219 | 1964

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

W. Abicht und J. Bakenhus

Das Kentern des Küstenmotorschiffes „Lohengrin“

TUHH
Technische Universität Hamburg-Harburg

Das Kentern des Küstenmotorschiffes "Lohengrin"

Das Motorschiff "Lohengrin" ist am 14.1.1963 in der Kieler Förde bei achterlichem Seegang gekentert. Nach dem Kentern ist es quergeschlagen und mit einer Neigung von ca. 45° liegengeblieben. Wenn man bedenkt, daß zur Zeit des Unfalls weder ein außergewöhnlich schwerer Seegang herrschte noch das Schiff stärkere Rollschwingungen ausführte, und daß ferner - soweit bekannt - keine Krängungsmomente auf das Schiff wirkten, so ist es verständlich, daß dieser Kentervorgang von der Besatzung nicht erwartet worden war. Dieses gilt um so mehr, als die metazentrische Höhe trotz der geringen Vereisung noch eine Größe hatte, wie sie zuweilen auch bei anderen Küstenmotorschiffen am Ende einer Reise auftritt.

Wollte man diesen Unfall mit den herkömmlichen Stabilitätskriterien untersuchen, so würde man feststellen, daß diese wohl kaum ausreichen, um eine befriedigende Erklärung zu finden. Trotzdem muß es aber eine Erklärung für das Kentern geben. Im folgenden wird gezeigt, daß sich für den vorliegenden Fall auch tatsächlich eine gewisse Kenterwahrscheinlichkeit berechnen läßt.

Die Glattwasserstabilität des Schiffes zur Zeit des Unfalls.

Aus den Zeugenaussagen geht einwandfrei hervor, daß das Schiff nach dem Kentern mit etwa ca. 45° Schlagseite quer zur See liegengeblieben ist. Wie bereits an anderer Stelle dieses Gutachtens (vgl. Boie) ausgeführt worden ist, können keine nennenswerten Krängungsmomente aufgetreten sein. Das Schiff muß also zur Zeit des Unfalls über eine Hebelarmkurve verfügt haben, die bei ca. $\varphi \approx 45^{\circ}$ einen Nullpunkt besitzt; außerdem muß die Steigung an diesem Punkt positiv gewesen sein (Bedin-

gung für ein stabiles Gleichgewicht). Da die Pantokarenen des Schiffes genau berechnet werden können, läßt sich aus diesen Bedingungen eindeutig ein $\overline{MG}$-Wert ermitteln, den das Schiff zur Zeit des Unfalls höchstens gehabt haben kann. Aus diesem Grund sind die Pantokarenen noch einmal unabhängig von den Werftunterlagen neu berechnet worden und zwar unter Berücksichtigung aller Volumina, die einen Beitrag zu den jeweiligen aufrichtenden Momenten liefern (d.h. einschließlich aller Aufbauten, Deckshäser und Luken). Mit Hilfe dieser Werte konnte die Hebelarmkurve gefunden werden, die die obengenannten Bedingungen gerade noch erfüllt (s.Bild 1). Zu ihr gehört ein $\overline{MG}$-Wert von 0,11 m. Wie groß die tatsächliche metazentrische Höhe gewesen ist, läßt sich nachträglich schwer feststellen; auf jeden Fall kann sie jedoch den Wert von 11 cm nicht nennenswert überschritten haben. Daher haben auch alle folgenden Berechnungen diesen Zahlenwert zur Grundlage.

Der Seegang zur Zeit des Unfalls

Das Schiff befand sich zur Zeit des Unfalls in achterlichem Seegang. Nach Auskunft des Seewetteramtes betrug die kennzeichnende Wellenhöhe am Unfallort $\overline{H}$ 1/3 = 1,70 m. Das zu dieser kennzeichnenden Wellenhöhe zugehörige Seegangsspektrum ist nach dem von Voznessensky und Firsoff (1) angegebenen Verfahren berechnet worden (Bild 2).

Die Seegangsstabilität des Schiffes zur Zeit des Unfalls

Um etwas über den Kentervorgang im natürlichen Seegang aussagen zu können, wird für die weitere Rechnung die von Grim (2) eingeführte effektive Welle benutzt. Das dem berechneten Seegangsspektrum zugeordnete Spektrum der Amplituden der effektiven Wellen (gewählt : $\lambda = 0{,}9 \times L = 53$ m [λ = Wellenlänge, L = Schiffslänge]) ist in Bild 3 dargestellt. Da jedoch im folgenden nur das auf das mit ca. 10 Knoten in Wellen-

fortschrittsrichtung fahrende Schiff bezogene Spektrum von Interesse ist, mußte das Amplitudenspektrum transformiert werden (vgl. Veröffentlichung von St.Denis und Pierson (3)). Das transformierte Spektrum zeigt Bild 4.

Entsprechend dem Vorschlag von Grim wird noch von einer weiteren Näherung Gebrauch gemacht, indem der zeitliche Verlauf der effektiven Welle für jeweils kurze Zeitperioden sinusförmig angenommen wird. Mit dieser Näherung ist im allgemeinen eine Reduktion der Amplituden der effektiven Welle verbunden. Wählt man die Zeit, innerhalb der mit einem harmonischen Verlauf gerechnet werden soll, gleich der Periode dieser harmonischen Schwingung, so ergibt sich für die reduzierten Amplituden der effektiven Welle ein neues Spektrum, das in Bild 5 wiedergegeben ist. Dieses Spektrum gilt für eine Periodendauer von 14 sec. Dieser Zahlenwert ist deshalb gewählt worden, weil bei dieser Periode die Amplitudenreduktion nur sehr gering ist, d.h. daß hier die Annäherung durch eine harmonische Ersatzfunktion besonders gut ist.

Mit dem Spektrum der reduzierten Amplituden der effektiven Wellen hat man bereits einen Überblick über die für die Seegangsstabilität entscheidenden Wellenhöhen. Da alle vorkommenden Maxima einer Rayleigh-Verteilung genügen, kann man für alle Wellenhöhen die zugehörige Wahrscheinlichkeitsdichte berechnen. So beträgt z.B. in dem vorliegenden Fall die mittlere Wellenhöhe 0,78 m, während die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer effektiven Welle von mehr als 3 m Höhe nur noch 1/100‰ beträgt. Dieser kleine Wert bedeutet jedoch nicht, daß 3m höhe Wellen physikalisch unmöglich sind. Bei 53 m langen Wellen sind - allerdings bei schwererem Seegang - schon Wellenhöhen von 7 m beobachtet worden.

Um nun den Kenterfall des Motorschiffes "Lohengrin" genauer beurteilen zu können, sind für zwei verschiedene Wellenhöhen (H = 2 m und 3 m, λ = 0,9 x L = 53 m) die aufrichtenden Hebelarme für die Wellental- und Wellenberglage ermittelt worden (siehe Bild 6 und 7). Für jede dieser beiden Wellenhöhen ist für die ungünstigste Lage des Schiffes zur Welle die kritische Vorkrängung φ_K bestimmt worden, die das Schiff höchstens annehmen darf, um bei der sich an diese Verkrängung anschließenden Rollbewegung nicht zu kentern (d.h. die Neigung $\varphi = 31^\circ$ [absoluter Kenterwinkel im Glattwasser bzw. nach dem Querschlagen] darf nicht mehr erreicht werden). Vgl. hierzu die Arbeit von Krappinger (4)!

Der zeitliche Ablauf der Rollbewegung wurde durch numerische Integration der Bewegungsgleichung berechnet (Ergebnisse s. Bild 8 und 9). Dabei wurde vorausgesetzt, daß sich die aufrichtenden Hebelarme je nach Lage des Schiffes zur Welle sinusförmig zwischen den Werten für die Wellental- und Wellenberglage bewegen.

In Bild 10 sind die beiden berechneten kritischen Vorkrängungen φ_K über der effektiven Wellenhöhe H aufgetragen. Für dazwischen liegende Werte wird angenommen, daß der kritische Rollwinkel φ_K mit zunehmender Wellenhöhe linear abnimmt.

Die Kenterwahrscheinlichkeit des Schiffes zur Zeit des Unfalls

Mit einem Kenterfall ist immer dann zu rechnen, wenn der der jeweiligen effektiven Wellenhöhe H zugeordnete kritische Rollwinkel φ_K von dem rollenden Schiff erreicht, bzw. überschritten wird (vgl. Krappinger). Für die Berechnung der Kenterwahrscheinlichkeit ist es daher erforderlich, ausser dem Amplitudenspektrum der effektiven Welle auch das Rollspektrum des Schiffes zu kennen.

Angaben darüber, wie man für einen gegebenen kennzeichnenden Rollwinkel das zugehörige Rollspektrum berechnen kann, findet man u.a. in der Arbeit von Voznessensky und Firsoff (1). So ergibt sich z.B. für einen kennzeichnenden Rollwinkel von $\varphi_{1/3} = 3^{o}$ für das vorliegende Schiff ($\overline{MG}$ = 0,11 m) das in Bild 11 dargestellte Rollspektrum. Selbstverständlich hängt für ein gegebenes Schiff die Kenterwahrscheinlichkeit außer von den beiden erwähnten Spektren auch von der Zeit ab, innerhalb der das Schiff den Bedingungen unterworfen ist, für die die Spektren berechnet worden sind.

Wie man im einzelnen bei der Berechnung der theoretischen Kenterwahrscheinlichkeit vorzugehen hat, kann der Veröffentlichung von Krappinger entnommen werden. Hier soll uns nur das Ergebnis interessieren. Einen Überblick über den Einfluß der kennzeichnenden Wellenhöhe und des kennzeichnenden Rollwinkels auf die Kenterwahrscheinlichkeit (bzw. in diesem Fall auf die Wahrscheinlichkeit für Nichtkentern) gibt Bild 12. Daß dieses Diagramm nur für eine einzige Zeit (T = 2 Stunden) aufgestellt worden ist, erklärt sich daraus, daß innerhalb des hier interessierenden Bereichs die Zeit nur einen geringen Einfluß auf die Kenterwahrscheinlichkeit hat.

Mit Hilfe des in Bild 12 dargestellten Diagramms ist es nun möglich, die Kenterwahrscheinlichkeit des Motorschiffes "Lohengrin" zu berechnen, die vermutlich zur Zeit des Unfalls vorhanden war. Da das Schiff vor dem Kentern offensichtlich nur geringe Rollschwingungen ausgeführt hat, kann der kennzeichnende Rollwinkel nicht groß gewesen sein. Er sei einmal mit 3^{o} angenommen. Im Gegensatz zum kennzeichnenden Rollwinkel ist die kennzeichnende Wellenhöhe recht genau bekannt. Sie betrug nach Angabe des Seewetteramtes etwa 1,70 m. Aus diesen beiden Daten ergibt sich für das Motorschiff "Lohengrin" eine Kenter-

wahrscheinlichkeit von ca. 0,75‰. Wenn dieser Zahlenwert auch recht klein ist, so darf er jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß tatsächlich eine gewisse Wahrscheinlichkeit für Kentern bestanden hat. Daß unter den gegebenen Umständen Frachtschiffe von der Größe des Motorschiffes "Lohengrin" nur sehr selten kentern, ist eben durch die nur sehr geringe Kenterwahrscheinlichkeit begründet.

Obgleich bei der vorstehenden Untersuchung wesentlich mehr berücksichtigt worden ist, als es bisher in solchen Fällen üblich war, muß doch beachtet werden, daß die für das Motorschiff "Lohengrin" berechnete Kenterwahrscheinlichkeit nur eine Verhältniszahl ist, deren praktische Bedeutung erst ersichtlich wird, wenn man die Kenterwahrscheinlichkeiten mehrerer Schiffe einander gegenüberstellt. Auch darf nicht vergessen werden, daß für die Berechnung der Kenterwahrscheinlichkeit zur Zeit noch einige mehr oder weniger grobe Näherungen erforderlich sind, so daß die berechneten Zahlenwerte nur größenordnungsmäßig richtig sein können.

Literatur:

(1) Voznessensky, A.J. und G.A.Firsoff: Statistical Analysis of Data Concerning Rolling of Ships, Proc. Symposium on the Behaviour of Ships in a Seaway. Wageningen 1957.

(2) Grim, O.: Beitrag zu dem Problem der Sicherheit des Schiffes im Seegang. Schiff und Hafen 1961, Heft 6.

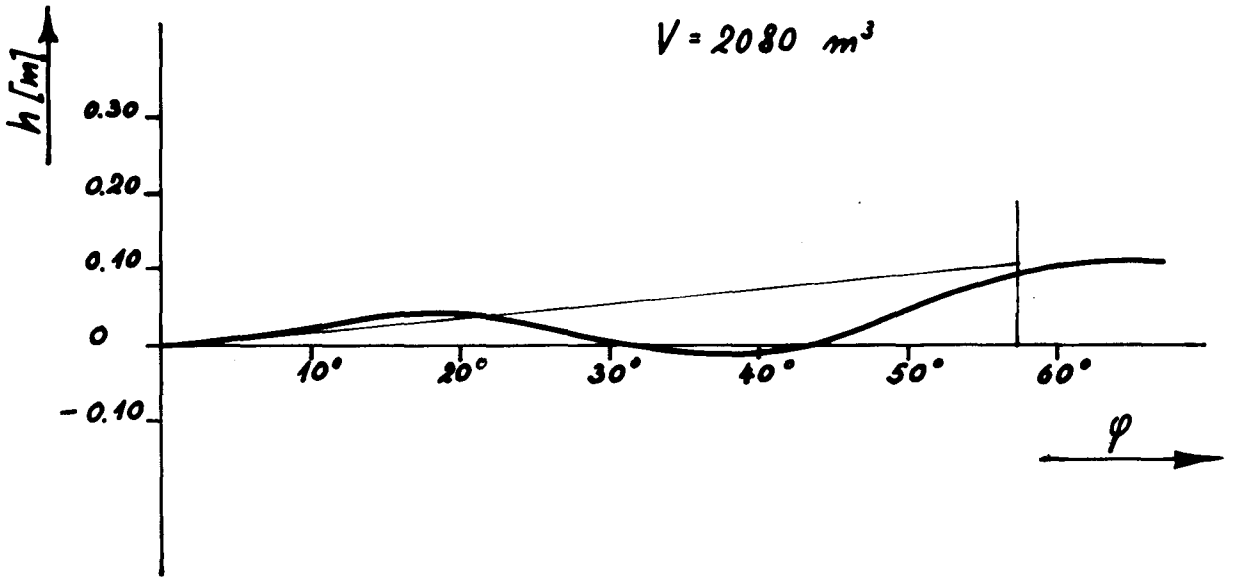
(3) St. Denis, M. und W.J. Pierson: On the Motions of Ships in Confused Seas. SNAME 1953.

(4) Krappinger, O.: Über Kenterkriterien. Schiffstechnik 1962, Heft 48.

Glattwasserhebelarme bei $\overline{MG_o} = 0{,}11$ m

einschließlich Aufbauten, Deckshäuser u. Luken.

$V = 2080\ m^3$



MS „Lohengrin"

Bild 1

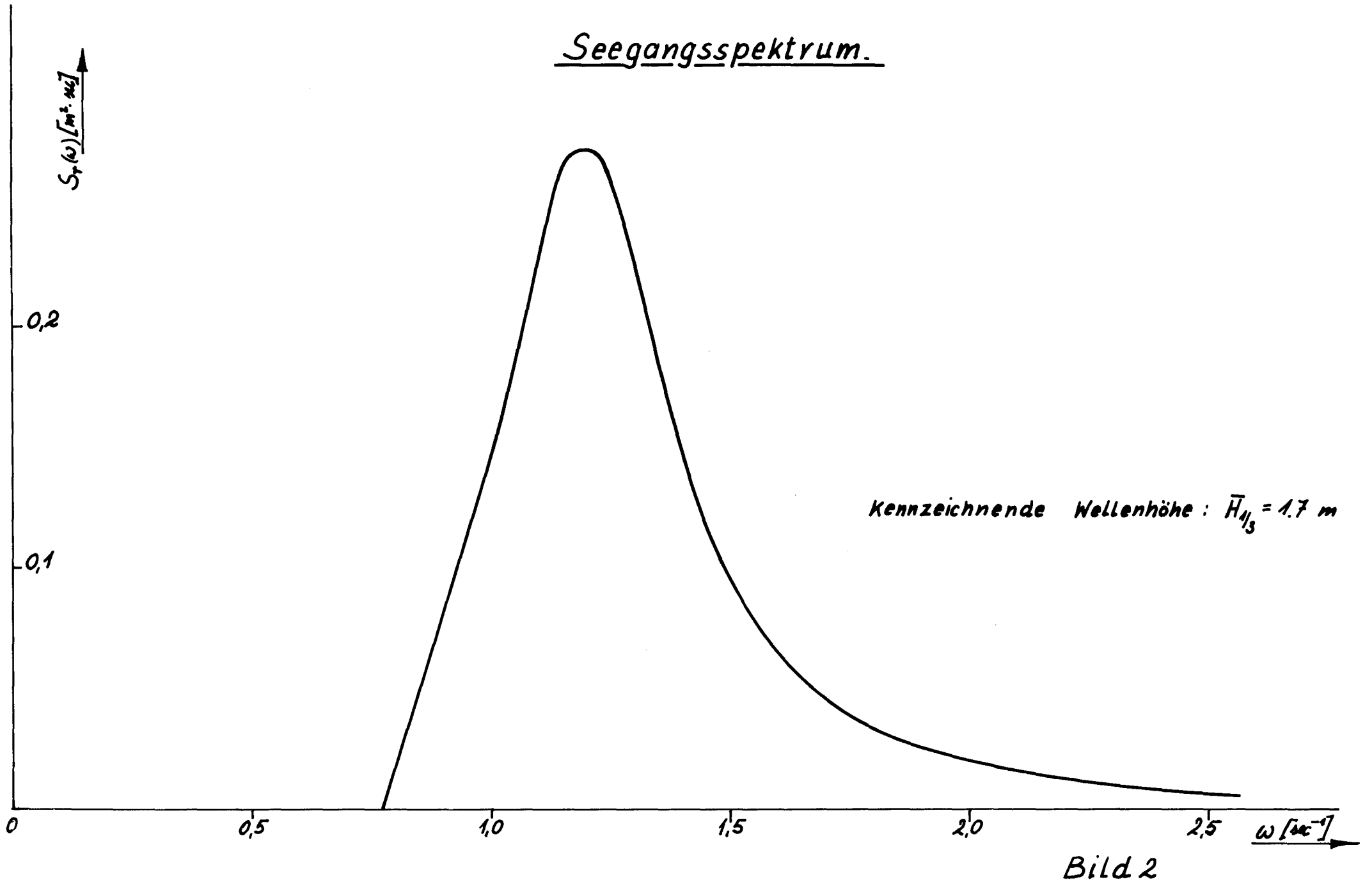

Seegangsspektrum.
$S_\zeta(\omega)\,[m^2 \cdot sec]$
0,2
0,1
0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
$\omega\,[sec^{-1}]$
Kennzeichnende Wellenhöhe : $\bar{H}_{1/3} = 1.7$ m

Bild 2

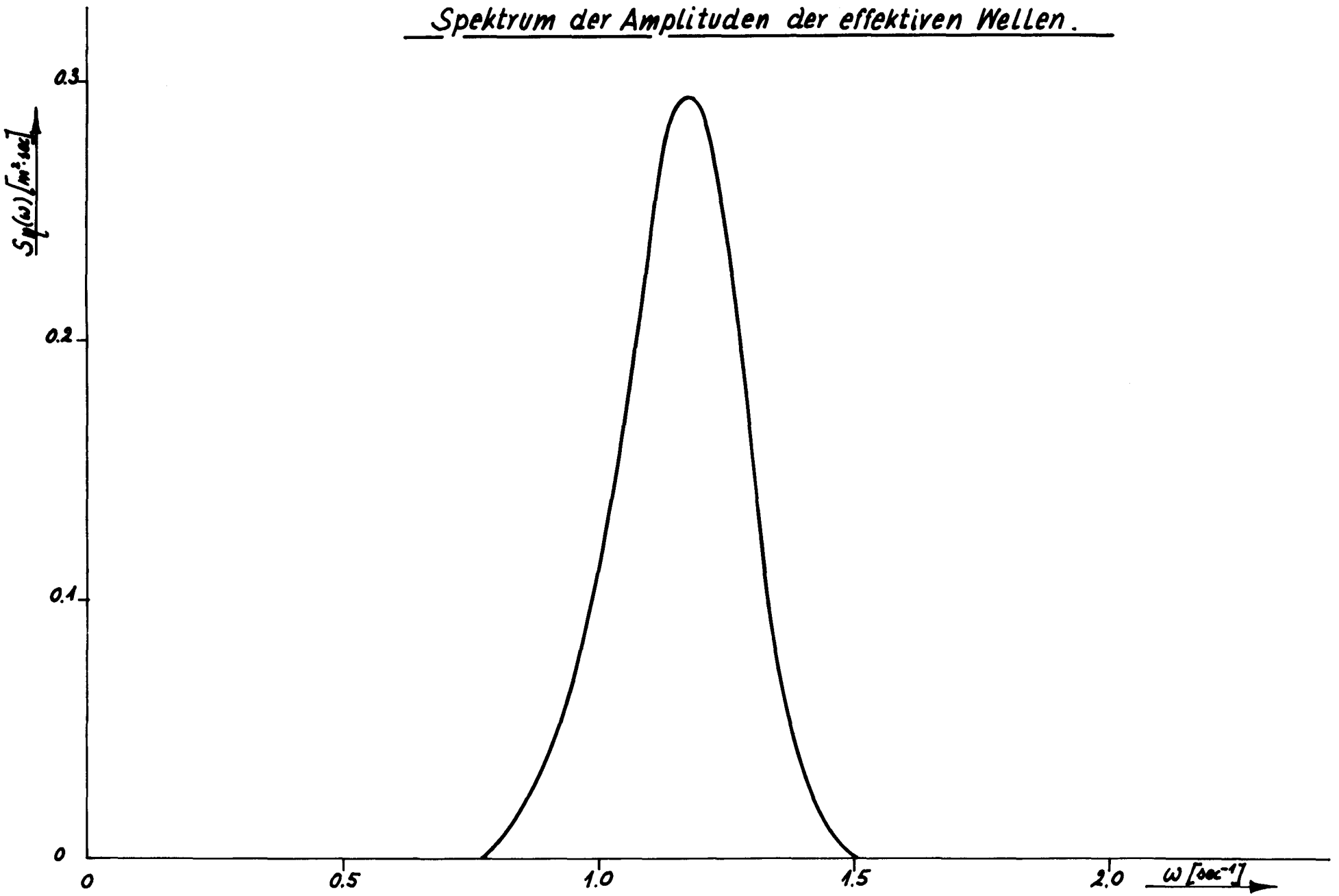
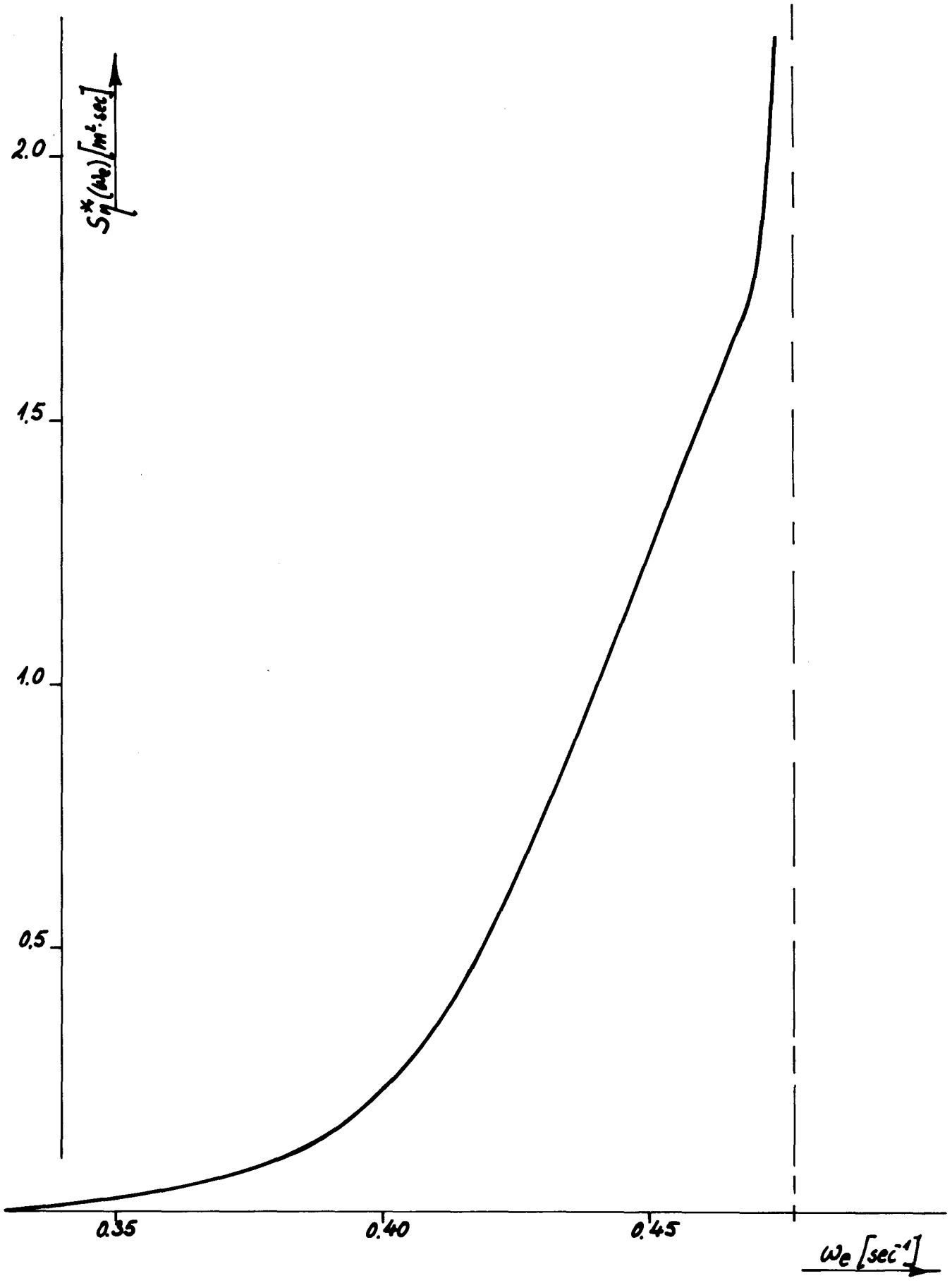

Spektrum der Amplituden der effektiven Wellen.
$S_\eta(\omega)$ [m²·sec]
0.3
0.2
0.1
0
0
0.5
1.0
1.5
2.0
ω [sec⁻¹]

Bild 3

Transformiertes Spektrum.



ω_e = Begegnungsfrequenz

Bild 4

Spektrum der reduzierten Amplituden der effektiven Wellen.

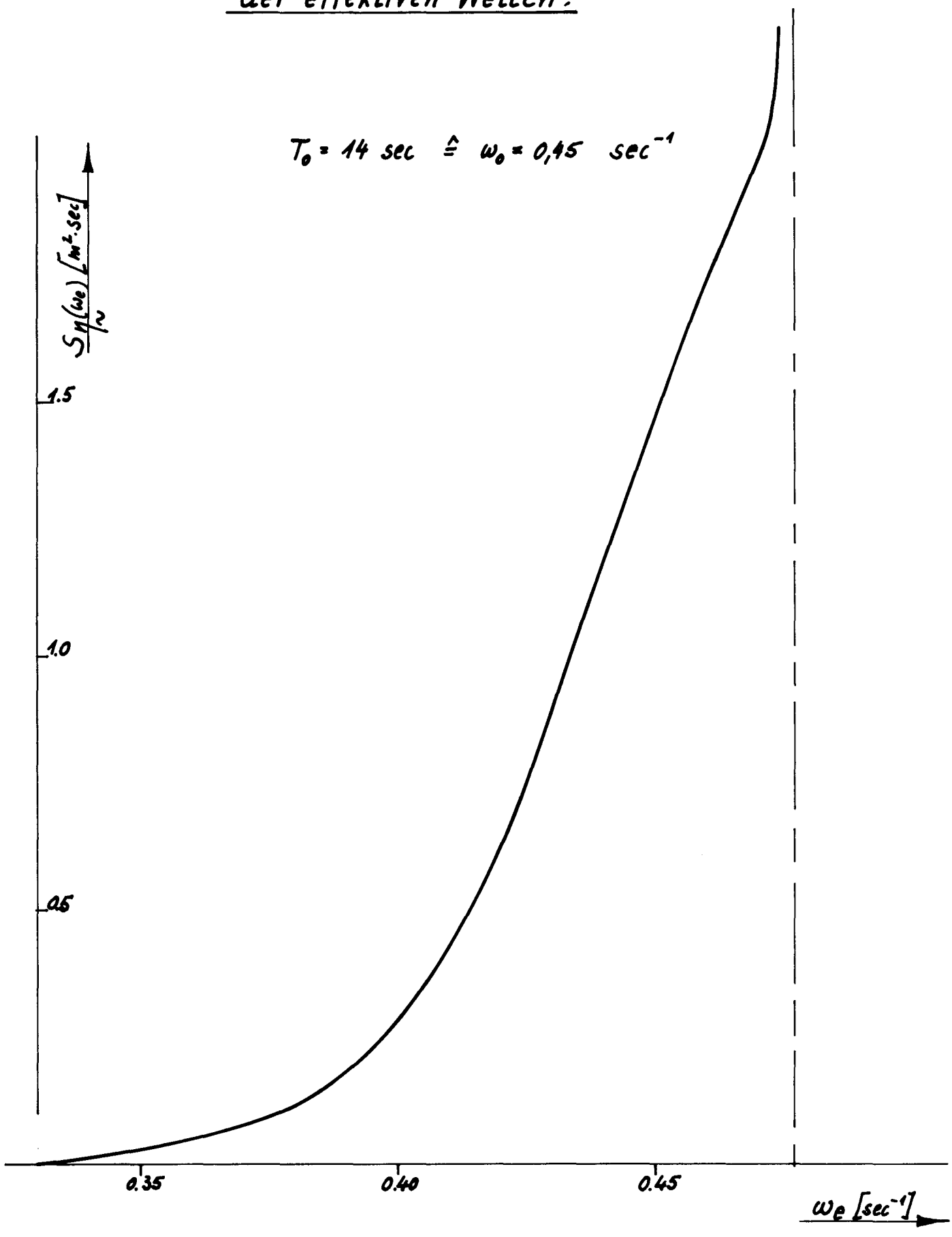


Bild 5

Seegangshebelarme.

$MG_o = 0.11$ m ; $V = 2080$ m³ ; Wellenlänge: $\lambda = 53$ m

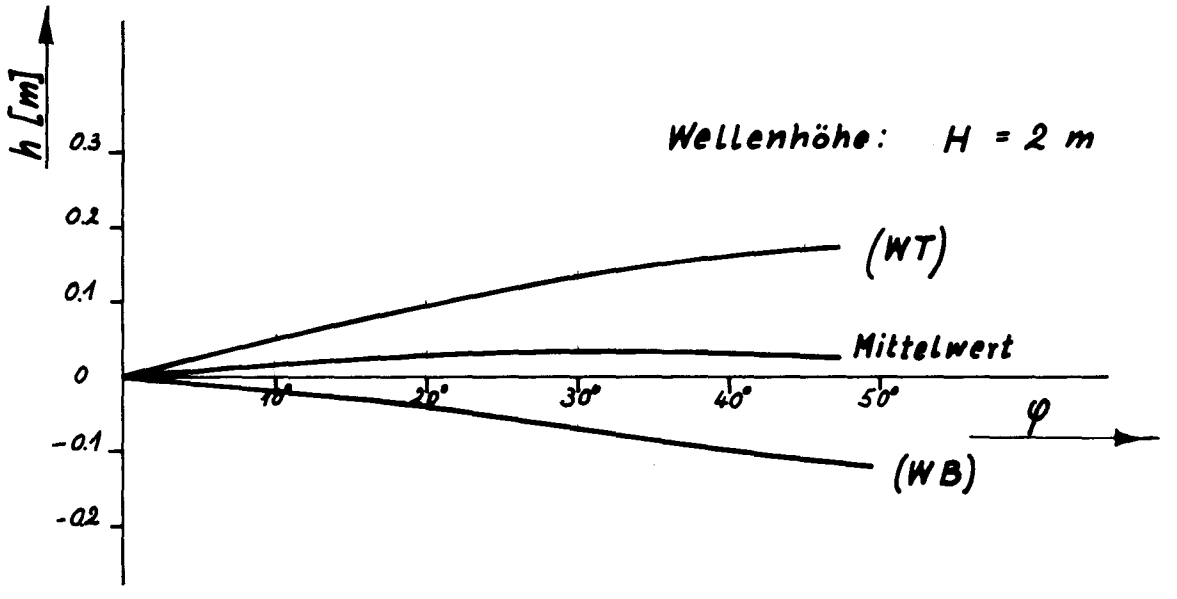


Bild 6

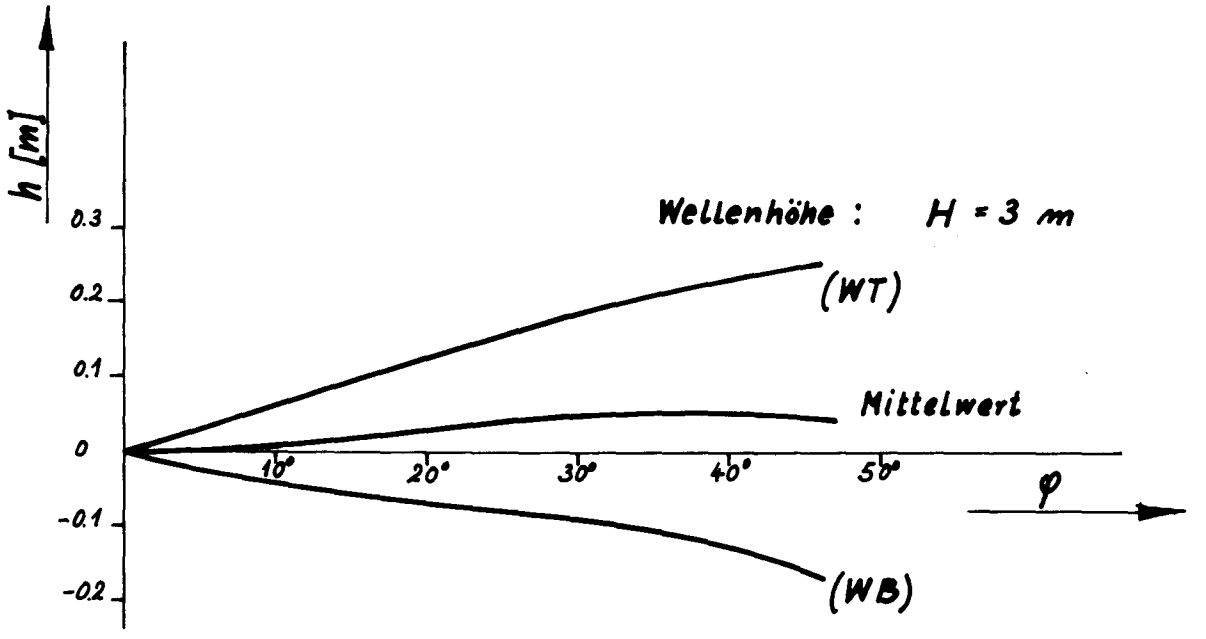


Bild 7

Weg - Zeit - Kurven der Rollbewegung.

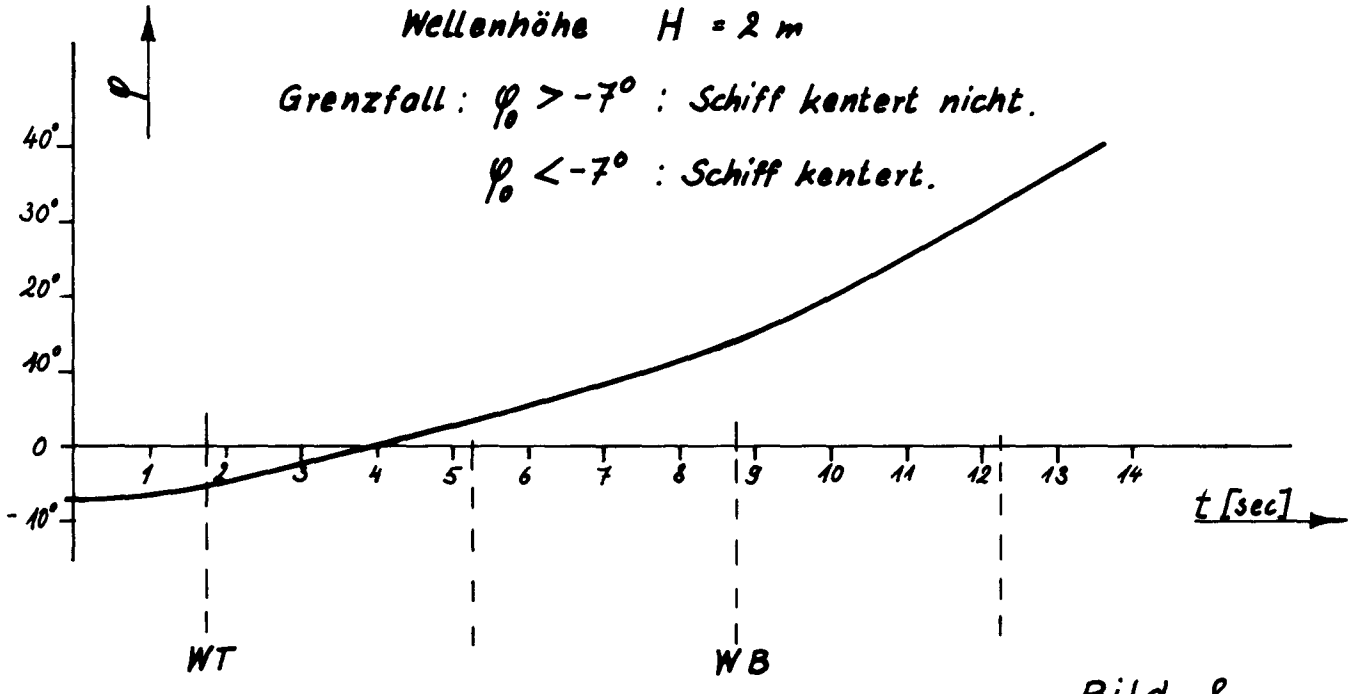


Bild 8

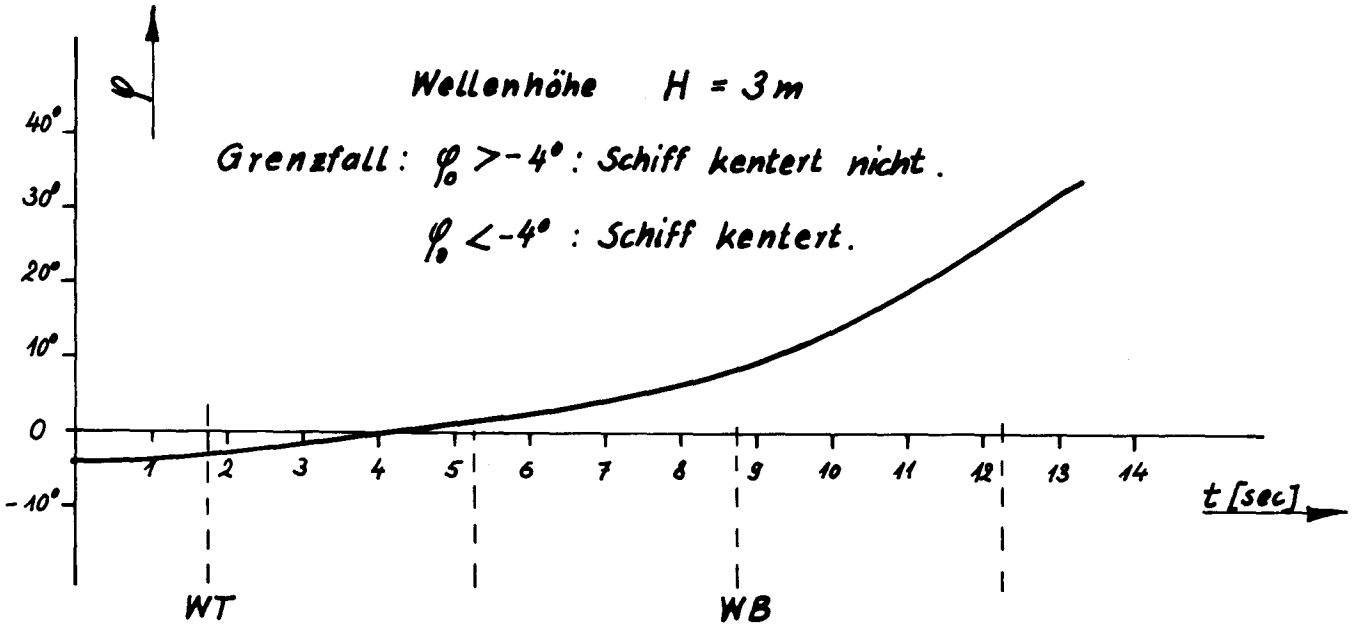


Bild 9

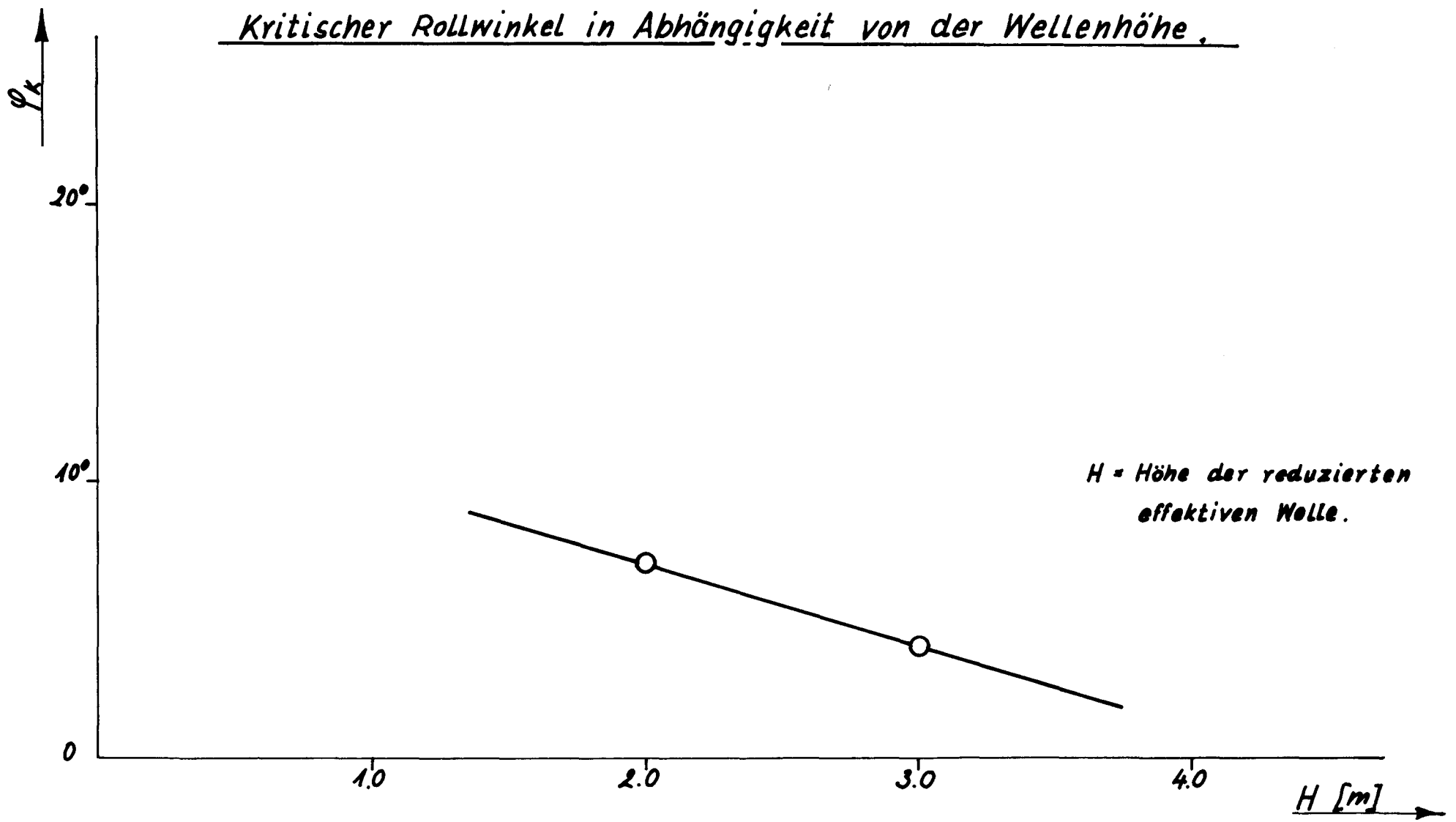

Kritischer Rollwinkel in Abhängigkeit von der Wellenhöhe.
φk
20°
10°
0
1.0
2.0
3.0
4.0
H [m]
H = Höhe der reduzierten effektiven Welle.

Bild 10

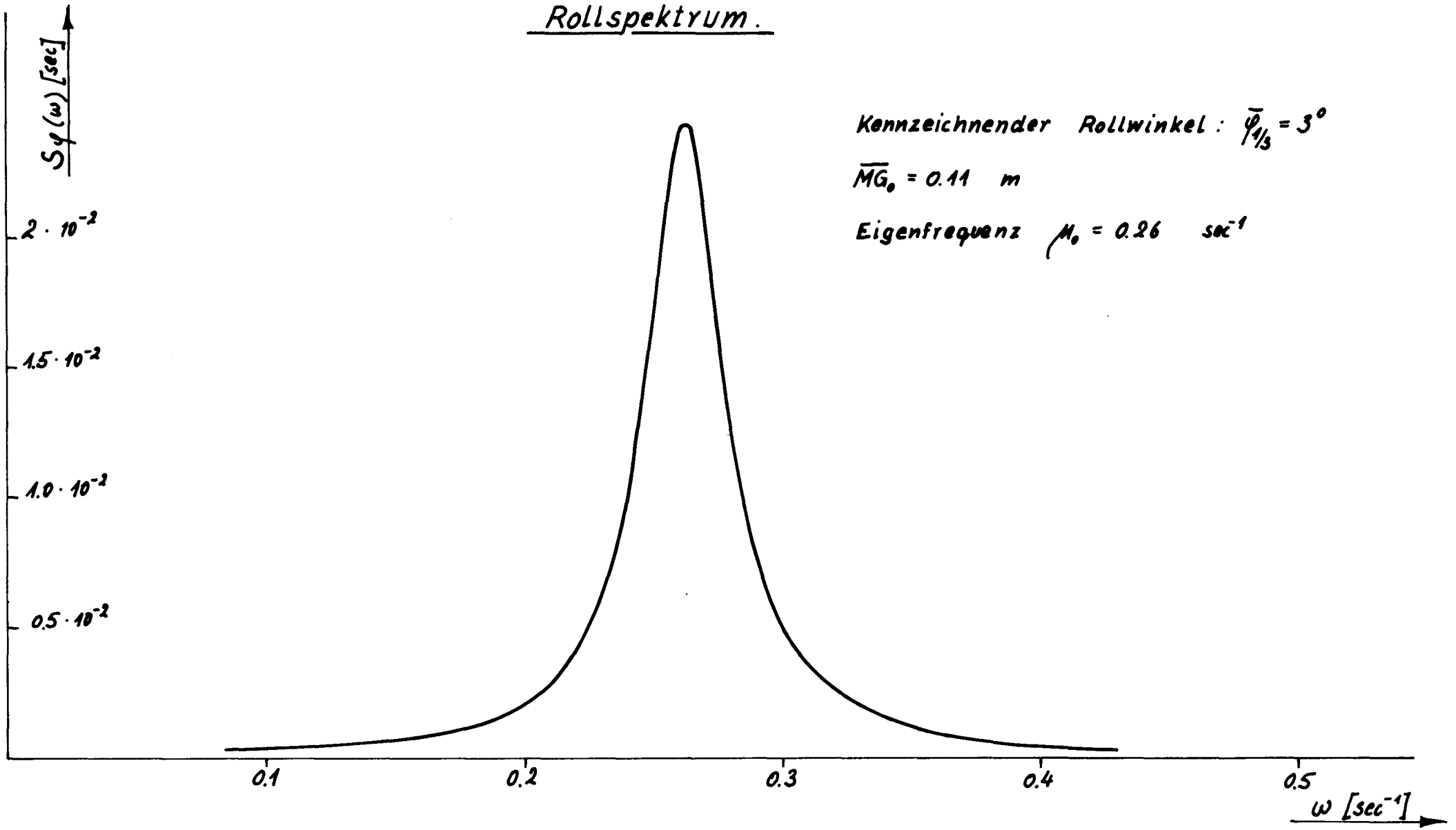

Rollspektrum.
$S_\varphi(\omega)$ [sec]
$2 \cdot 10^{-2}$
$1.5 \cdot 10^{-2}$
$1.0 \cdot 10^{-2}$
$0.5 \cdot 10^{-2}$
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
ω [sec^{-1}]
Kennzeichnender Rollwinkel: $\bar{\varphi}_{1/3} = 3°$
$\overline{MG}_0 = 0.11$ m
Eigenfrequenz $\mu_0 = 0.26$ sec^{-1}

Bild 11

Wahrscheinlichkeit für Nichtkentern.

innerhalb T = 2 Std.

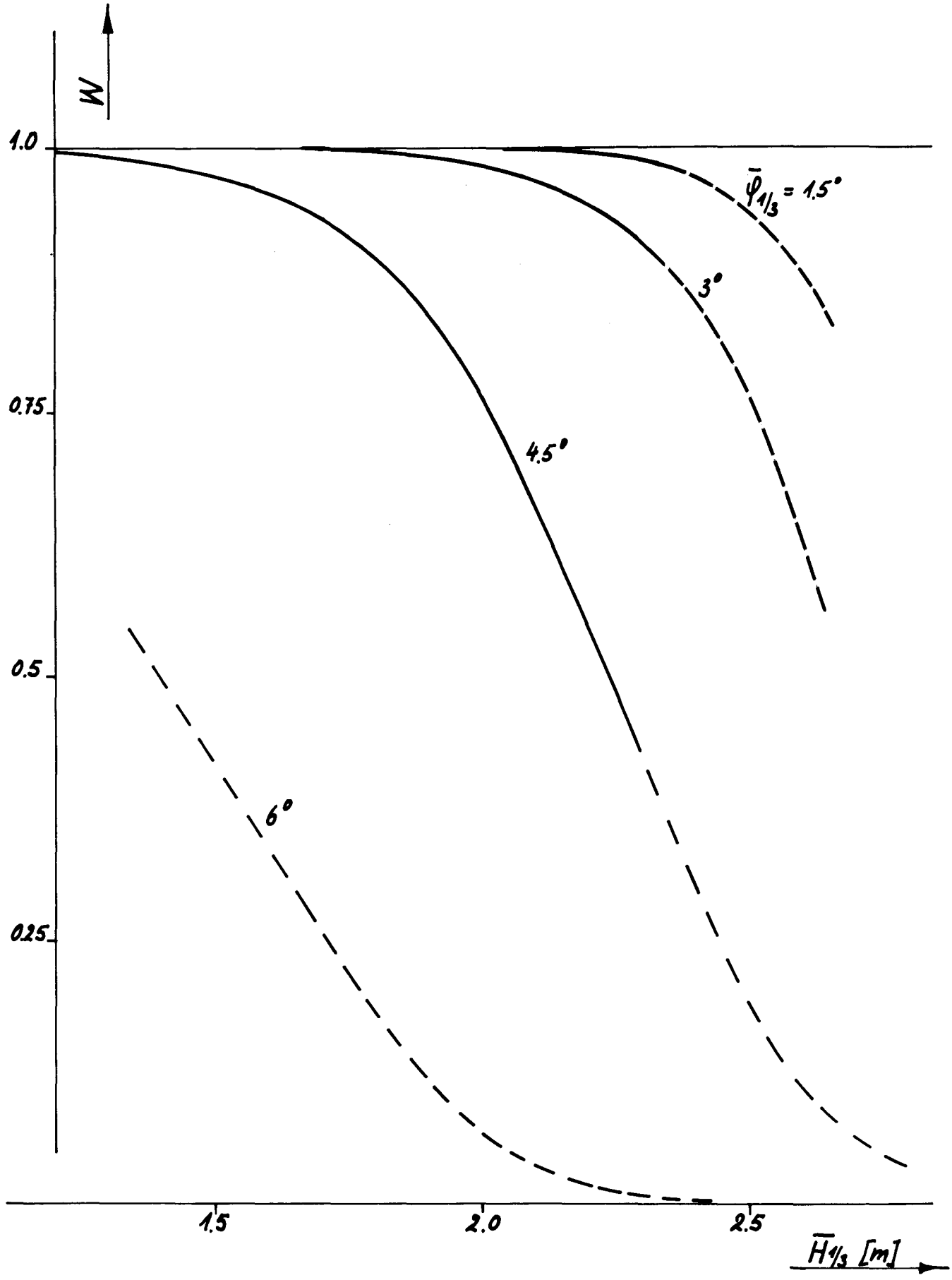


Bild 12