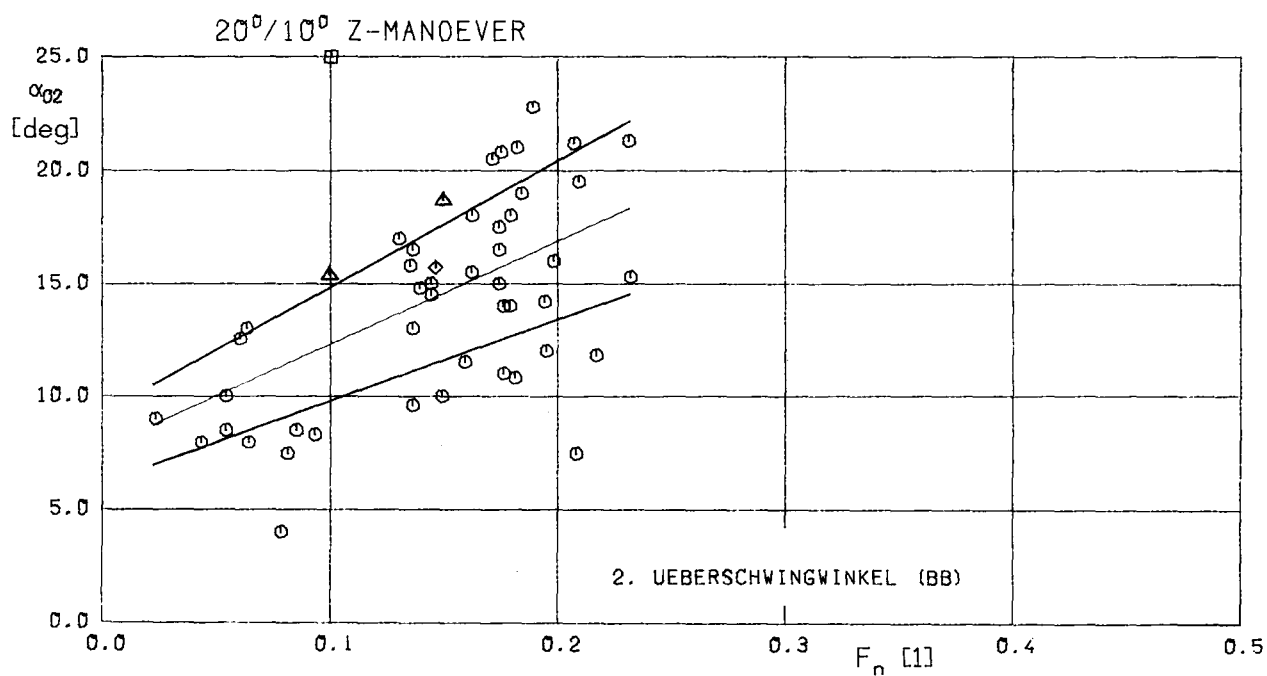
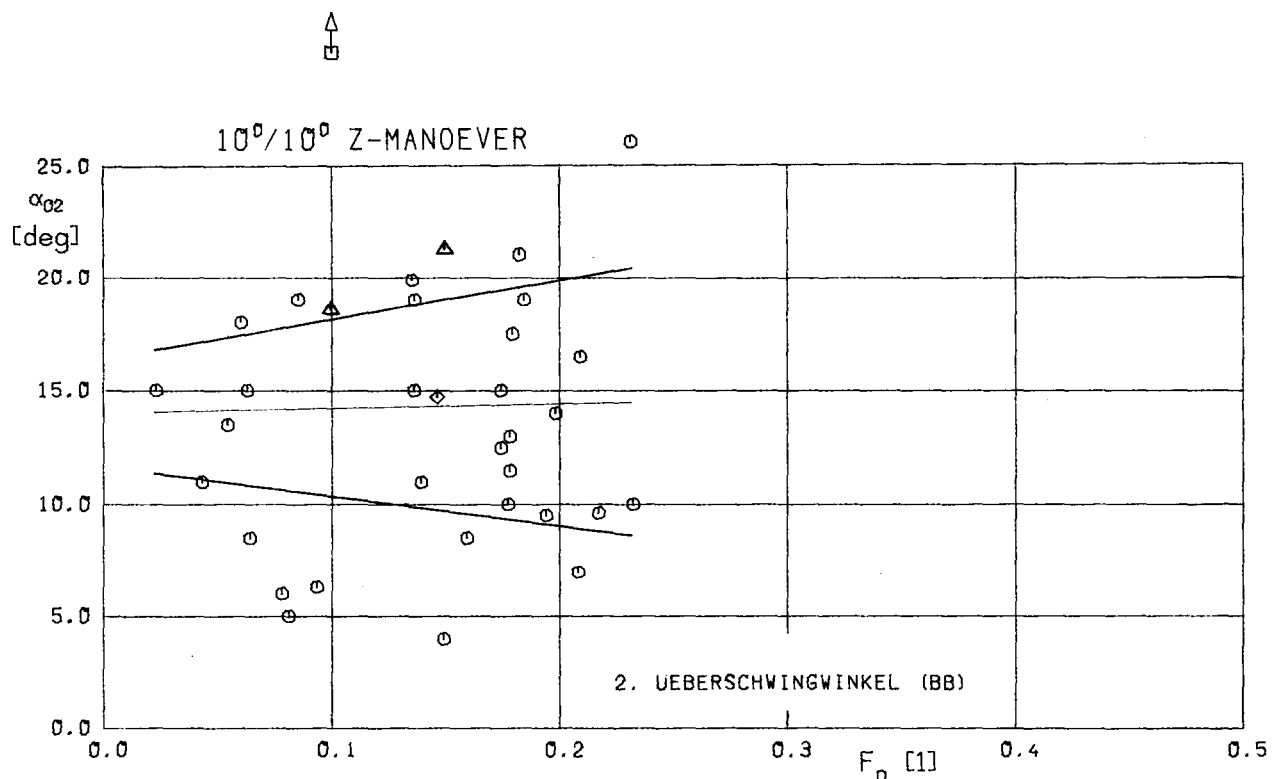
◇ HSVA-MODELL NR. 2578, $CP = 0.768$

△ HSVA-MODELL NR. 2743, $CP = 0.600$

□ HSVA-MODELL NR. 2816, $CP = 0.715$

STAND: 04.12.80

Abb. 25 Statistischer Vergleich von Manövrierkenngrößen



○ STATIST. DATEN DER HSVA, MASSENGUTSCHIFFE

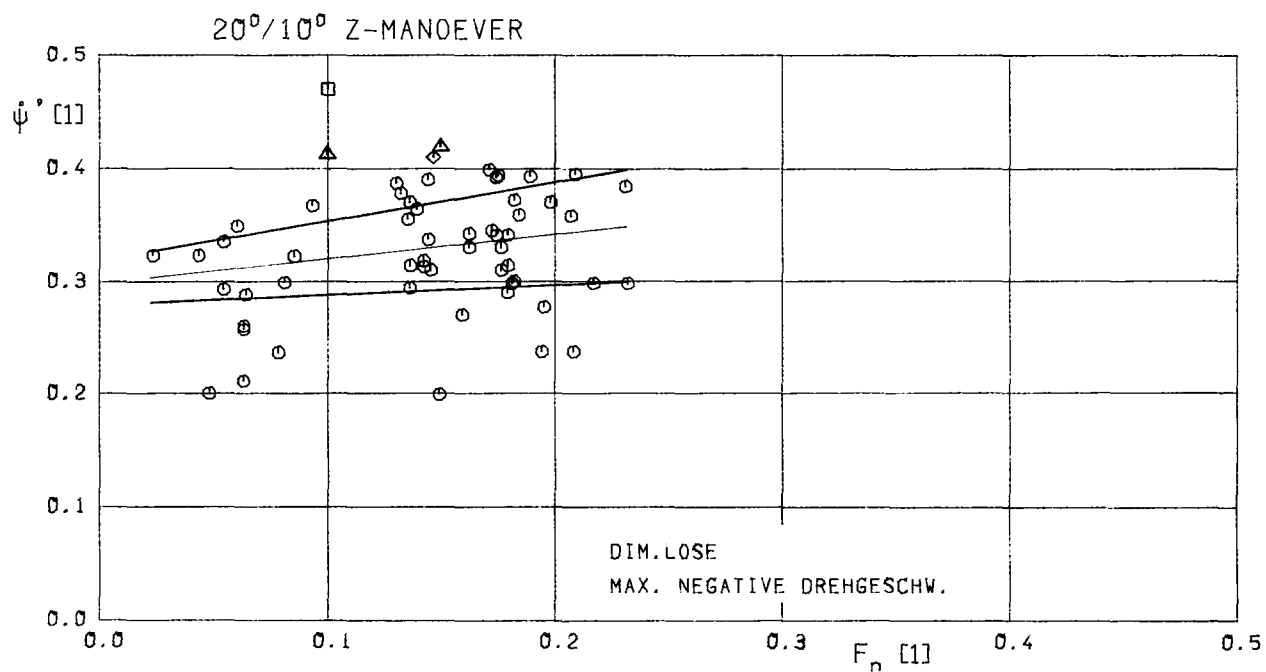
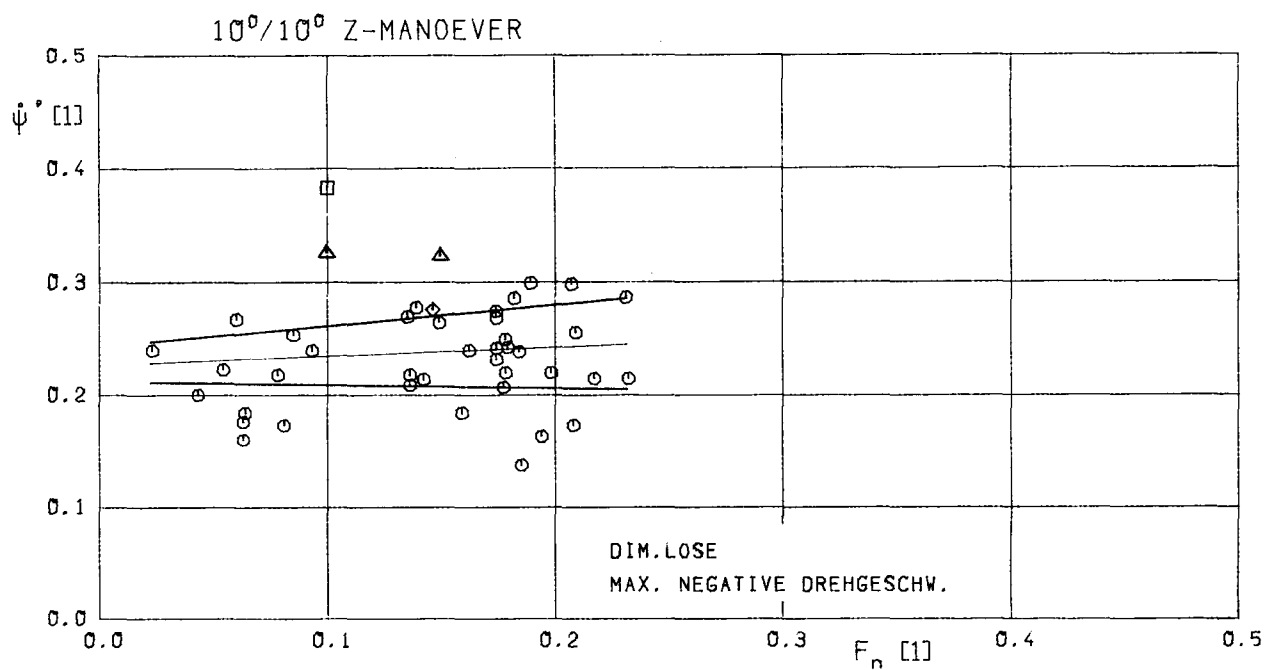
◇ HSVA-MODELL NR. 2578, $CP = 0.768$

△ HSVA-MODELL NR. 2743, $CP = 0.600$

□ HSVA-MODELL NR. 2816, $CP = 0.715$

STAND: 04.12.80

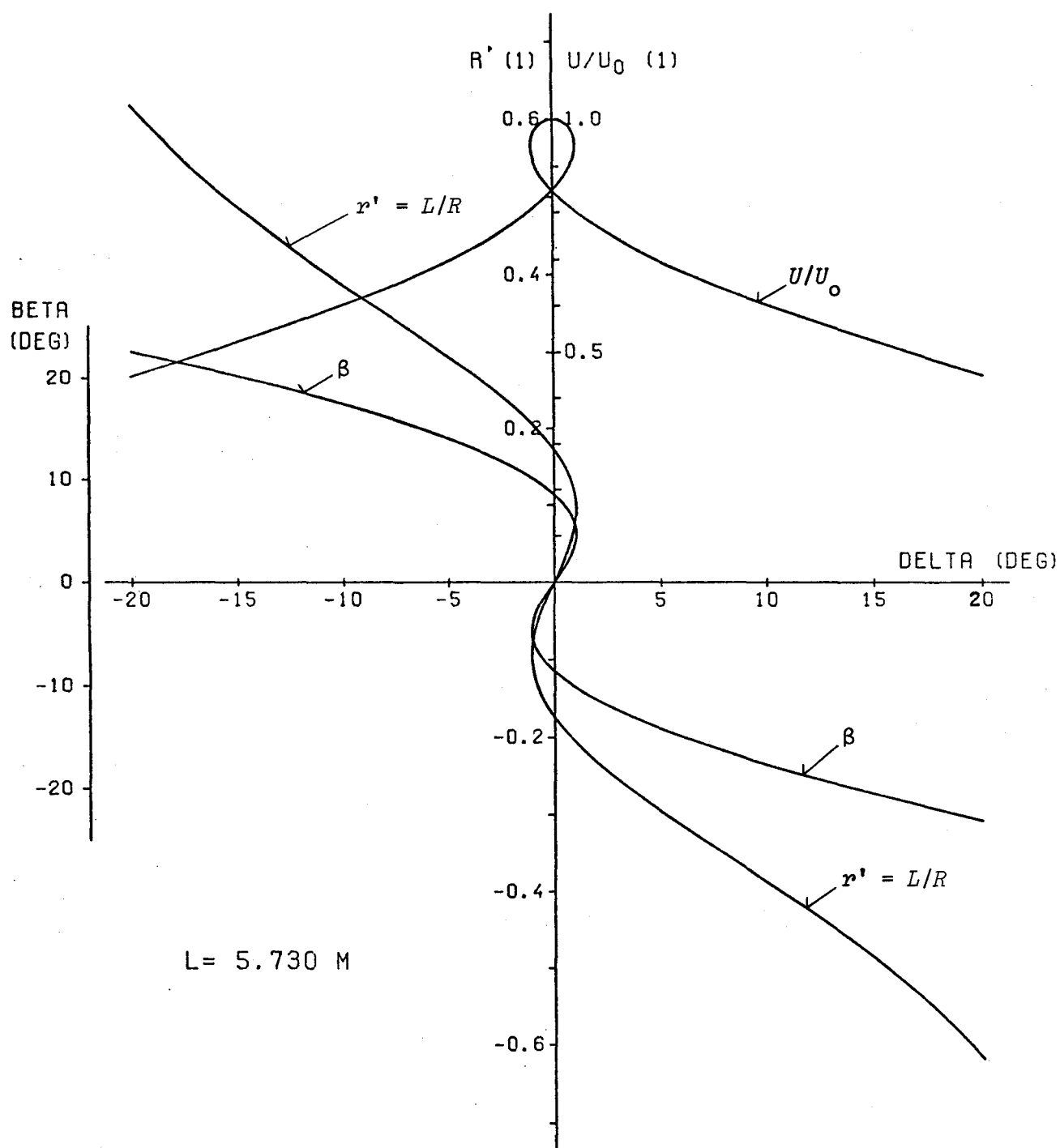
Abb. 26 Statistischer Vergleich von Manövrierkenngrößen



- $\circ$ STATIST. DATEN DER HSVA, MASSENGUTSCHIFFE
- $\diamond$ HSVA-MODELL NR. 2578, $CP = 0.768$
- $\triangle$ HSVA-MODELL NR. 2743, $CP = 0.600$
- $\square$ HSVA-MODELL NR. 2816, $CP = 0.715$

STAND: 04.12.80

Abb. 27 Statistischer Vergleich von Manövrierkenngrößen



HSVA-MODELL NR. 2578 (BREITES SCHIFF)

AUSGANGSGESCHW. $U_0 = 1.100 \text{ M/S}$

Abb. 28 Rechnerisch ermittelte Spiralkurve für das
HSVA-Modell Nr. 2578

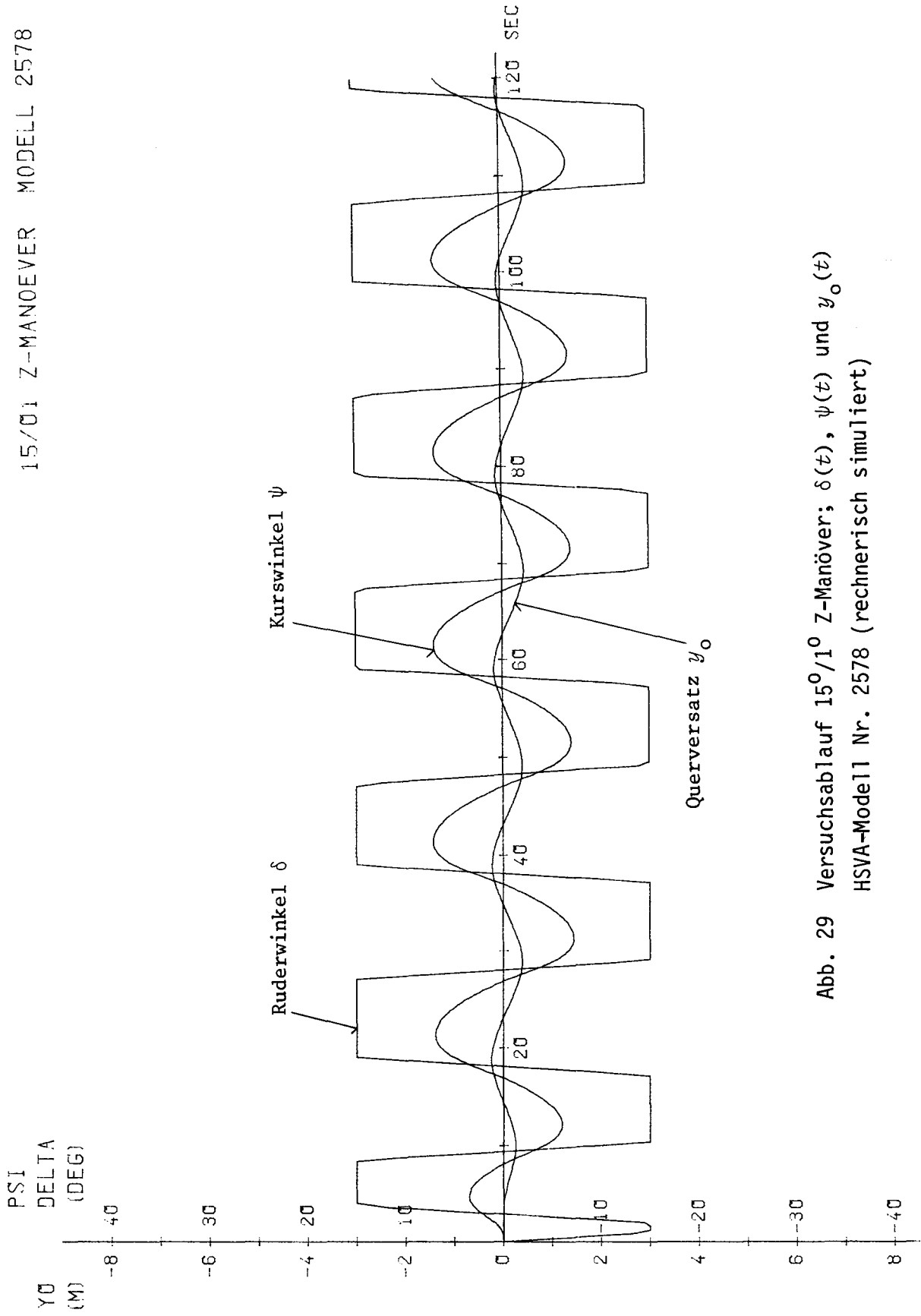


Abb. 29 Versuchsablauf 15°/1° Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_0(t)$
 HSVA-Modell Nr. 2578 (rechnerisch simuliert)

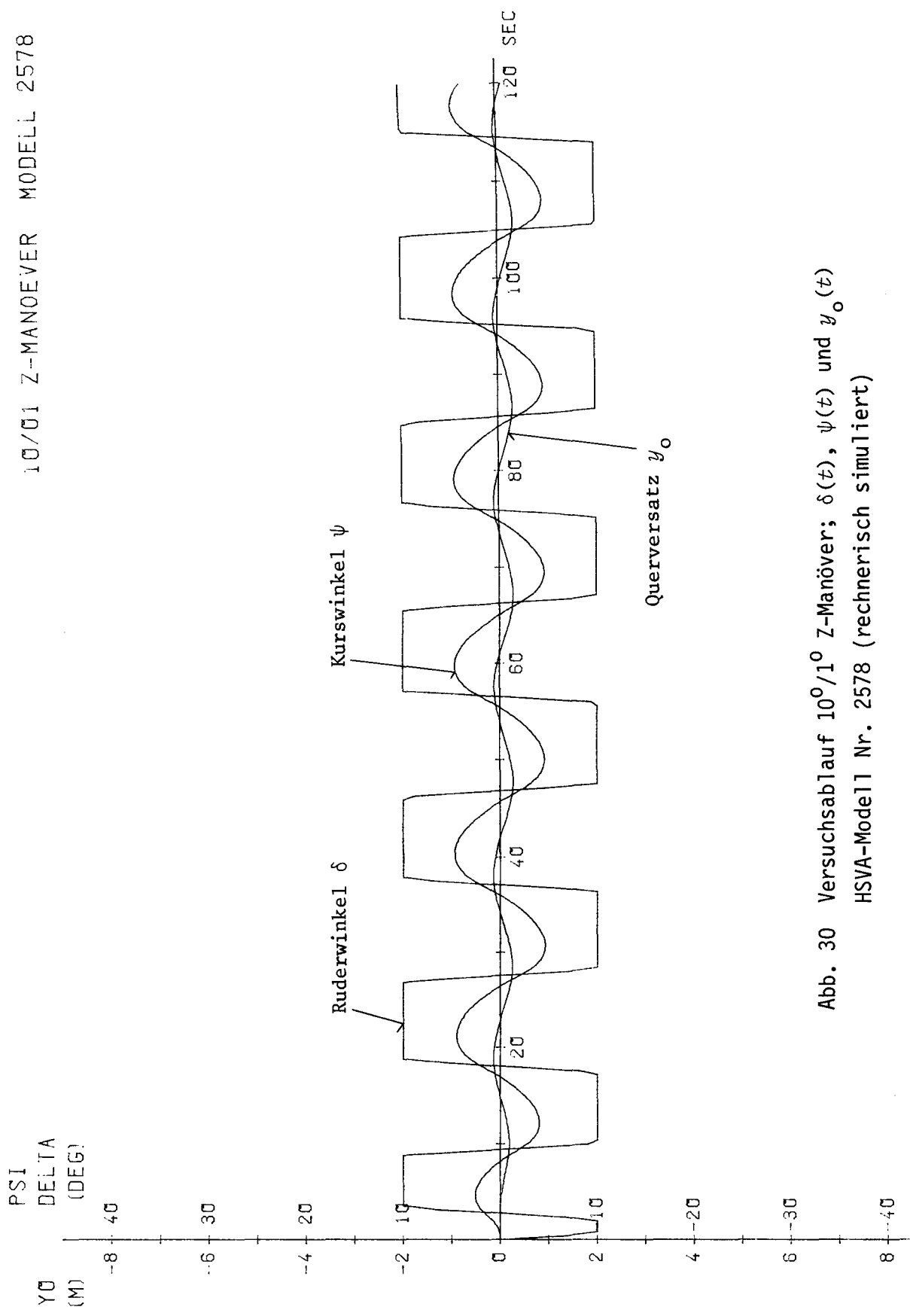


Abb. 30 Versuchsablauf 10°/10° Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_o(t)$
 HVA-Modell Nr. 2578 (rechnerisch simuliert)

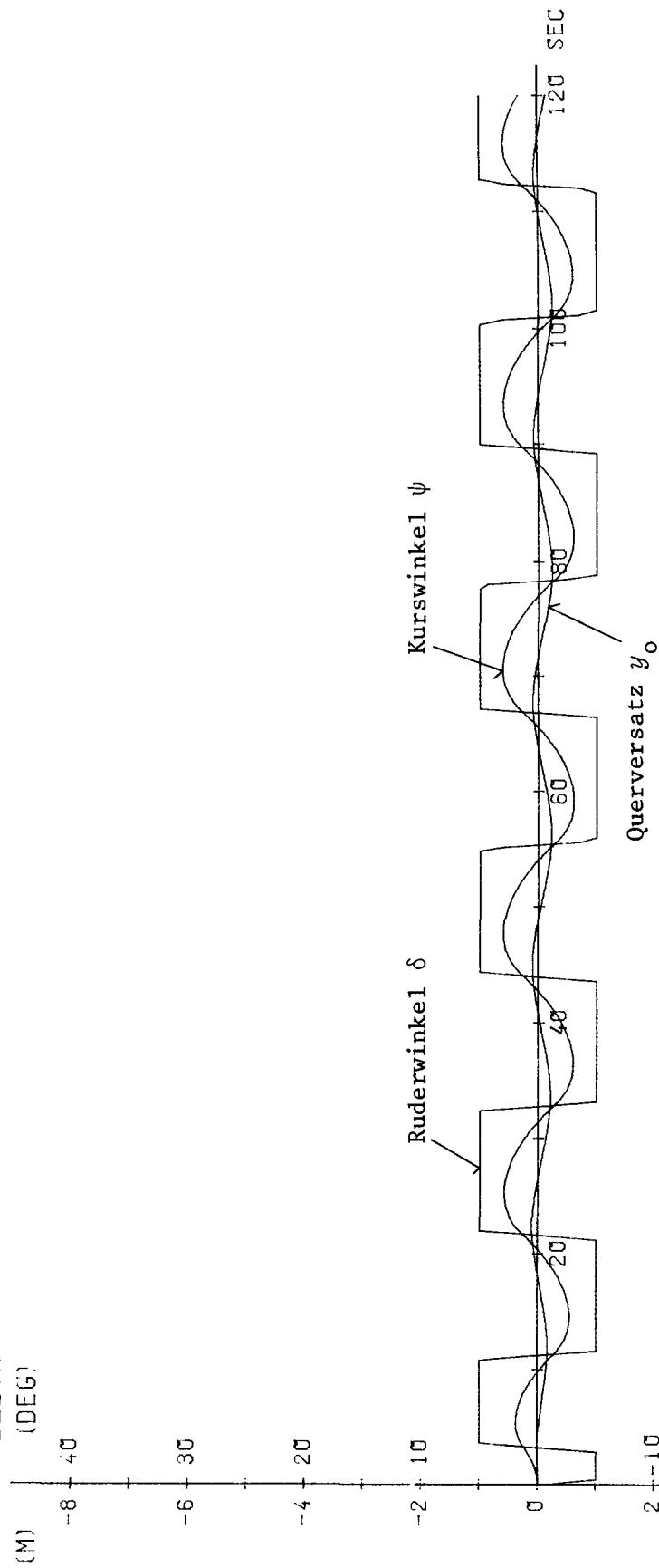


Abb. 31 Versuchsablauf $5^0/1^0$ Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_0(t)$
 HSVA-Modell Nr. 2578 (rechnerisch simuliert)

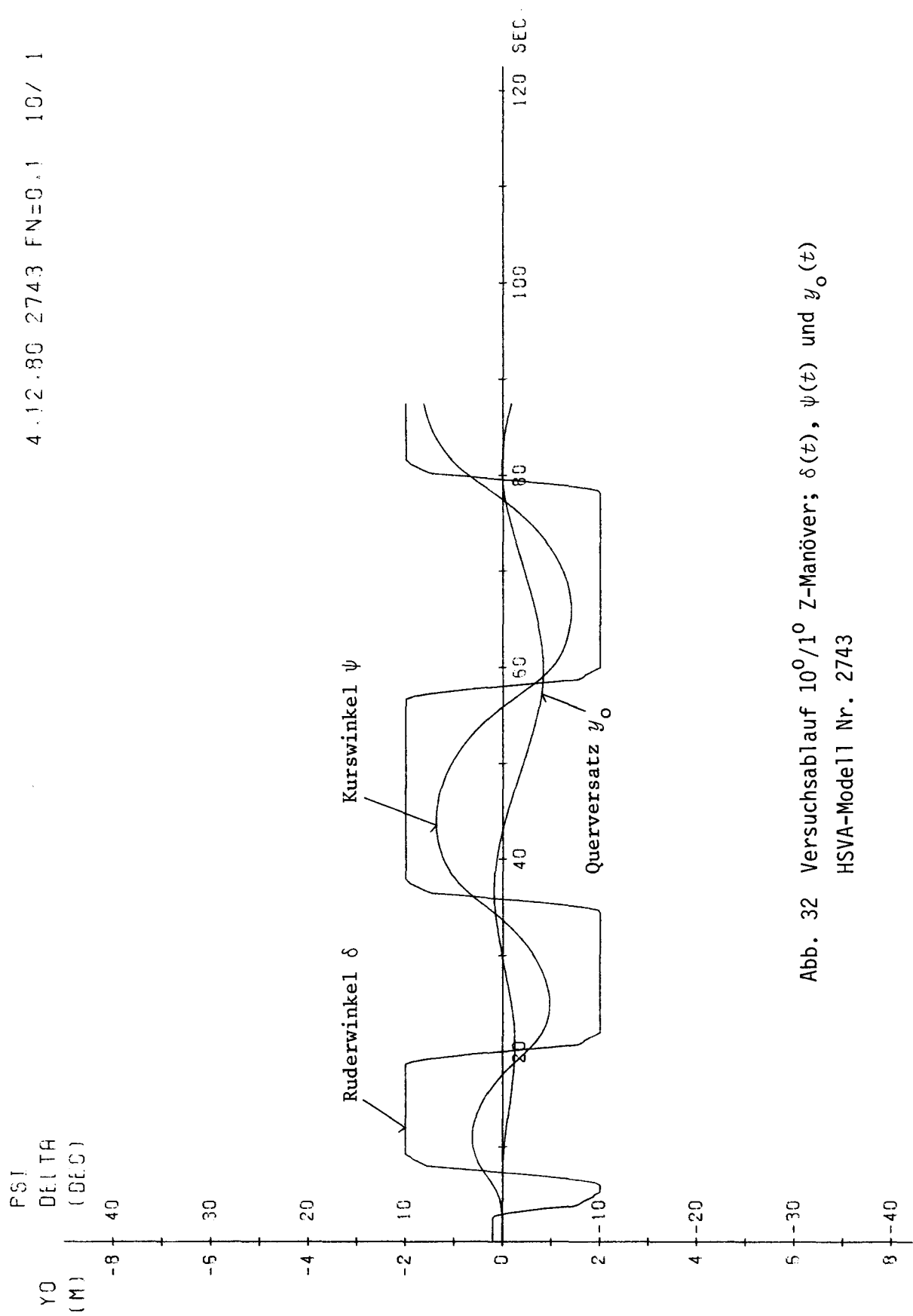


Abb. 32 Versuchsablauf $10^0/1^0$ Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_o(t)$
 HSVA-Modell Nr. 2743

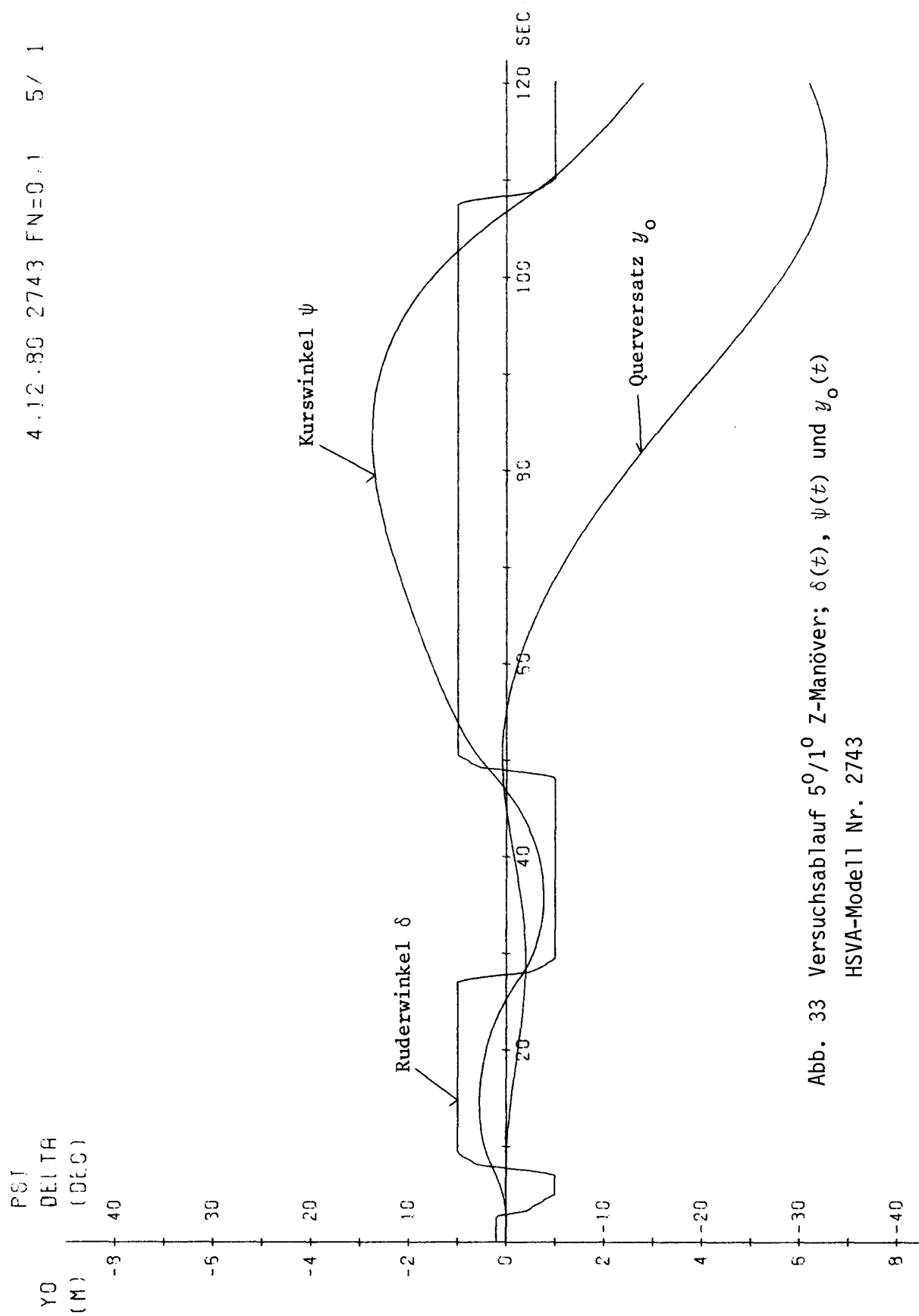


Abb. 33 Versuchsablauf $5^0/1^0$ Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_o(t)$

HSVA-Modell Nr. 2743

PSI
DELTA
(M)

2.12.80 2816 FN=0.1 10/ 1

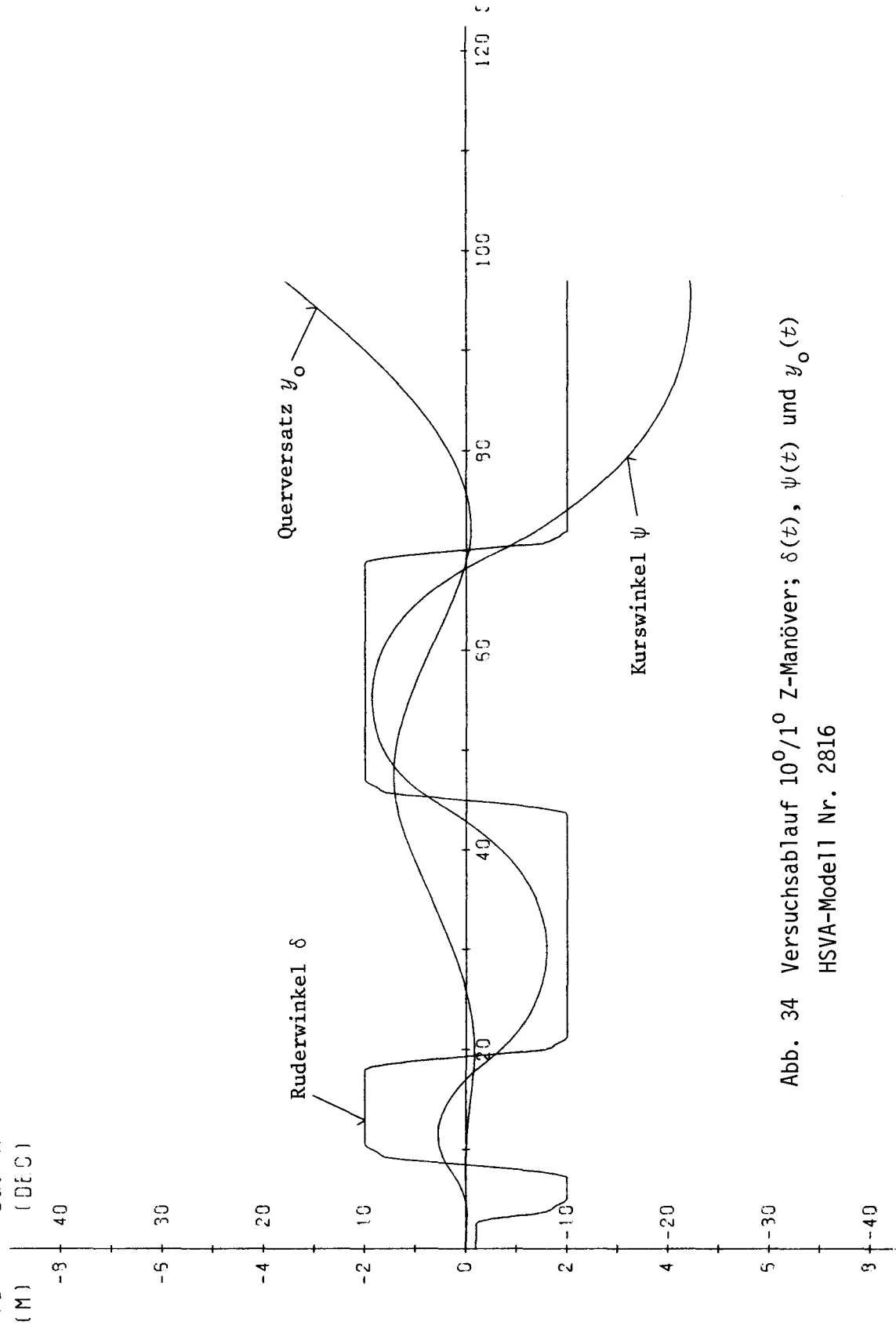


Abb. 34 Versuchsablauf $10^0/1^0$ Z-Manöver; $\delta(t)$, $\psi(t)$ und $y_o(t)$
HSVA-Modell Nr. 2816