

151 | August 1965

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Harald Keil

**Messung der vom Propeller
induzierten Druckschwankungen am
Forschungsschiff „Meteor“ und
Vergleich mit dem Modellversuch**

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 151

Messung der vom Propeller induzierten Druckschwankungen
am Forschungsschiff "Meteore" und Vergleich mit dem
Modellversuch

von

Harald Keil

Hamburg, August 1965

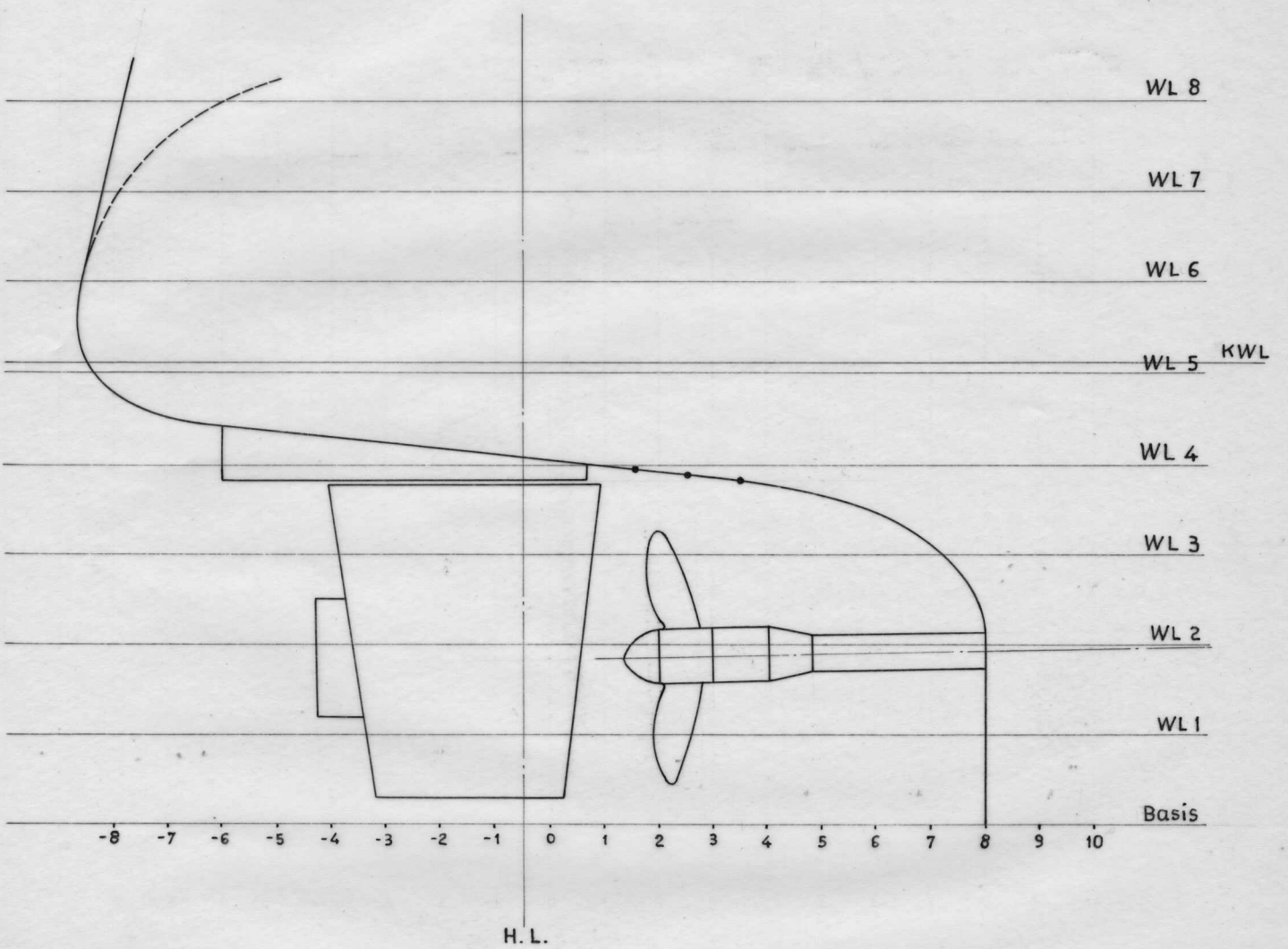
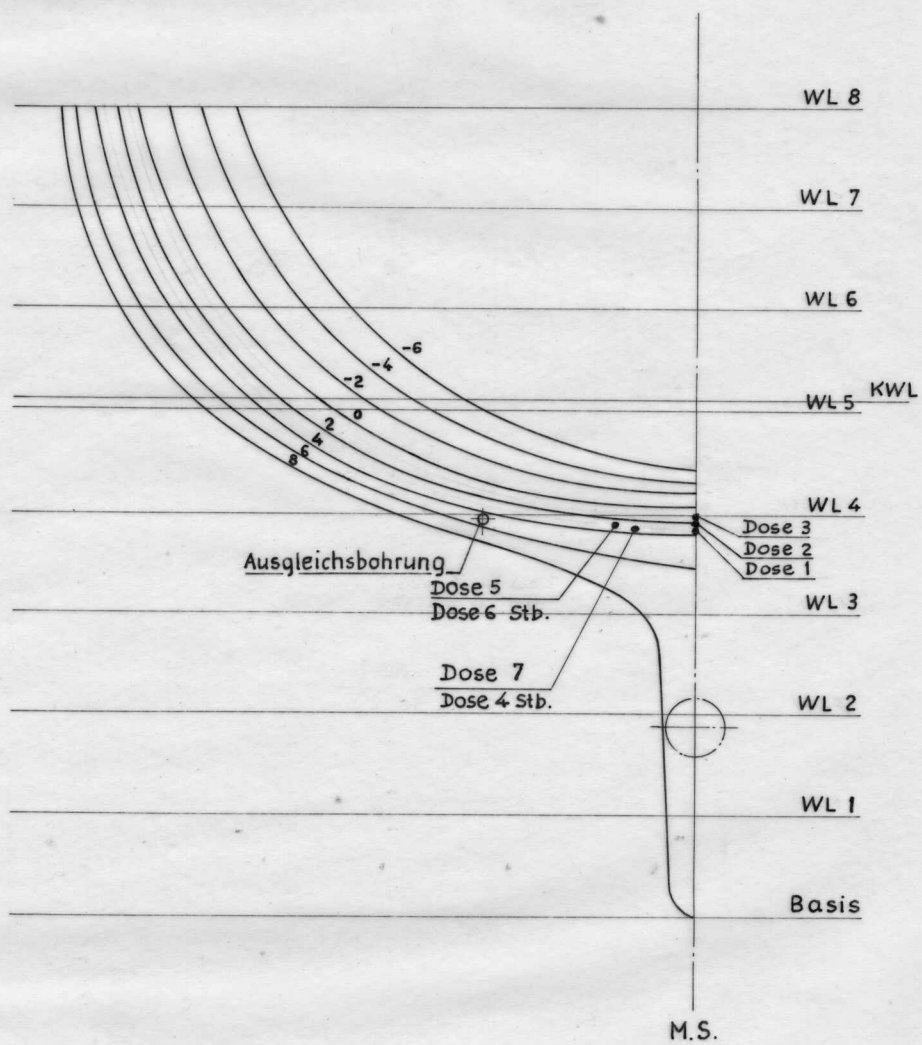


Abb. 1 Anordnung des Propellers



Messung der vom Propeller induzierten Druckschwankungen
am Forschungsschiff "Meteor" und Vergleich mit dem Modell-
versuch

I. Einleitung

Das Problem der vibrationserregenden periodischen Druckschwankungen, die beim Vorbeilaufen der Propellerflügel an den propellernahen Außenhautplatten auftreten, ist im wesentlichen von Breslin [1,2,3,4] und Pohl [6] theoretisch untersucht worden. Es wurden die Drücke berechnet, die in gleichförmiger Parallelströmung an einer unendlich großen, zur Propellerachse parallelen Platte bzw. einem unendlich langen, zur Propellerachse parallelen Zylinder induziert werden. Der Vergleich Theorie-Modellversuch [5,7] brachte eine in diesem Rahmen zufriedenstellende Übereinstimmung (die gemessenen Werte lagen um den Faktor 1,2-2,0 über den theoretischen). Untersuchungen von Pohl [7] am Schiffsmodell zeigen, daß, bedingt durch die Tatsache, daß die Schiffsschraube in einem Nachstromfeld arbeitet und die im Bereich des Propellers liegenden Außenhautteile normalerweise sehr von einer ebenen, der Propellerachse parallelen Platte abweichen, am Schiff wesentlich höhere Druckschwankungen auftreten können, als die Theorie ergibt. Die in letzter Zeit gerüchtweise bekanntgewordenen Größenordnungen von angeblich gemessenen Werten waren Anlaß zu Messungen am großen Schiff, die mit Ergebnissen von Modellversuchen verglichen werden sollten. Über diese Messungen, die im Rahmen der schiffstechnischen Untersuchungen am und mit dem Forschungsschiff "Meteor" durchgeführt wurden, soll hier berichtet werden.

II. Das Meßtechnische Problem:

Die Aufgabe bestand darin, einen geringen dynamischen Druck zu messen, dem ein großer statischer Druck überlagert ist. Im vorliegenden Fall waren Druckschwankungen unter 200 mm WS zu erwarten, während die Tiefe der Meßorte unter der Wasseroberfläche ca. 1,25 m betrug. Diese Gleichkomponente könnte durch entsprechenden Abgleich des an die Meßglieder angeschlossenen Verstärkers kompensiert werden. Sehr störend aber würden sich Änderungen des statischen Druckes am Meßort auswirken, die durch am Schiff vorbeilaufenden Wellen entstehen. Dadurch wäre entweder der Verstärker praktisch immer übersteuert oder die Meßgenauigkeit bei entsprechend geringerer Verstärkung würde zu gering sein. Da die Frequenzen dieser störenden Schwankungen wesentlich geringer sind als die Frequenzen der interessierenden Größen, bieten sich zwei Möglichkeiten der Abhilfe an, die garantieren, daß der Verstärker durch die gesuchten Schwankungen angesteuert werden kann.

a) Siebung vor der Verstärkung:

Man filtrierte die störenden Schwankungen elektrisch durch einen Hochpaß heraus, der zwischen Geber und Verstärker geschaltet wird und dessen Grenzfrequenz über der Stör- und unter der Meßfrequenz liegt.

b) Kompensierung des statischen Druckes durch Differenzschaltung:

Man verwendet Differenzdruckgeber, die auf der einen Seite mit dem Gesamtdruck und auf der anderen Seite mit dem statischen Druck beaufschlagt werden, so daß am Geberausgang nur die gesuchte Größe anliegt.

III. Die Messung an der Großausführung:

A. Meßanordnung:

"Meteor" bot sich für diese Messungen nicht nur an, weil es ein Forschungsschiff ist und für schiffstechnische Untersuchungen zur Verfügung stand, sondern weil der infragekommene Bereich baulich ideal gestaltet ist. Die Leierzelle über dem Propeller ist zum Zwecke der Kavitationsbeobachtungen und wegen der Rudermeßeinrichtung leicht begehbar ausgeführt. Für das Anbringen der Druckmeßdosen konnten die Öffnungen für die Kavitationsfenster benutzt werden. Je drei Öffnungen liegen vor und ungefähr in der Propellerebene, eine dahinter und eine weitere in etwas größerer Entfernung vom Propeller an Backbordseite (Abb.1). Die Koordinaten der Meßorte zeigt Abb.2. Wegen der Neigung der Propellerachse sind die Richtungen der Koordinatenachsen von denen der schiffsfesten Achsen verschieden. Die Kavitationsbeobachtungsfenster wurden durch Stahldeckel ersetzt, in denen Bohrungen für die Druckgeber angebracht waren. Eine eigens dafür konstruierte Vorrichtung ermöglichte es, die Geber jederzeit außerhalb des Docks ein- und auszubauen, was sich als unbedingt notwendig erwies. In jeden der sieben in Propellernähe gelegenen Stahldeckel wurde eine Differenzdruckmeßdose eingesetzt. Da der achte Deckel relativ weit von den Flügelspitzen entfernt liegt, konnte in ihm die Ausgleichsbohrung für den statischen Druck angebracht werden. Der statische Wasserdruck wurde über eine Rohrverbindung zu einem Windkessel geführt und dort in einen entsprechenden Luftdruck umgewandelt, der über ein Rohrleitungssystem auf die Rückseite der Membranen gegeben wurde (Abb.3-6). Die Umwandlung von Wasser- in Luftdruck wurde vorgenommen, damit die Eigenfrequenz der Meßdosen nicht durch eine Wassersäule auf der Rückseite der Membran verringert wurde. Der Windkessel wurde auch zur statischen Eichung benutzt, indem in ihm durch eine Luftpumpe ein Druck erzeugt und von einem Feinmeßmanometer angezeigt wurde. Zusätzlich wurden alle Dosen mit einer Wassersäule geeicht.

Die Meßwerte wurden in einem Trägerfrequenzverstärker verstärkt und über einen Tiefpaß einem UV-Schreiber zugeführt. Die Druckgeber, Typ Hottinger-Baldwin PD 1, (Abb.7) mit einem Meßbereich von 1 m WS arbeiten induktiv und haben eine Eigenfrequenz in Luft von 400 Hz. Im vorliegenden Fall, in dem sich auf einer Seite der Membran Wasser befindet, liegt die Eigenfrequenz niedriger, jedoch von der Grundfrequenz der zu messenden Druckschwankungen noch genügend weit entfernt. Dies wurde durch eine dynamische Eichung bis 22 Hz bestätigt. Höhere Frequenzen konnten leider nicht geeicht werden. Da diese Eichung nur der Bestimmung des Amplitudenganges dienen sollte, reichte die Genauigkeit nicht aus, um die geringen Fehler zu ermitteln, die durch Drossel- und Beschleunigungsverluste im Druckkanal auf der Wasserseite auftreten. Mit der Durchbiegung der Membran von 0,1 mm bei 1 m WS Belastung ergibt sich hierfür bei einer Frequenz von 16 Hz, die dem höchsten Wert der Grundfrequenz der Schwankungen darstellt:

Maximale Beschleunigung im Druckkanal

Maximale Geschwindigkeit im Druckkanal

Fehler durch Beschleunigung im Druckkanal

Fehler durch Drosselung im Druckkanal

mit

s = Membrandurchbiegung

D = Membrandurchmesser

d = Durchmesser des Druckkanals

f = Fläche des Druckkanals

ω = Kreisfrequenz

h = Länge des Druckkanals

Der Fehler liegt also bei -1% . Der Linearitätsfehler des Gebers liegt unter $\pm 1\%$, so daß die Gesamtgenauigkeit der Meßkette mit $\pm 1 - 2\%$ angegeben werden kann.

Zur Drehzahlmessung wurde die schiffsfeste Leistungsmeßanlage angezapft und der Meßwert ebenfalls auf dem UV-Schreiber registriert. Da die Anlage je Wellenumdrehung 60 Impulse liefert, konnte die Drehzahl durch Zählen sehr genau bestimmt werden.

Der eisverstärkte fünfblügelige Propeller hat bei einem Durchmesser von 2,90 m ein Flächenverhältnis von 70%. Das mittlere Steigungsverhältnis beträgt 0,983 (Abb.8). Die Drehzahl im Normalbetrieb liegt bei 175 Upm.

Die Messungen wurden bei ruhigem Wetter in der Eckernförder Bucht durchgeführt. Der gesamte Drehzahlbereich wurde stufenweise durchfahren. Mit der auf der Meilenstrecke gewonnenen Geschwindigkeits-Drehzahl-Relation (Abb.9) und der am Modell ermittelten Nachstromziffer ergab sich die Fortschrittsziffer $J = \frac{v}{nD} = 0,62$. Alle Messungen wurden mit zwei Tiefpaßeinstellungen durchgeführt, und zwar 30 Hz und 120 Hz Grenzfrequenz. Die Dose Nr. 7 fiel gleich zu Anfang wegen eines Kabelfehlers aus.

B. Ergebnisse:

Die gemessenen Druckamplituden sind in Abb. 10 über der Drehzahl aufgetragen. Sie stellen Mittelwerte über 4 bis 6 Propellerumdrehungen, also 20 bis 30 Schwingungen dar. Die Ergebnisse der Dosen 4 und 5 konnten nur im unteren Drehzahlbereich ausgewertet werden. Die Werte für die Dose 6 liegen etwas unter denen der Dose 5, sind jedoch nicht eingetragen, da dieser Meßwert nicht gefiltert wurde und deshalb etwas unsicher ist. Die Werte im oberen Drehzahlbereich sind mit

einer Unsicherheit von + 10 - 20% behaftet. Die Registrierungen zeigen dort trotz der Filterung beträchtliche Oberschwingungen (Abb. 11 und 12), die in die Auswertung mit einbezogen wurden, da die letzte Sicherheit dafür fehlte, daß es sich nur um Störungen handelt. Es liegt jedoch die Annahme nahe, daß hier die Eigenfrequenz von Membran plus Wasser auftritt, da die Störfrequenzen nur einen geringen Frequenzbereich überdecken. Berücksichtigt man dies, so ergeben sich um 10-20% geringere Werte.

Die geringe Anzahl der Meßpunkte erlaubt es nicht, den Verlauf der Amplituden über x und y anzugeben, doch stimmen die Ergebnisse mit den Angaben von Breslin und Pohl überein, daß das Maximum der Druckschwankungen vor dem Propeller liegt.

Abb. 13 zeigt die dimensionslosen Werte

$$K_p = \frac{p}{4 n^2 R^2}$$

und Abb. 14 die für die Praxis vielleicht anschaulicheren Größen

$$A^* = \frac{\frac{p}{S}}{R^2}$$

p == Druckamplitude

R = Propellerradius

n = Propellerdrehzahl

S = Schub.

Hier wurde der auf die Großausführung umgerechnete Modell-schub benutzt, der mit dem auf der Meilenstrecke gemessenen Schub sehr gut übereinstimmt.

Es überrascht, daß diese Werte bei den höheren Drehzahlen relativ stark ansteigen. Dieses Ansteigen ist im wesentlichen eine Folge der o.a. Oberschwingungen. Zudem ist zu berücksichtigen, daß sich die Fortschrittsziffer (Abb.9) und damit die Propellerbelastung ändern. Man kann aber wohl mit ruhigem Gewissen über die Unsicherheit von 10-20% hinwegsehen, da es hier galt, die Größenordnung zu finden, und die Theorie für die ebene Platte in gleichförmiger Anströmung Werte liefert, die um den Faktor 5-8 unter den Meßergebnissen liegen.

Dieser Faktor 5-8 erscheint sehr hoch, läßt sich aber in etwa erklären. Die von Pohl an der ebenen Platte in gleichförmiger Zuströmung gemessenen Druckschwankungen sind ungefähr doppelt so groß wie die theoretischen Werte, für die ein Flügel durch einen Stabwirbel dargestellt und die Verdrängungsströmung nicht berücksichtigt wird. Bei dem hinter dem Schiff arbeitenden Propeller ist nun der Nachstrom im Bereich der Flügelspitze, in dem die größten Beiträge zu den Druckschwankungen geleistet werden, wesentlich höher als der mittlere Nachstrom. Dadurch ist die Flügelspitze wesentlich höher belastet und die Druckschwankungen sind entsprechend größer. Eine exakte Bestimmung ist nicht möglich, da die Verteilung des effektiven Nachstroms nicht aufgemessen ist. Betrachtet man jedoch das Verhältnis des nominellen Nachstroms an der Flügelspitze, wenn der Flügel an der Außenhaut vorbeiläuft, zum mittleren nominellen Nachstrom und überträgt dieses Verhältnis auf die Zuströmung bei Anwesenheit des Propellers, so ergibt sich die örtliche Belastung an der Flügelspitze ungefähr doppelt so groß wie die mittlere Belastung nach dem Freifahrtprogramm.

IV. Der Modellversuch:

Der Modellversuch wurde im großen Tank der HSVA mit dem für die Seegangversuche hergestellten Araldit-Modell des Forschungsschiffes im Maßstab 1:14 durchgeführt, das in allen

Einzelheiten der Großausführung entspricht. Der Modellpropeller (Abb. 15) differiert jedoch in einigen Konstruktionsdaten von der Großausführung. So beträgt sein Flächenverhältnis 60% und das mittlere Steigungsverhältnis 1,0. Er ist auch nicht eisverstärkt. Das Freifahrtendiagramm zeigt Abb. 16.

Der Aufbau der Meßkette war der gleiche wie bei der Großausführung: Geber-Trägerfrequenzverstärker-Tiefpaß-UV-Schreiber, jedoch wurden wegen der höheren Meßfrequenzen Geber ohne Druckkanal verwandt, so daß die Membran mit der **Außenhaut** bündig abschloß. Der Membrandurchmesser der Geber, Typ Hottinger-Baldwin P 1 M mit einem Meßbereich von 1 m WS, beträgt ca. 16 mm, d.h. ca. 35% einer Spantentfernung, so daß das Meßergebnis einen Mittelwert über diesen Bereich darstellt. Geber mit einer kleineren Membran sind leider nicht erhältlich. Die Dosen wurden statisch mit einer Wassersäule geeicht.

Das Modell fuhr bei dem Versuch frei. Die Fortschrittsziffer betrug ca. 0,63. Schub, Moment, Drehzahl, Geschwindigkeit und die Druckschwankungen an den Dosen 1, 2 und 3 wurden gemessen. Die Tiefpaßgrenzfrequenz betrug 120 Hz, so daß im gleichen Verhältnis gefiltert wurde wie beim Großversuch.

Die Amplituden der Druckschwankungen, Mittelwerte über 2 bis 5 Propellerumdrehungen, also 10 bis 25 Schwingungen, sind in Abb. 17 über der auf die Großausführung umgerechneten Drehzahl aufgetragen. Bei der Umrechnung ist der Maßstabeffekt auf den Nachstrom durch eine Drehzahlerhöhung von 1,5% berücksichtigt. Die Ergebnisse der Dose 3 sind unzuverlässig, da sich unterschiedliche Eichungen vor, bei und nach dem Versuch ergaben.

V. Gegenüberstellung Modell-Großausführung:

Die an der Großausführung und im Modellversuch ermittelten Werte A^* für die Dosen 1, 2 und 3, also in der Mittschiffsebene vor, über und hinter dem Propeller, sind in Abb. 18 einander gegenübergestellt. Dabei zeigt sich, daß abgesehen von den unsicheren Ergebnissen der Dose 3, bei den niedrigen Drehzahlen die Übereinstimmung befriedigend ist, im oberen Drehzahlbereich jedoch die Ergebnisse des Großversuchs über denen des Modellversuchs liegen. Berücksichtigt man die o.a. Unsicherheit von 10-20% in diesem Bereich, so ergibt sich auch für die interessante Dose 2 eine recht gute Übereinstimmung, bei der Dose 1 jedoch verbleibt ein Unterschied von ca. 40%. Erschöpfende Auskunft können hier nur weitere gezielte Versuche geben. Die Untersuchungen wurden aber nicht weiter vertieft, da zum einen das Schiff vorerst nicht mehr zur Verfügung steht und zum anderen von anderer Seite sehr umfangreiche Experimente vorbereitet sind, die sicher zur Klärung beitragen werden.

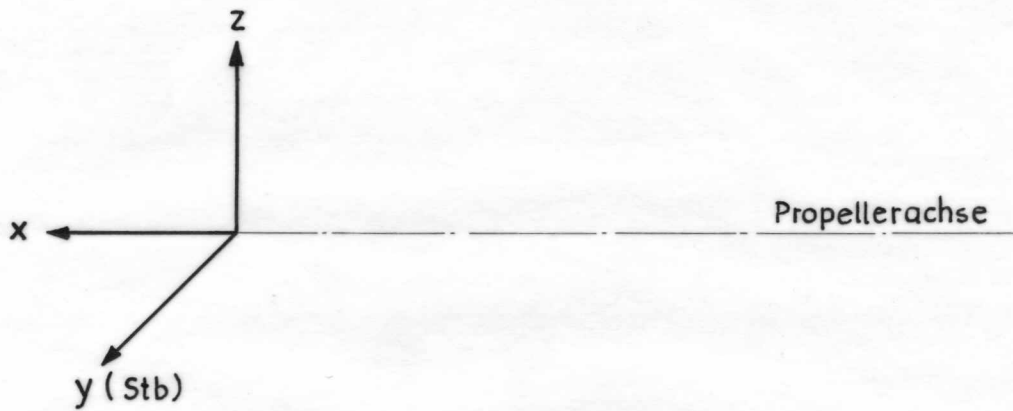
VI. Zusammenfassung:

Die vorliegenden Untersuchungen sollten einen kleinen Beitrag zum Problem der vom Propeller induzierten vibrationserregenden Druckschwankungen an der propellernahen Außenhaut liefern. Dazu wurden auf dem Forschungsschiff "Meteor" die Druckschwankungen an verschiedenen Punkten vor, über und hinter dem Propeller gemessen und den am Modell ermittelten Werten gegenübergestellt. Dabei ergibt sich zwar keine eindeutige Übereinstimmung, es zeigt sich jedoch, daß im vorliegenden Fall die Meßergebnisse beträchtlich über den Werten liegen, die die Theorie für die ebene Platte in gleichförmiger Anströmung liefert.

Dank gebührt der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Beschaffung der Druckgeber und Herrn Thiemann vom Institut für Schiffbau für die Hilfe bei der Vorbereitung und Durchführung der Messungen.

VII. Literatur:

- 1 Breslin: The Pressure Field Near a Ship Propeller, Journal of Ship Research, March 1958.
- 2 Breslin-Tsakonas: Marine Propeller Pressure Field Due to Loading and Thickness Effects. TSNAME, Vol. 67 (1959).
- 3 Breslin: A Theory for the Vibratory Effects Produced by a Propeller on a Large Plate. Journal of Ship Research, December 1959.
- 4 Breslin: Propeller-Induced Vibratory Forces on a Cylindric Ship. Schiffstechni, Band 9 (1962) Heft 47.
- 5 Breslin-Kowalski: Experimental Study of Propeller-Induced Vibratory Pressures on Simple Surfaces and Correlation with Theoretical Predictions. Journal of Ship Research, December 1964.
- 6 Pohl: Das instationäre Druckfeld in der Umgebung eines Schiffspropellers und die von ihm auf benachbarte Platten erzeugten periodischen Kräfte. Schiffstechnik, Band 6 (1959), Heft 32.
- 7 Pohl: Die durch eine Schiffsschraube auf benachbarten Platten erzeugten periodischen hydrodynamischen Drücke. Schiffstechnik, Band 7 (1960), Heft 35.
- 8 Tachmindji-Dickerson: The Measurement of Oscillating Pressures in the Vicinity of Propellers. DTMB Report 1130 (1957).



Dose Nr.	Bezogen auf Propellermitte $\frac{x_M}{R}$	Bezogen auf Flügelspitze $\frac{x_S}{R}$	$\frac{y}{R}$	$\frac{z}{R} = d$
1	- 0,404	- 0,641	0	1,345
2	0,010	- 0,228	0	1,407
3	0,424	0,186	0	1,455
4	- 0,404	- 0,641	0,414	1,366
5	0,01	- 0,228	- 0,552	1,414
6	0,01	- 0,228	0,552	1,414
7	- 0,404	- 0,641	- 0,414	1,366

Abb. 2 Koordinaten der Meßpunkte

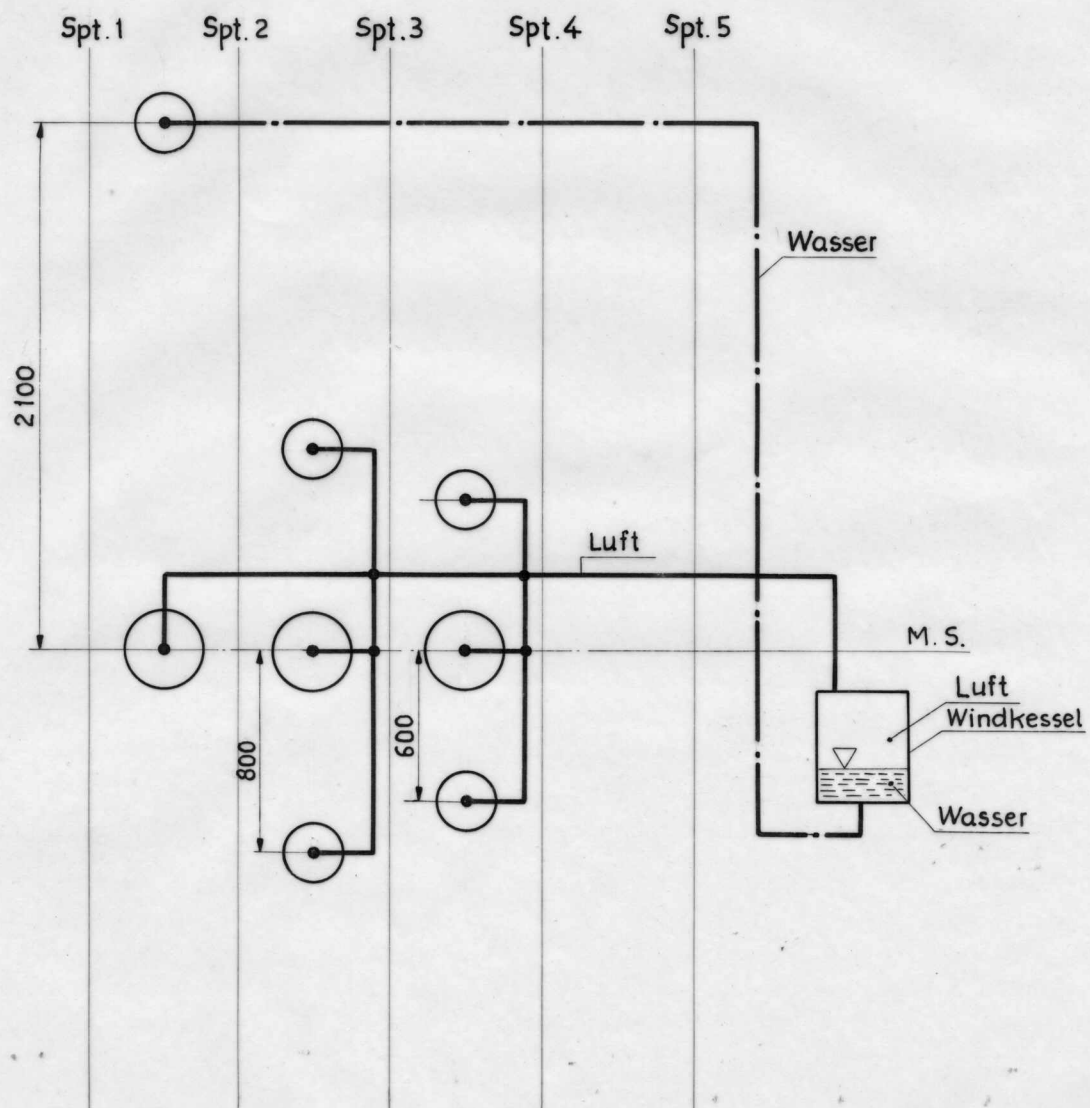


Abb. 3 Windkessel mit Ausgleichsleitungen

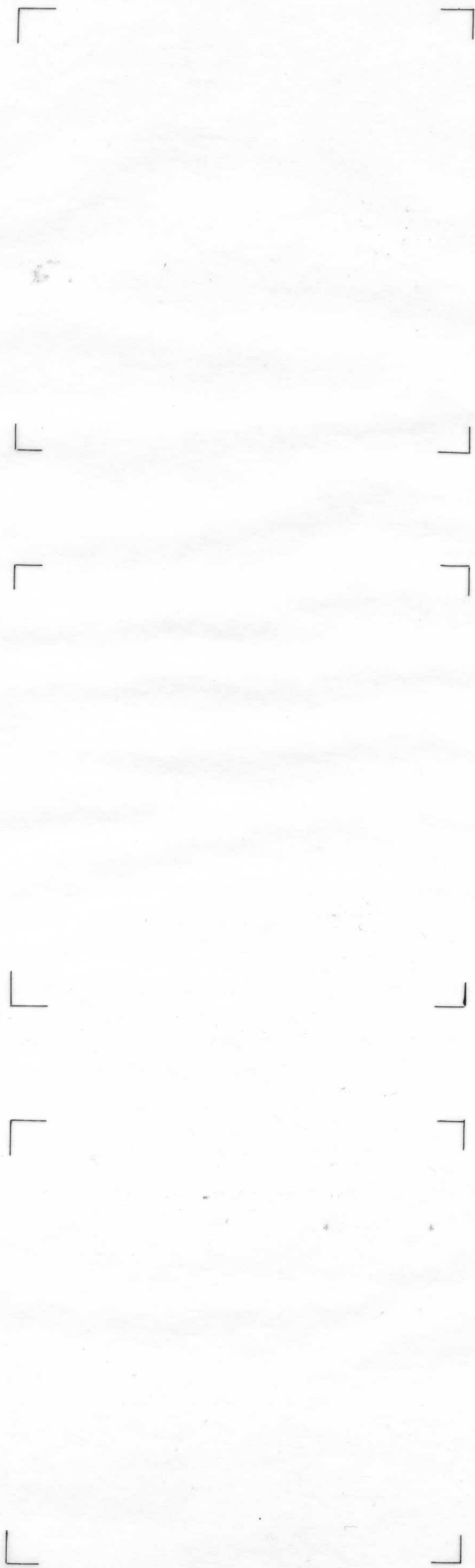


Abb. 4-6 Windkessel mit Ausgleichsleitungen

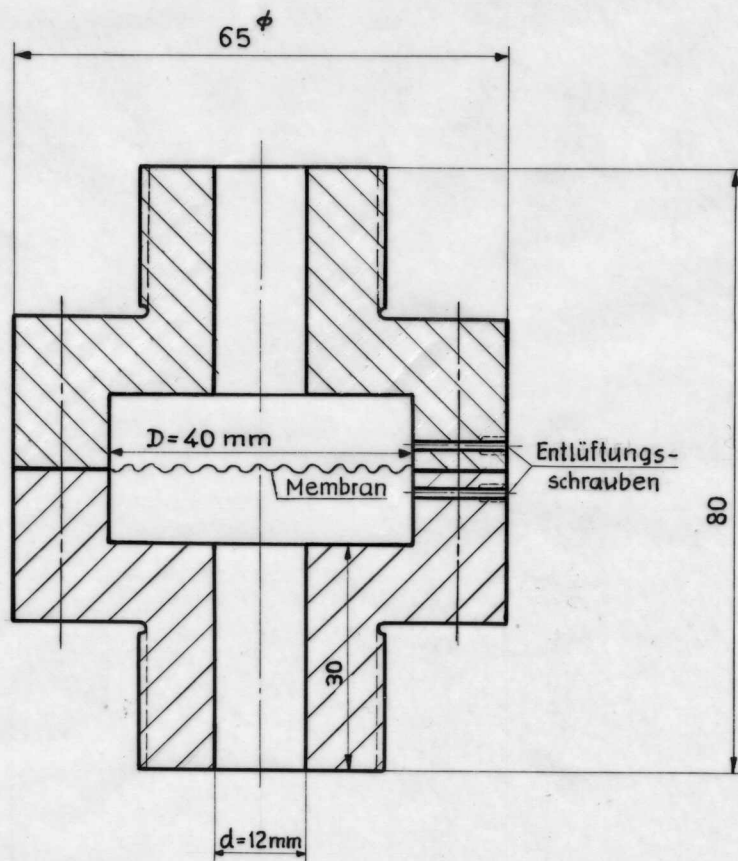


Abb 7 Druckdose (schematisch)

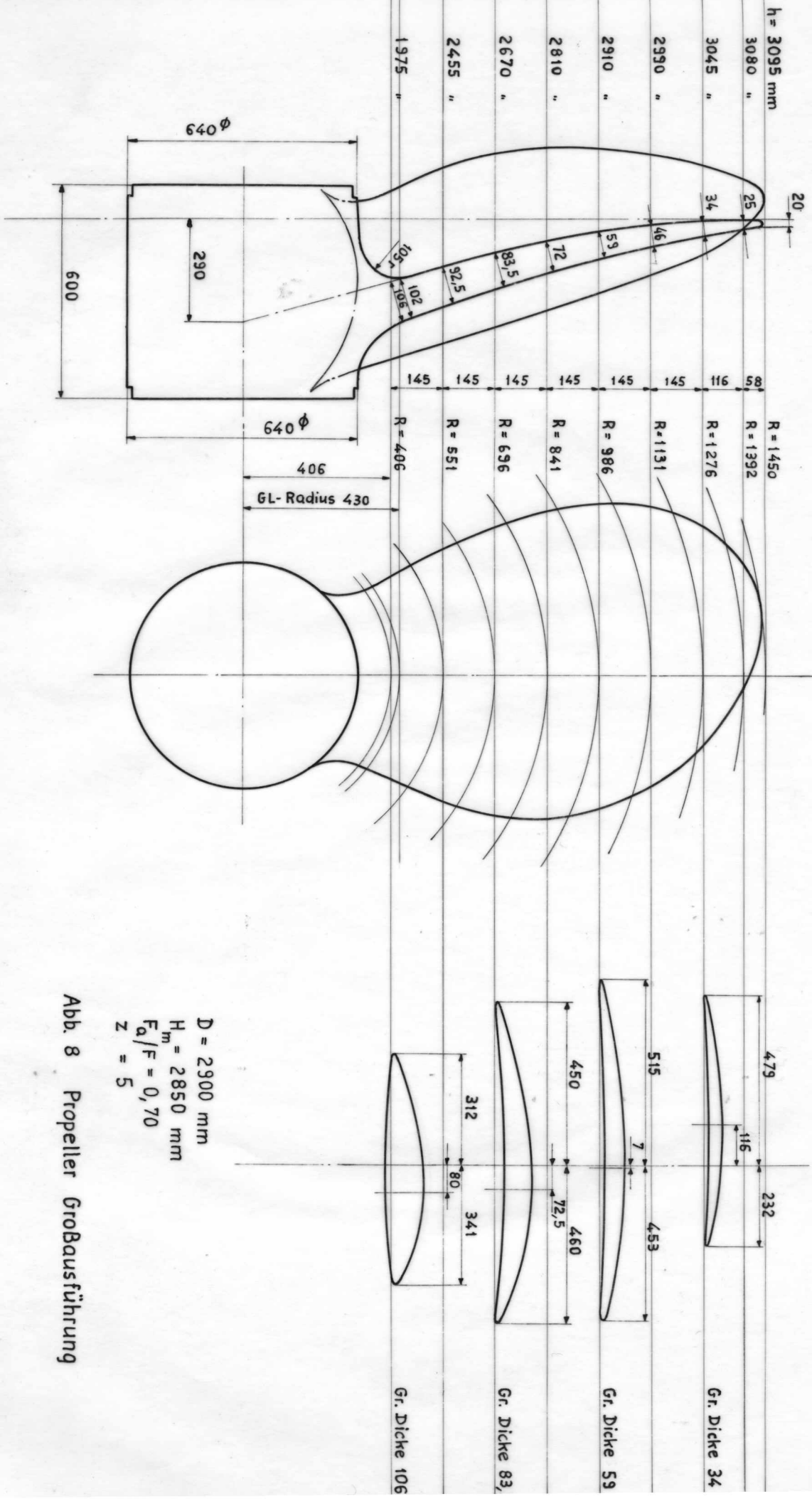


Abb. 8 Propeller Grobausführung

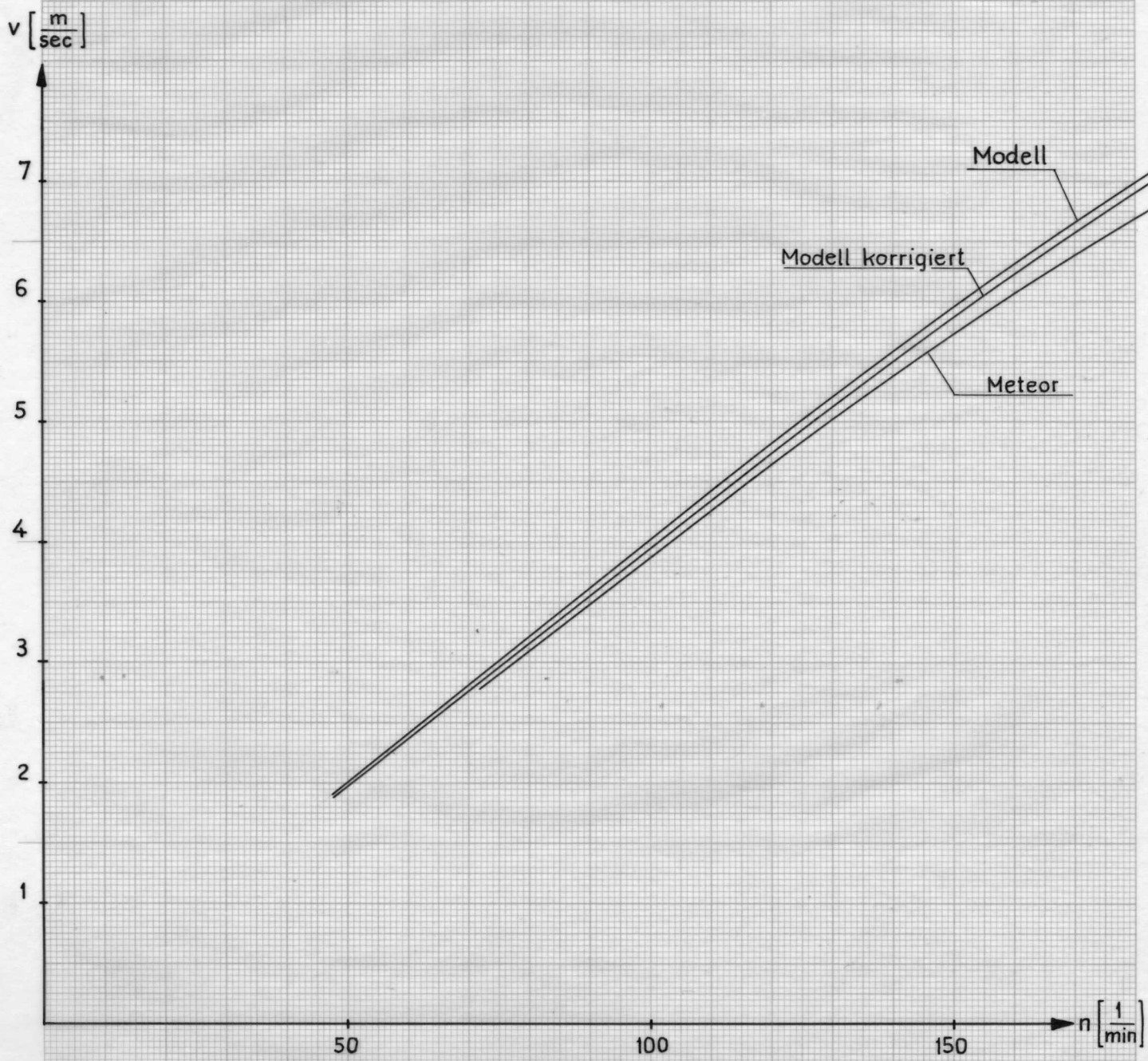


Abb. 9 Geschwindigkeit - Drehzahl - Relation

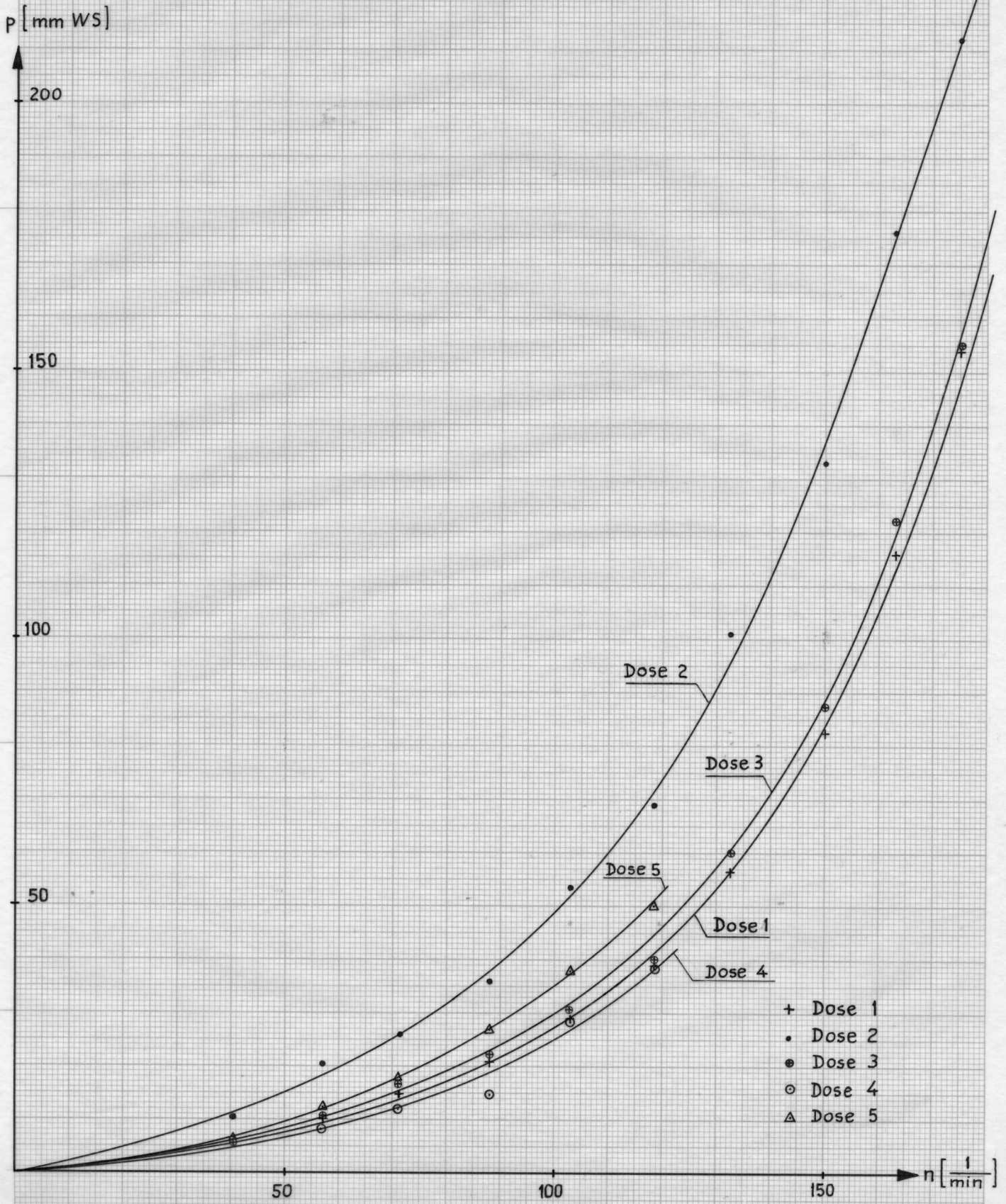
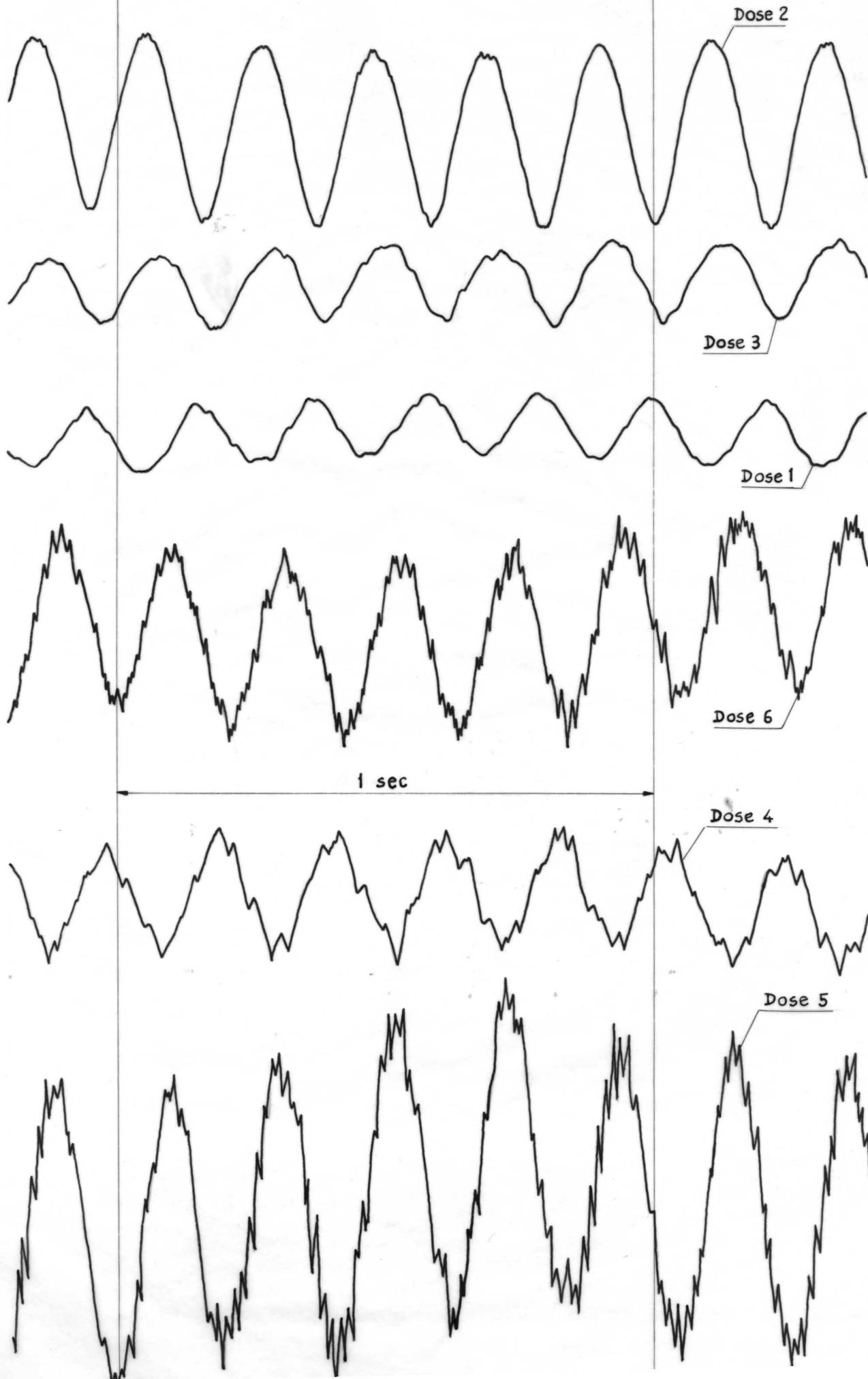
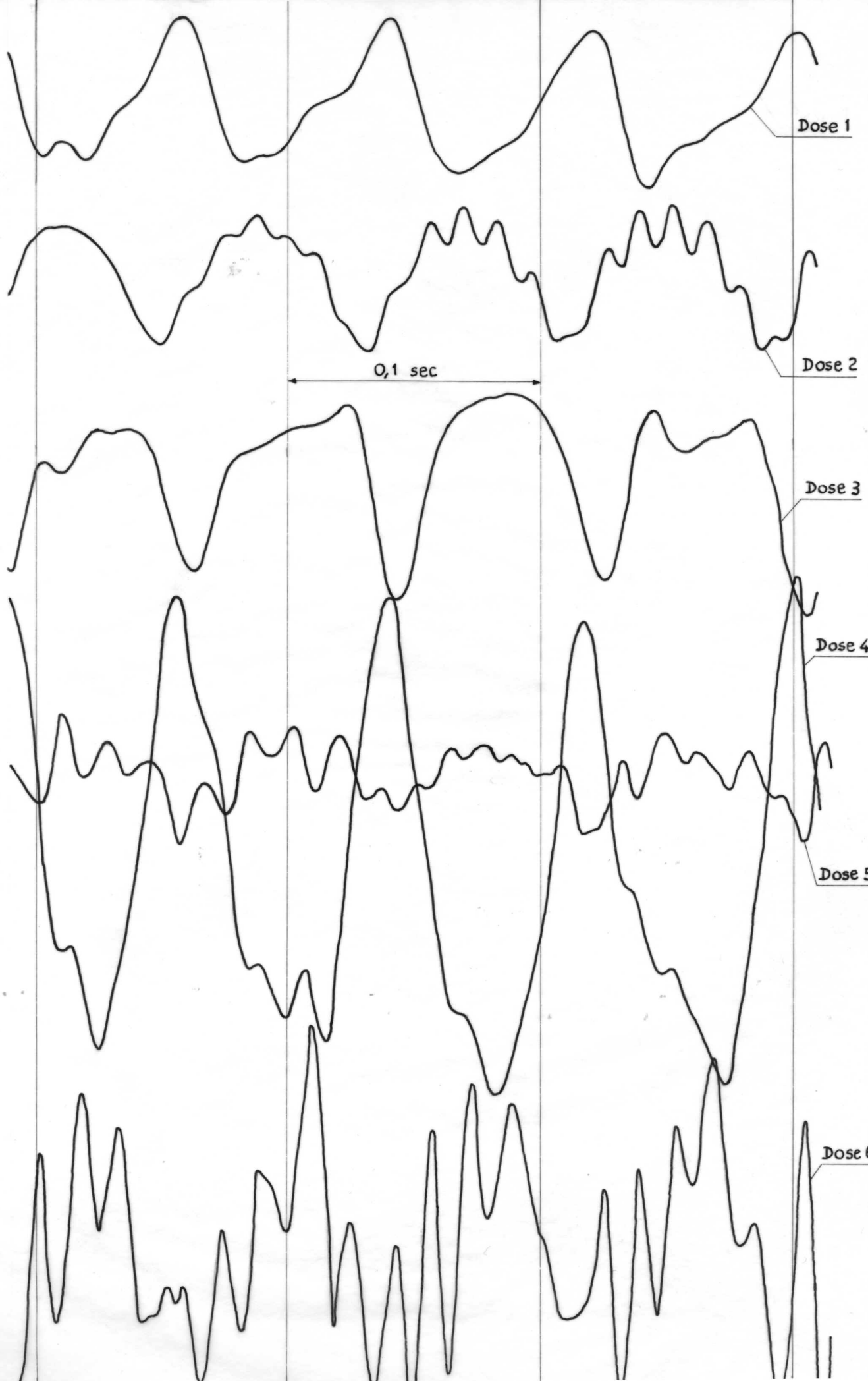
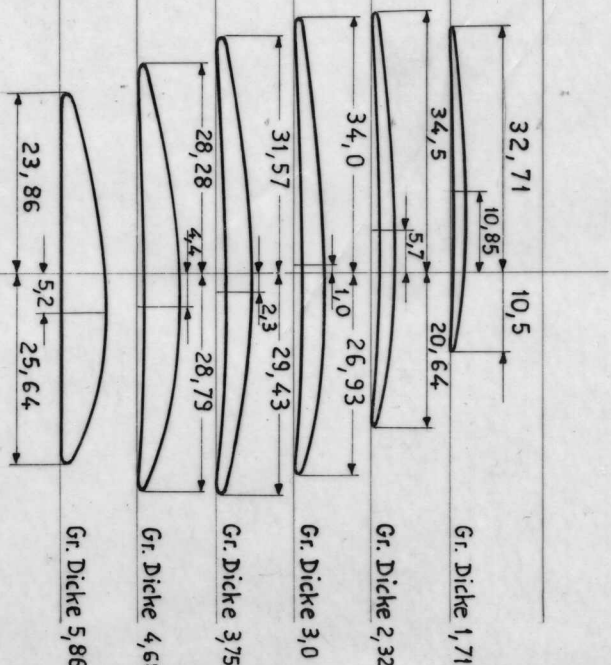
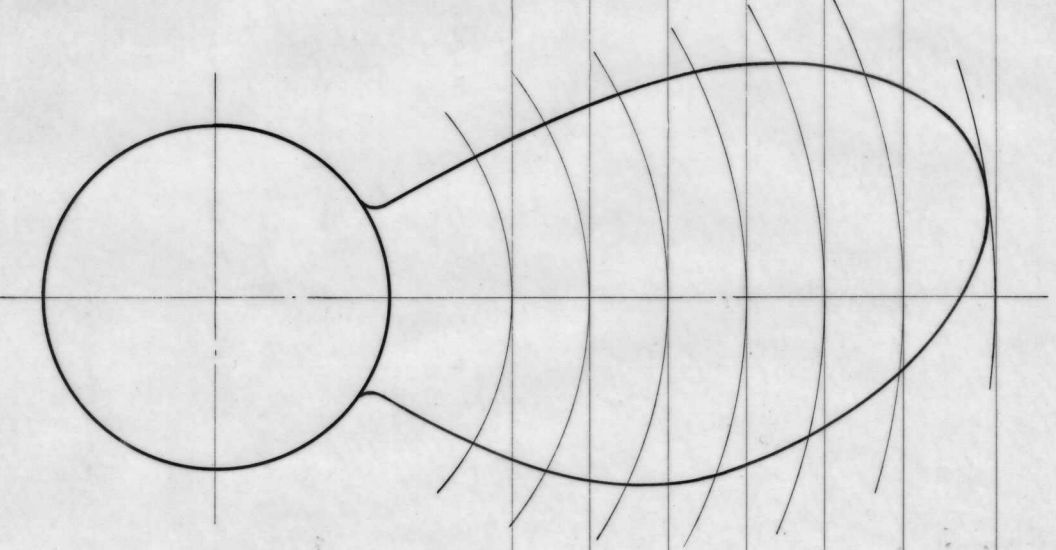
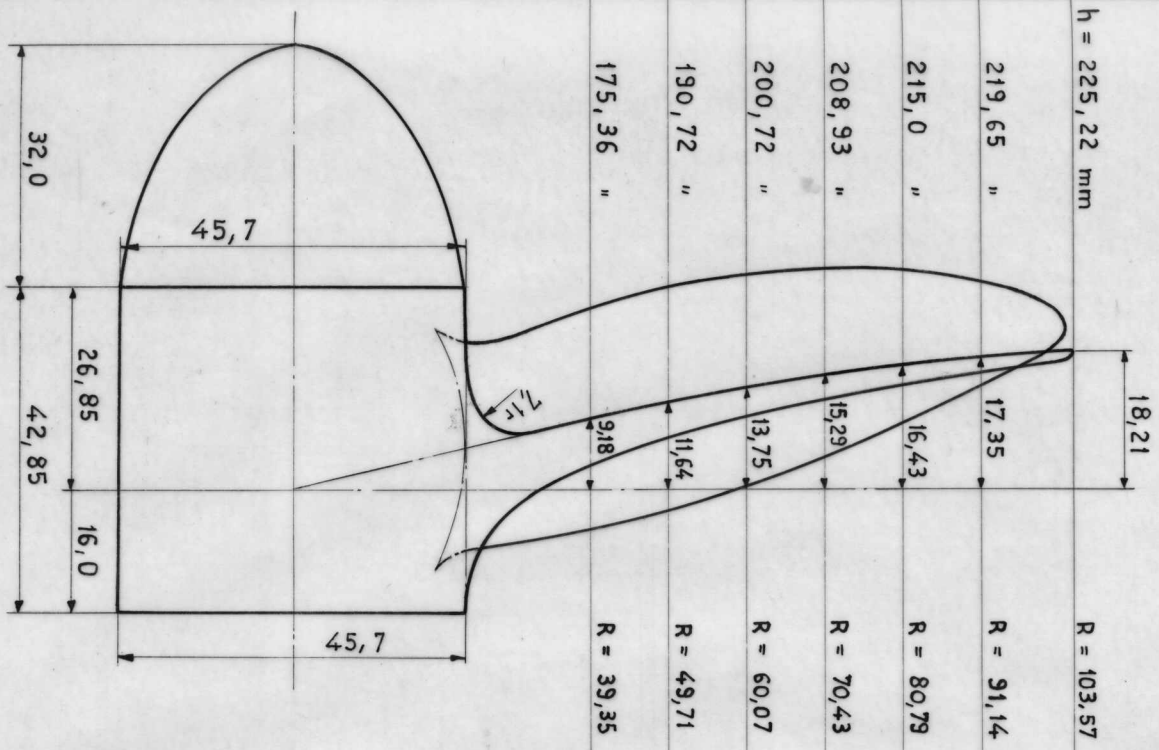


Abb. 10 Druckschwankungen Großausführung







$D = 207,14$ mm
 $H_m = 207,14$ mm
 $F_a/F = 60\%$
 $z = 5$

Abb. 15 Propeller Modell

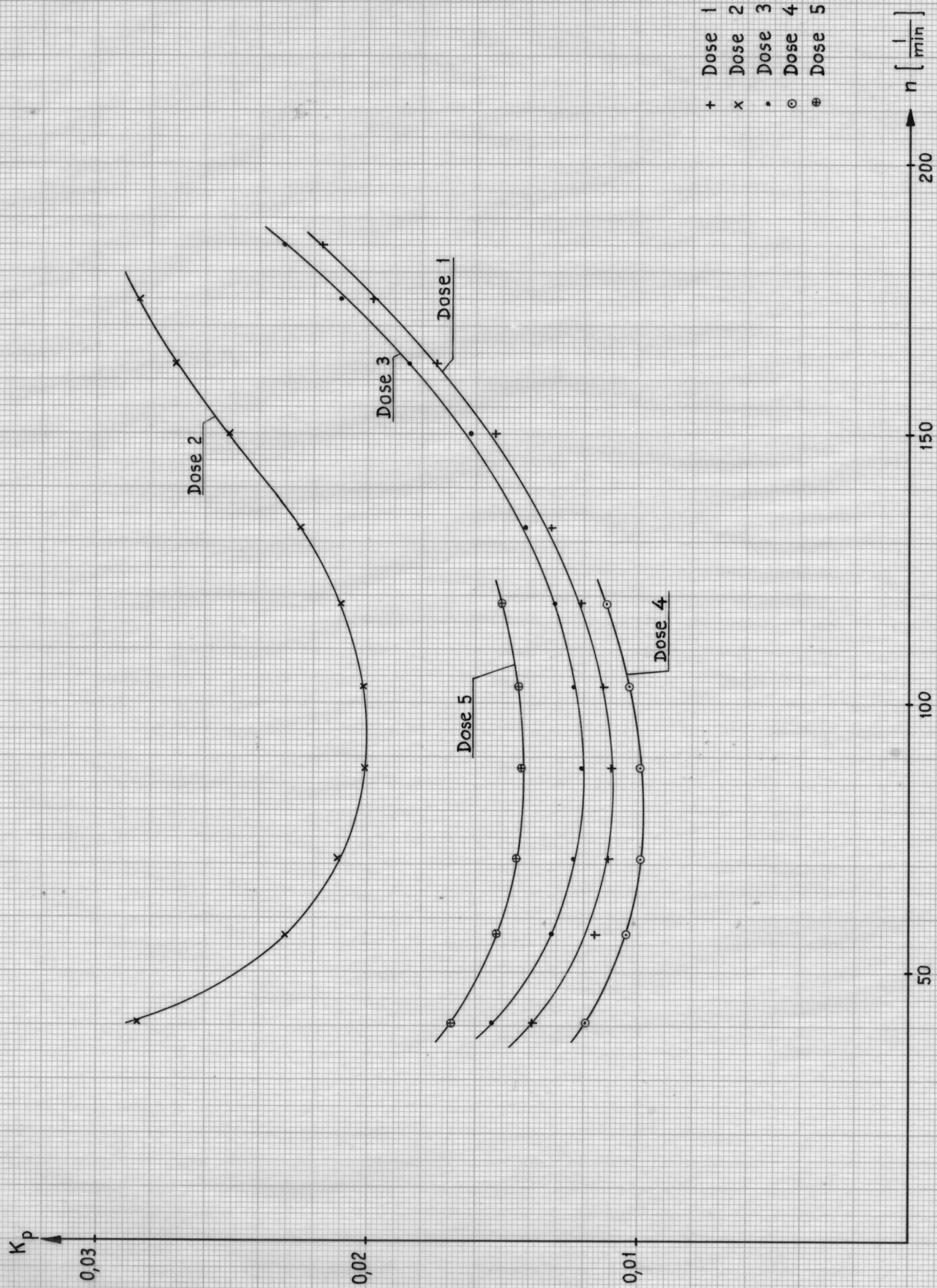


Abb. 13 Druckschwankungen (dimensionslos) Grobausführung

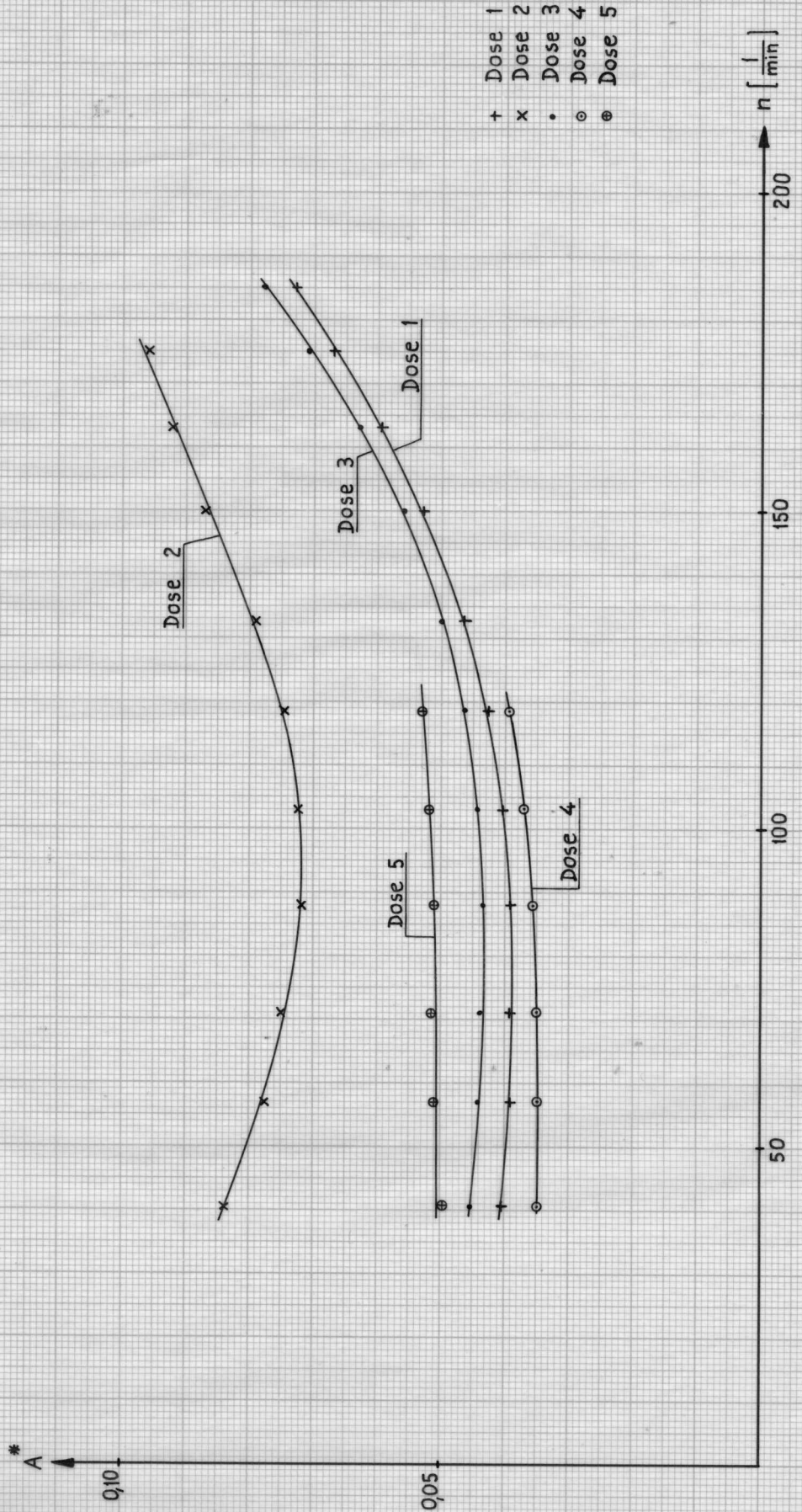


Abb. 14 Druckschwankungen (dimensionlos) Grobausführung

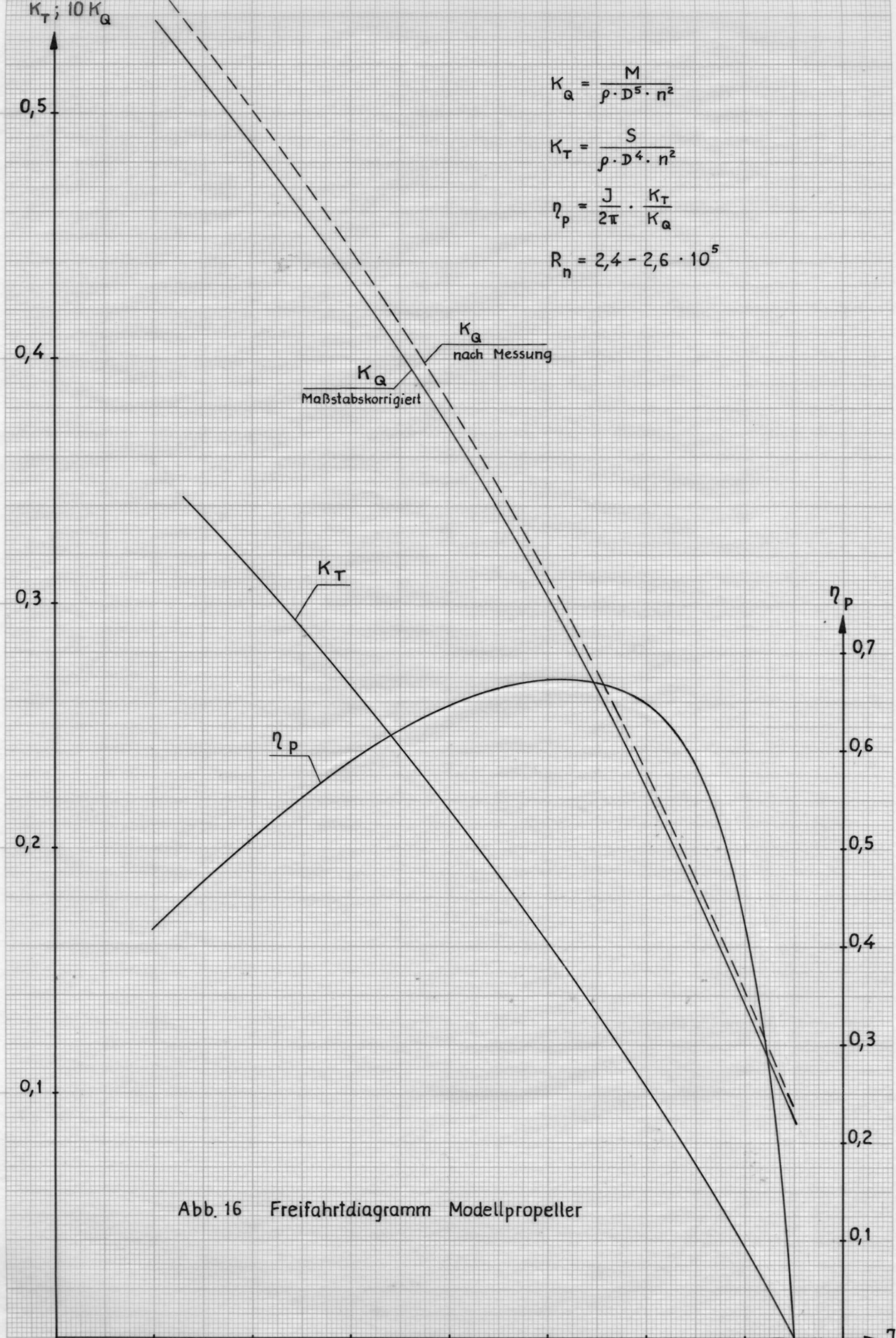


Abb. 16 Freifahrt diagramm Modellpropeller

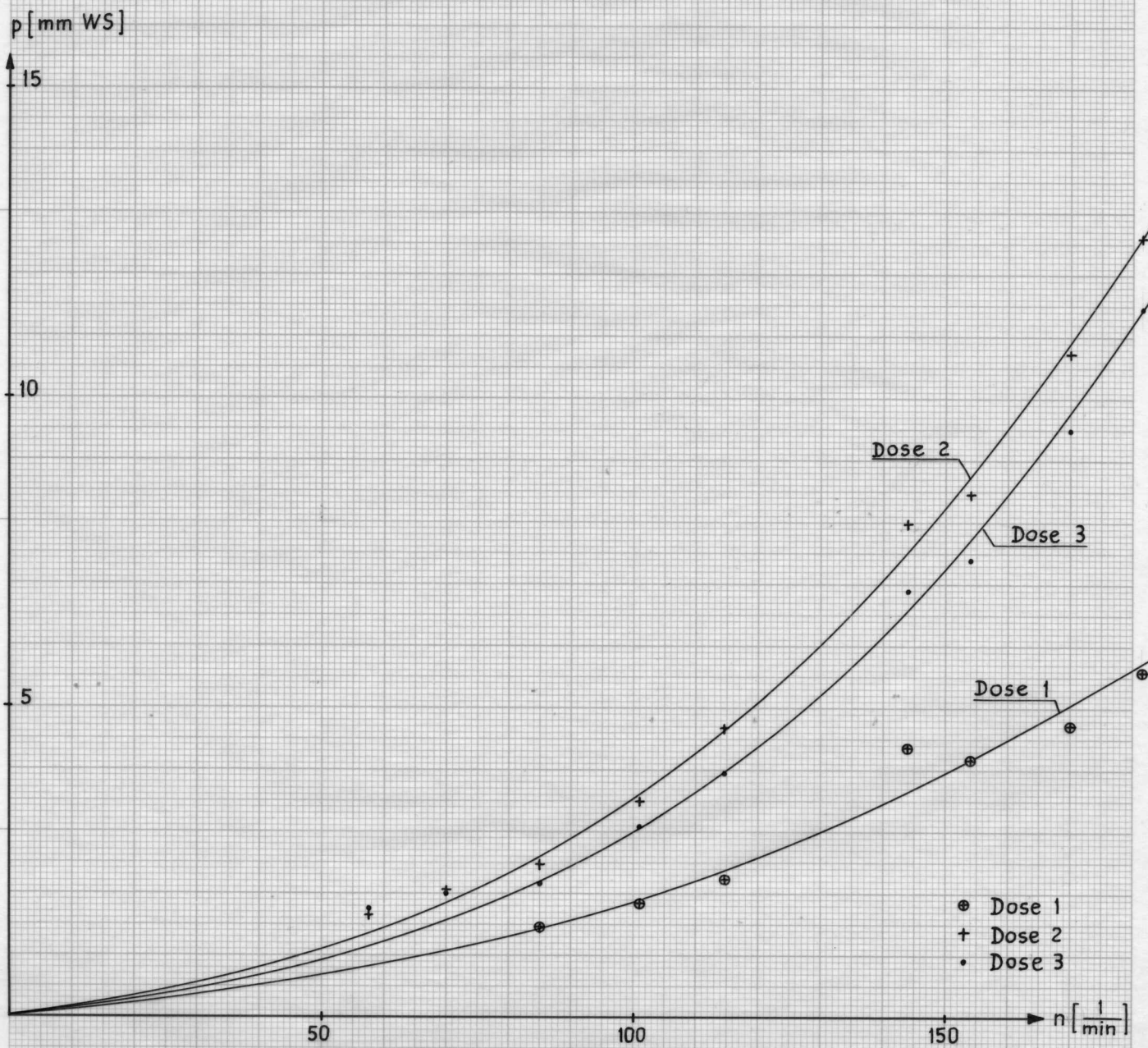


Abb. 17 Druckschwankungen Modell

