Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich

Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)

Band: 101 (1989)

Artikel: Mechanische Belastbarkeit natürlicher Schilfbestände durch Wellen, Wind und Treibzeug = Mechanical impacts on natural reed stands by wind, waves and drift

Autor: Binz-Reist, Hans-Rudolf

Kapitel: Teil II. Die mechanische Beanspruchung des Schilfes : Wechselwirkungen zwischen Halm und Treibzeug : ein mathematisches Modell

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308911

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.09.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

4. WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN HALM UND TREIBZEUG - EIN MATHEMATISCHES MODELL

4.1 ALLGEMEINES

Im vorangegangen Kapitel 3 haben wir die auf das Schilf wirkenden Belastungen zusammengestellt, im noch folgenden Teil III werden Festigkeit und Steifigkeit der Halme besprochen, welche das Schilf den Belastungen entgegensetzt. Hier geht es nun darum, all diese Größen und Gleichungen (Wind- und Wasserdruck, Bewegung des Treibzeugs, die noch zu besprechende Verformung des Halmes) miteinander zu verknüpfen und die daraus resultierenden Bewegungen zu formulieren (mathematisches Modell). Diese Bewegungen verursachen zeitlich veränderliche Durchbiegungen δ (Auslenkungen gegenüber dem Ruhezustand, vgl. Fig. 4.1.); sind diese Durchbiegungen für jeden Punkt des Halmes bekannt (Biegelinie), so lassen sich daraus die Verformun-

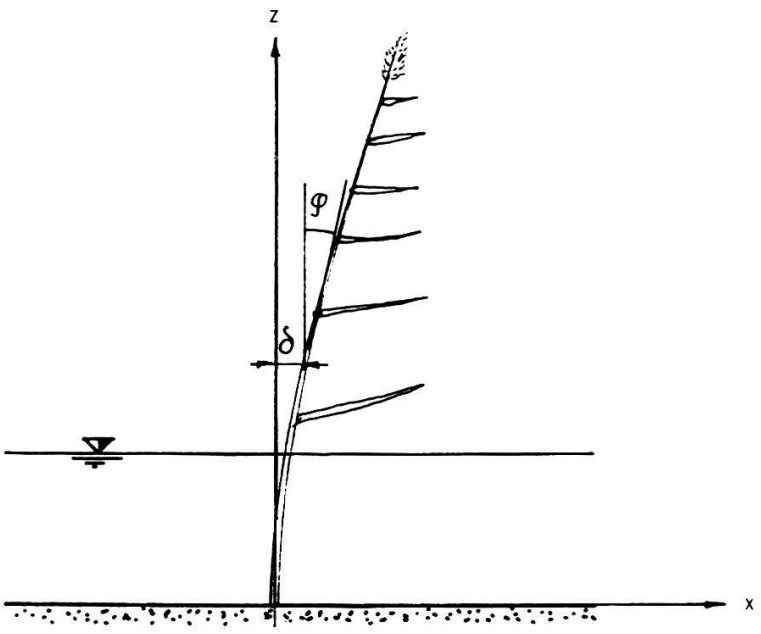


Fig. 4.1. Schilfhalm mit den durch die Belastung verursachten Durchbiegungen $\delta(z)$. $\delta'(z)$ ist gleich dem Tangens des eingezeichneten Winkels φ.

gen des Halmes (Krümmung Φ) und aus diesen die Beanspruchungen (Biegemoment M) ableiten.
Diese Begriffe werden in Teil III, Kapitel 1., definiert und näher erläutert. Ebenso sind dort die Beziehungen zwischen äußeren Belastungen und den Durchbiegungen dargestellt. Wir sehen dort in Gleichung (III 1.19), daß das Biegemoment direkt proportional zur Halmkrümmung Φ ist. Unter den für Festigkeitsversuche zutreffenden Voraussetzungen kleiner Verformungen und näherungsweise über das ganze betrachtete Stück konstanter Querschnittswerte (Trägheitsmoment J, Elastizitätsmodul E) kann die Krümmung Φ gleich der zweiten Ableitung δ'' der Durchbiegung in Richtung der z-Achse gesetzt werden. Die daraus entstehende Differentialgleichung kann geschlossen integriert werden, wodurch sich eine einfache Beziehung zwischen Last und Durchbiegung ergibt.
Betrachten wir den ganzen Halm, so gelten beide Voraussetzungen dazu nicht mehr: Schon kleine Beanspruchungen führen in den oberen Halmpartien zu großen Auslenkungen, da der Halm nur an seinem unteren Ende gehalten wird und im Verhältnis zu seinem Durchmesser sehr lang ist. Zur Betrachtung des ganzen Halmes muß deshalb die exakte Gleichung zur Berechnung der Krümmung in Verbindung mit (III 1.19) verwendet werden:

$$\Phi = \frac{\delta''}{(1+\delta'^2)^{3/2}} = \frac{M}{E \cdot J} \qquad \text{[rad/m]} \quad (41.1)$$

Φ ... Halmkrümmung [rad/m = m^{-1}]
M ... Biegemoment [N·m]
$E \cdot J$ ... Biegesteifigkeit (vgl. Teil III) [N·m^2]
δ ... Durchbiegung (Auslenkung) des Halmes in x-Richtung [m]
δ' ... Erste Ableitung der Durchbiegung nach z (= Tangens des Drehwinkels) [-]
δ'' ... Zweite Ableitung der Durchbiegung nach z [m^{-1}]

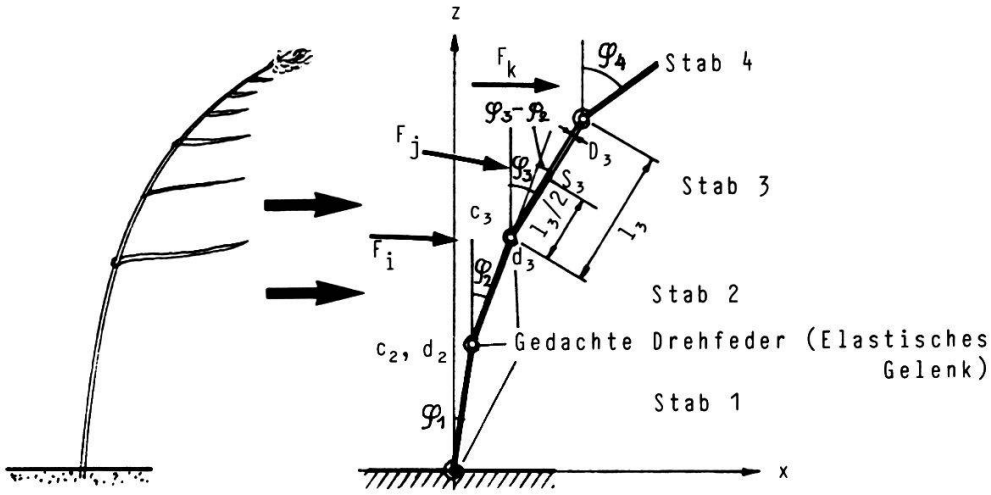
Daß diese Differentialgleichung nicht mehr geschlossen integrierbar ist, braucht wohl kaum besonders hervorgehoben zu werden. Die Querschnitte ($E \cdot J$) verändern sich längs des Halmes sehr stark, der Halm ist unten dick und besteht aus stark verfestigtem Gewebe, oben dagegen ist er dünn und wenig verfestigt. Es ist an sich möglich, (41.1) numerisch zu integrieren (wozu noch das Biegemoment M als Funktion der äußeren Belastung ausgedrückt werden müßte), dieser Weg wäre jedoch nur bei einem statischen Problem gangbar. Beim Schilfhalm, der durch dynamische Einflüsse (Wellen, Wind) belastet wird, sind aber gerade die zeitlichen Veränderungen von Belastung und Verformung (= Bewegung) charakteristisch. Gleichung (41.1) muß daher noch

sachten Bewegungen ergänzt werden. Diese Ergänzung liefert das zweite Newton'sche Prinzip ("Kraft = Masse mal Beschleunigung"). Die Beschleunigung eines Masseteilchen ist gleich der vollständigen zweiten Ableitung (Differenzierung) der Bewegung nach der Zeit. Für ein Element, das sich nur in x-Richtung (entsprechend δ) bewegt heißt dies

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} \qquad [\mathrm{m/s^2}] \quad (41.2)$$

a_x ... Beschleunigung in x-Richtung
t ... Zeit [s]

Dasselbe gilt analog für die y- und z-Richtung. Auch bei den Durchbiegungen sind noch die beiden anderen Raumdimensionen zu berücksichtigen, denn bei stärkerer Biegung verschiebt sich ein Element des Halmes nicht nur waagrecht, sondern auch nach unten. Die y-Dimension kann vernachlässigt werden, wenn wir, wie bei den Wellentheorien, eine ebene Bewegung voraussetzen und die x- und z-Achse in dieser Ebene liegen. Diese Voraussetzung ist dann einigermaßen erfüllt, wenn die Wellen langkämmig sind und sich in der Windrichtung fortpflanzen und wenn sich innerhalb des betrachteten Zeitraumes diese Richtungen nicht ändern.
Verknüpft man das für die Situation des Schilfhalmes formulierte, zweite Newton'sche Prinzip mit der ebenfalls entsprechend umgeformten Gleichung (41.1), so entsteht ein System von Differentialgleichungen zweiter Ordnung mit Ableitungen sowohl nach der Zeit, als auch nach den Raumkoordinaten. Der enorme Aufwand einer numerischen Integration dieser Gleichungen wäre mit den heutigen elektronischen Rechenanlagen zu bewältigen. Dies wäre jedoch nur dann sinnvoll, wenn die benötigten Parameter (Biegesteifigkeit und spezifische Masse des Halmes in jedem Punkt, Wasser- und Luftwiderstandskoeffizienten usw.) bei vernünftigem Aufwand mit einer adäquaten Genauigkeit bestimmt werden könnten. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie aus Kap. 3. und dem noch folgenden Teil III hervorgeht.
Aus diesen Gründen, und weil schon die Gleichung (III 1.19) und damit (41.1) Modelle auf Grund bestimmter Annahmen sind, erscheint es sinnvoll, den Schilfhalm mit einem noch weiter abstrahierenden Modell zu beschreiben. Der Grundgedanke dieses Modells besteht darin, das Kontinuum Schilfhalm zu diskretisieren, das heißt wir stellen uns den Halm unterteilt in mehrere prismatische, starre Teilstäbe vor (Fig. 4.2.). Diese Stäbe biegen sich demnach nicht; Verformungen sind dadurch möglich, daß die Stäbe unter sich durch "elastische Gelenke" (die man sich als Drehfedern vorstellen kann) ver-



l_3 ... Länge von Stab 3
m_3 ... Masse von Stab 3
φ_3 ... Drehwinkel von Stab 3
c_3 ... Federkonstante von Gelenk 3
d_3 ... Dämpfungskonstante von Gelenk 3

Fig. 4.2. Abstraktion des Schilfhalmes zu einem Modell aus (hier 4) starren Teilstäben, die durch elastische Gelenke untereinander verbunden sind. Die äußeren Kräfte F_i entsprechen den Belastungen durch Wind, Wellen, Treibzeug usw.

bunden sind.

Der Ausdruck "elastisches Gelenk" bedeutet, daß der Winkel zwischen zwei Teilstäben direkt proportional dem herrschenden Biegemoment ist, die gedachte Drehfeder ist also dann entspannt, wenn die beiden Teilstäbe in einer Linie liegen.

Da die Verformungen ziemlich rasch entstehen und sich verändern, ist die dabei entstehende innere Reibung nicht zu vernachlässigen. Sie äußert sich als Dämpfungsmoment in den Gelenken. Mangels weiterer Grundlagen wird auch hier ein linearer Ansatz verwendet, der die Reibungsphänomene bei nicht zu großer Geschwindigkeit in der Regel zutreffend erfaßt. Das Dämpfungsmoment ist daher direkt proportional zur Geschwindigkeit $\Delta\varphi_i^{\cdot}$ der Winkeländerung zwischen den betreffenden Teilstäben, die Richtung ist entgegengesetzt der Winkelgeschwindigkeit.

Im i-ten Gelenk (zwischen dem [i-1]-sten und dem i-ten Teilstab) wirkt als totales Moment die Summe des elastischen (Biegemoment) und des Dämpfungsmomentes:

$$M_i = c_i \cdot \Delta\varphi_i + d_i \cdot \Delta\dot{\varphi}_i \qquad \text{[N·m]} \quad (41.3)$$

M_i ... Totales Moment im i-ten Gelenk [N·m]
c_i ... Proportionalitätsfaktor für das (elastische) Biegemoment ("Federkonstante") [N·m/rad]
d_i ... Proportionalitätsfaktor für das Dämpfungsmoment ("Dämpfungskonstante") [N·m·s/rad]
$\Delta\varphi_i$ ... Winkel zwischen den beiden Teilstäben [rad]
$\Delta\dot{\varphi}_i$ ... Änderung des Winkels $\Delta\varphi_i$ pro Zeiteinheit [rad/s]

Die "Federkonstanten" c_i dieses Modells entsprechen der (kontinuierlichen) Biegesteifigkeit des Halmes, der Winkel $\Delta\varphi_i$ entspricht dem Produkt von mittlerer Halmkrümmung und dem Abstand von Mitte zu Mitte der beiden an das betreffende Gelenk anschließenden Teilstäbe i und i-1 (Fig. 4.3.), bzw.:

$$\Phi_m = \frac{\Delta\varphi_i}{1/2\,(l_{i-1} + l_i)} \qquad \text{[rad/m]} \quad (41.4)$$

Φ_m ... Mittlere Krümmung des dem i-ten Gelenk entsprechenden Halmstücks [rad/m]
l_i, l_{i-1} ... Länge des i-ten bzw. (i-1)-sten Teilstab [m]

Da sich nach der schon erwähnten Annahme alle Bewegung in der x-z-Ebene abspielen, kann die Lage jedes Stabes durch eine einzige Größe eindeutig definiert werden (1 Freiheitsgrad pro Stab): Nehmen wir an, i-1 Stäbe seien in ihrer Lage festgelegt, so kann sich der i-te Stab nur um sein unteres (das i-te) Gelenk drehen. Es ist deshalb naheliegend, als Lagekoordinate für die Teilstä-

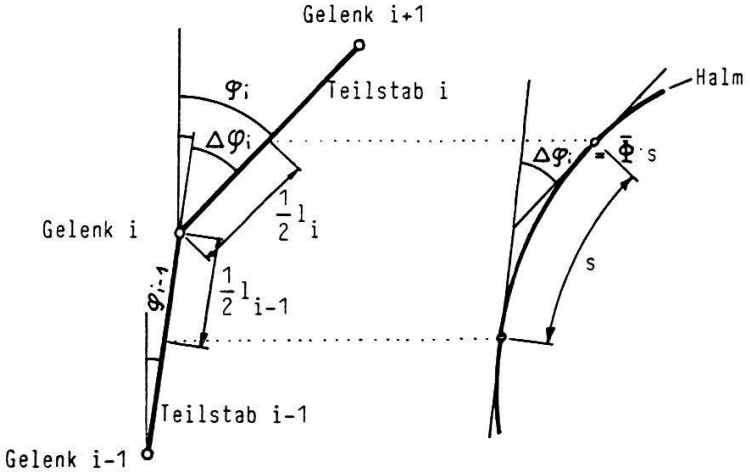


Fig. 4.3. Beziehung zwischen dem Winkel zweier Teilstäbe und der mittleren Krümmung des entsprechenden Halmstücks.

be diesen Drehwinkel φ zu wählen, bezogen auf die z-Achse und positiv im Uhrzeigersinn.
In den folgenden Kapiteln wird zunächst das System der Bewegungsdifferentialgleichungen für dieses Mehrstäbemodell hergeleitet, anschließend wird der Zusammenhang zwischen den Halmeigenschaften (Steifigkeit usw.) und den Modellparametern ("Federkonstanten" usw.) hergestellt.

4.2 FORMULIERUNG DES MATHEMATISCHEN MODELLS

4.2.1. Bewegungsgleichungen des Mehrstäbemodells

Die Bewegungsgleichungen eines mehrgliedrigen Systems werden am einfachsten mit Hilfe der Gleichungen von Lagrange (*1726 †1813) hergeleitet (vgl. ZIEGLER 1966 oder DANKERT 1977 u.a.). Diese Gleichungen sind eine Anwendung des Prinzips der virtuellen Arbeit, welches besagt, daß bei einem virtuellen (d.h. gedachten) Verschiebungszustand die Summe der von den äußeren, den inneren und den Trägheitskräften geleisteten Arbeit gleich 0 ist. Ist das System durch genau so viele Lagekoordinaten q beschrieben, wie es Freiheitsgrade hat, so kann die inkrementale Veränderung ("unendlich kleine" Zunahme δq) jeder einzelnen Lagekoordinate (wobei die übrigen konstant bleiben) als virtueller Verschiebungszustand im obigen Sinne aufgefaßt werden. Dies ist der Fall bei dem im vorigen Kapitel vorgestellten Mehrstäbemodell mit n Stäben, wenn die Drehwinkel der einzelnen Stäbe als Lagekoordinaten gewählt werden. Formuliert man das Prinzip der virtuellen Arbeiten für dieses Modell, indem man zur inkrementalen Veränderung jedes Stabdrehwinkels die entsprechenden Arbeiten der genannten Kräfte summiert und gleich 0 setzt, erhält man n (= Anzahl Stäbe) Bewegungsdifferentialgleichungen.
Eine inkrementale Veränderung der i-ten Lagekoordinate q_i (in unserem Modell: Drehwinkel φ_i) heißt kurz i-te Elementarverschiebung. Die virtuelle Arbeit der Trägheitskräfte wird in den Lagrange'schen Gleichungen als Funktion der kinetischen Energie des Systems im allgemeinen Bewegungszustand (d.h. wenn sich alle Lagekoordinaten q_i mit der "verallgemeinerten Geschwindigkeit" $q_i^{\cdot}$ verändern) ausgedrückt, und zwar getrennt für jede einzelne Lagekoordinate q_i (linke Seite der Gleichung 42.1). Der Ausdruck "verallgemeinerte Geschwindigkeit" bezeichnet die Tatsache, daß es sich hier um effektive Geschwindigkeiten [m/s] oder Winkelgeschwindigkeiten [rad/s] handeln kann, je nachdem ob die entsprechende Lagekoordinate eine Strecke oder ein Winkel ist. Die Gleichungen von Lagrange lauten somit:

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial q_i^{\cdot}} - \frac{\partial T}{\partial q_i} = \frac{\delta A_i}{\delta q_i} = Q_i \quad , \; i = 1 \ldots n \tag{42.1}$$

T ... Kinetische Energie des Systems im allgemeinen Bewegungszustand
q_i ... i-te Lagekoordinate
$q_i^{\cdot}$ ... i-te verallgemeinerte Geschwindigkeit (Ableitung von q_i nach der Zeit)

δA_i ... Virtuelle Arbeit aller inneren und äußeren Kräfte bei einer Elementarverschiebung δq_i
Q_i ... i-te verallgemeinerte Kraft

Die i-te verallgemeinerte Kraft ist der Quotient aus der virtuellen Arbeit aller inneren und äußeren Kräfte bei einer Elementarverschiebung δq_i und hat die Dimension einer Kraft, wenn q_i eine Strecke, und die Dimension eines Momentes, wenn q_i ein Winkel ist.
In unserem Modell sind die Winkel φ zwischen der z-Achse und der Stabachse die Lagekoordinaten. In dem mit der obigen Gleichung definierten Gleichungssystem kann deshalb einfach q_i durch φ_i und $q_i^{\cdot}$ durch $\varphi_i^{\cdot}$ ersetzt werden.
Die **kinetische Energie** jedes Teilstabes setzt sich zusammen aus der Translationsenergie T_T und der Rotationsenergie T_R. Bezeichnet v_{si} die (vektorielle) Geschwindigkeit des Schwerpunktes S_i des i-ten Teilstabes und v_{si} deren Betrag, so wird die Translationsenergie dieses Teilstabes

$$T_{Ti} = 1/2\, m_i \cdot v_{si}^2 \qquad [\mathrm{kg \cdot m^2/s^2 = N \cdot m = J}] \quad (42.2)$$

und die Rotationsenergie

$$T_{Ri} = 1/2\, I_{si} \cdot \varphi_i^{\cdot 2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_i\, l_i^2}{12} \varphi_i^{\cdot 2} \qquad [\mathrm{J}] \quad (42.3)$$

I_{si} ... Massenträgheitsmoment des i-ten Teilstabes bezüglich des Schwerpunktes [kg·m²]
m_i ... Masse des i-ten Teilstabes [kg]
l_i ... Länge des i-ten Teilstabes [m]

Die Rotationsenergie ist in (42.3) bereits als Funktion der (Ableitung der) Lagekoordinaten ausgedrückt. Dagegen muß die Geschwindigkeit des Schwerpunktes für (42.3) entsprechend berechnet werden. In der Figur 4.4. sind die Geschwindigkeiten der Schwer- bzw. Gelenkpunkte der Stäbe eingezeichnet. Zusätzlich ist in dieser Figur zu sehen, wie diese Geschwindigkeiten durch vektorielle Addition der für jeden Stab neu hinzutretenden Komponenten ($v_{i0} = \varphi_i^{\cdot} \cdot l_i$ für das obere Stabende bzw. $1/2 v_{i0}$ für den Schwerpunkt) zustande kommen. Bei der Numerierung ist zu beachten, daß die Gelenke jeweils dem oberen der beiden Teilstäbe zugeordnet sind.
Schreiben wir diese Geschwindigkeiten als Vektoren in x- und z-Komponenten, so folgt aus den geometrischen Verhältnissen der Figur 4.4.:

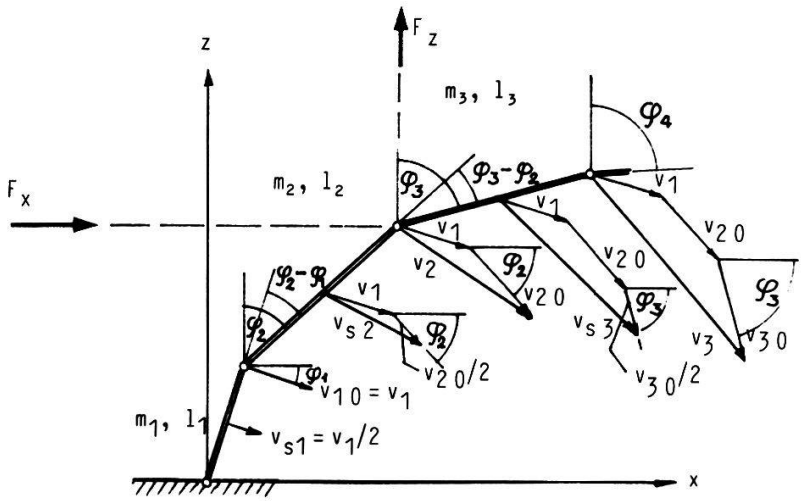


Fig. 4.4. Mehrstäbemodell eines Schilfhalmes mit eingezeichneten Geschwindigkeiten der Stabmitten (Schwerpunkte) und der Stabenden. Die äußere Kraft F (zerlegt in x- und z-Komponente) muß nicht notwendigerweise in einem Gelenk angreifen. Alle linearen Komponenten sind positiv in Richtung der eingezeichneten x- und z-Achse, die Winkel sind positiv im Uhrzeigersinn.

$$v_{10} = \dot{\varphi}_1 \cdot l_1 \{\cos\varphi_1, -\sin\varphi_1\}$$

$$\vdots$$

$$v_{i0} = \dot{\varphi}_i \cdot l_i \{\cos\varphi_i, -\sin\varphi_i\}$$

$$\vdots$$

$$v_{n0} = \dot{\varphi}_n \cdot l_n \{\cos\varphi_n, -\sin\varphi_n\} \qquad \text{[m/s]} \quad (42.4)$$

und

$$v_{s1} = 1/2\, v_{10} = 1/2\, \dot{\varphi}_1 \cdot l_1 \{\cos\varphi_1, -\sin\varphi_1\}$$

$$v_1 = v_{10} = \dot{\varphi}_1 \cdot l_1 \{\cos\varphi_1, -\sin\varphi_1\}$$

$$v_{s2} = v_1 + 1/2\, v_{20} = \{\dot{\varphi}_1 \cdot l_1 \cos\varphi_1 + 1/2\dot{\varphi}_2 \cdot l_2 \cos\varphi_2, -\dot{\varphi}_1 \cdot l_1 \sin\varphi_1 - 1/2\dot{\varphi}_2 \cdot l_2 \sin\varphi_2\}$$

$$v_2 = v_1 + v_{20} = \{\dot{\varphi}_1 \cdot l_1 \cos\varphi_1 + \dot{\varphi}_2 \cdot l_2 \cos\varphi_2, -\dot{\varphi}_1 \cdot l_1 \sin\varphi_1 - \dot{\varphi}_2 \cdot l_2 \sin\varphi_2\}$$

$$v_{si} = v_{i-1} + 1/2\, v_{i0} = \{\sum_{k=1}^{i-1} \dot{\varphi}_k \cdot l_k \cos\varphi_k + 1/2\dot{\varphi}_i \cdot l_i \cos\varphi_i, -\sum_{k=1}^{i-1} \dot{\varphi}_k \cdot l_k \sin\varphi_k - 1/2\dot{\varphi}_i \cdot l_i \sin\varphi_i\} \quad (42.5)$$

$$v_i = v_{i-1} + v_{i\,0} = \{ \sum_{k=1}^{i} \varphi_k^{\cdot} \cdot l_k \cos\varphi_k ,\ -\sum_{k=1}^{i} \varphi_k^{\cdot} \cdot l_k \sin\varphi_k \}$$

$$\vdots$$

$$v_n = v_{n-1} + v_{n\,0} = \{ \sum_{k=1}^{n} \varphi_k^{\cdot} \cdot l_k \cos\varphi_k ,\ -\sum_{k=1}^{n} \varphi_k^{\cdot} \cdot l_k \sin\varphi_k \} \tag{42.6}$$

Die Quadrate des Betrags der Geschwindigkeiten der Schwerpunkte erhält man durch Addition der Quadrate der entsprechenden x- und z-Komponenten. Mit Berücksichtigung der trigonometrischen Identitäten

$$\cos^2\varphi_i + \sin^2\varphi_i \equiv 1 \tag{42.7}$$

und

$$\cos\varphi_i \cos\varphi_j + \sin\varphi_i \sin\varphi_j \equiv \cos(\varphi_i - \varphi_j) \tag{42.8}$$

sowie der von nun an geltenden Abkürzung

$$c_{ij} = \cos(\varphi_i - \varphi_j) = c_{ji} \tag{42.9}$$

(nicht zu verwechseln mit den "Federkonstanten" c_i der elastischen Gelenke) werden diese Geschwindigkeitsquadrate gleich

$$v_{s\,1}^2 = 1/4\ (\varphi_1^{\cdot})^2 \cdot l_1^2$$

$$v_{s\,2}^2 = [\ (\varphi_1^{\cdot})^2 \cdot l_1^2 + 1/4\ (\varphi_2^{\cdot})^2 \cdot l_2^2 + \varphi_1^{\cdot} \varphi_2^{\cdot} l_1 l_2 \cdot c_{21}]$$

$$\vdots$$

$$v_{s\,i}^2 = [\ \sum_{j=1}^{i-1} (\varphi_j^{\cdot})^2 \cdot l_j^2 + 1/4\ (\varphi_i^{\cdot})^2 \cdot l_i^2 + 2 \sum_{k=2}^{j-1} \sum_{j=1}^{k-1} \varphi_j^{\cdot} \varphi_k^{\cdot} \cdot l_j\ l_k \cdot c_{kj} + \sum_{j=1}^{i-1} \varphi_j^{\cdot} \varphi_i^{\cdot} \cdot l_j\ l_i \cdot c_{ij}\ ] \quad . \tag{42.10}$$

Damit kann die kinetische Energie der Teilstäbe berechnet werden, indem die Geschwindigkeitsquadrate (42.10) in (42.2) eingesetzt werden ($v_{s\,i}^2 = |v_{s\,i}|^2 = v_{s\,i}^2$). Addiert man dazu die Rotationsenergie und berücksichtigt, daß

$$1/12\ (\varphi_i^{\cdot})^2 \cdot l_i^2 + 1/4\ (\varphi_i^{\cdot})^2 \cdot l_i^2 = 1/3\ (\varphi_i^{\cdot})^2 \cdot l_i^2 \tag{42.11}$$

so wird die gesamte kinetische Energie der Teilstäbe gleich

$$T_1 = 1/2\ m_1 \cdot [1/3 (\varphi_1^{\cdot})^2 \cdot l_1^2]$$

$$T_2 = 1/2\ m_1 \cdot [\ (\varphi_1^{\cdot})^2 \cdot l_1^2 + 1/3\ (\varphi_2^{\cdot})^2 \cdot l_2^2 + \varphi_1^{\cdot} \varphi_2^{\cdot} l_1 l_2 \cdot c_{21}]$$

$$\vdots$$

$$T_i = 1/2\, m_i \,[\sum_{j=1}^{i-1} (\varphi_j^{\cdot})^2 \cdot l_j^{\,2} + 1/3\, (\varphi_i^{\cdot})^2 \cdot l_i^{\,2} \;+\; 2 \sum_{k=2}^{j-1} \sum_{j=1}^{k-1} \varphi_j^{\cdot} \varphi_k^{\cdot} \cdot l_j\, l_k \cdot c_{kj} +$$

$$+ \sum_{j=1}^{i-1} \varphi_j^{\cdot} \varphi_i^{\cdot} \cdot l_j\, l_i \cdot c_{ij}] \quad . \qquad (42.12)$$

Summiert man die kinetische Energie aller Teilstäbe ($i = 1 \ldots n$), so erhält man die kinetische Energie des ganzen Systems:

$$\begin{aligned} 2\,T \;=\; & (\varphi_1^{\cdot})^2 \cdot l_1^2\, (1/3m_1 \;+ \sum_{k=2}^{n} m_k) + (\varphi_2^{\cdot})^2 \cdot l_2^2\, (1/3m_2 \;+ \sum_{k=3}^{n} m_k) + \ldots \\ & + (\varphi_i^{\cdot})^2 \cdot l_i^2\, (1/3m_i \;+ \sum_{k=i+1}^{n} m_k) + \ldots + (\varphi_n^{\cdot})^2 \cdot l_n^{\,2} \cdot 1/3m_n + \ldots \\ & + 2\, \varphi_1^{\cdot} \varphi_2^{\cdot}\, l_1 l_2\, c_{21}\, (1/2m_2 \;+ \sum_{k=3}^{n} m_k) + \ldots \\ & + 2 \sum_{j=1}^{i-1} [\varphi_j^{\cdot} \varphi_i^{\cdot} \cdot l_j\, l_i\, c_{ij}\, (1/2m_i \;+ \sum_{k=i+1}^{n} m_k)] + \ldots \\ & + 2 \sum_{j=1}^{n-1} [\varphi_j^{\cdot} \varphi_n^{\cdot} \cdot l_j\, l_n\, c_{nj} \cdot 1/2m_n] \end{aligned} \qquad (42.13)$$

Die Ausdrücke in den runden Klammern ( ) sind Konstante, die im folgenden mit

$$M_{in} = 1/3m_i + \sum_{k=i+1}^{n} m_k \qquad [\mathrm{kg}] \quad (42.14)$$

$$M_{nn} = 1/3m_n \qquad [\mathrm{kg}] \quad (42.15)$$

$$M_{in}' = 1/2m_i + \sum_{k=i+1}^{n} m_k = M_{in} + 1/6m_i \qquad [\mathrm{kg}] \quad (42.16)$$

$$M_{nn} = 1/2m_n \qquad [\mathrm{kg}] \quad (42.17)$$

abgekürzt werden. Die kinetische Energie des Stabsystems lautet damit:

$$T = 1/2 \sum_{i=1}^{n} (\varphi_i^{\cdot})^2 \cdot l_i^2 M_{in} \;+\; \sum_{i=2}^{n} [M_{in}' \cdot \sum_{j=1}^{i-1} (\varphi_j^{\cdot} \varphi_i^{\cdot} \cdot l_j\, l_i \cdot c_{ij})] \,. \qquad (42.18)$$

Analog zu den c_{ij} definieren wir nun

$$s_{ij} = \sin(\varphi_i - \varphi_j) = -s_{ji} \quad . \qquad (42.19)$$

In den Gleichungen von Lagrange (42.1) kommen Ableitungen nach den φ_i, nach den $\varphi_i^{\cdot}$ und nach der Zeit vor. Die c_{ij} nach diesen drei Variablen abgeleitet sind:

$$\frac{\partial c_{ij}}{\partial \varphi_i} = -\sin(\varphi_i - \varphi_j) = -s_{ij} = s_{ji} \tag{42.20}$$

$$\frac{\partial c_{ij}}{\partial \dot{\varphi}_j} = \sin(\varphi_i - \varphi_j) = s_{ij} \tag{42.21}$$

$$\frac{dc_{ij}}{dt} = -(\dot{\varphi}_i - \dot{\varphi}_j)\ \sin(\varphi_i - \varphi_j) = -(\dot{\varphi}_i - \dot{\varphi}_j)s_{ij} \tag{42.22}$$

So können die Ausdrücke auf der linken Seite von (42.1) nun in Funktion der Lagekoordinaten formuliert werden. Mit

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} = (\dot{\varphi}_i)^2\, l_i^2 M_{in} + M_{in}' \sum_{j=1}^{i-1} (\dot{\varphi}_j\, l_j\, l_i\, c_{ij}) + \\ + \sum_{k=i+1}^{n} [M_{kn}'\, \dot{\varphi}_k\, l_i\, l_k\, c_{ki}] \tag{42.23}$$

wird

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} = \ddot{\varphi}_i\, l_i^2 M_{in} + M_{in}' \sum_{j=1}^{i-1} \{l_j l_i [\ddot{\varphi}_i\, c_{ij} - \dot{\varphi}_j(\dot{\varphi}_i - \dot{\varphi}_j)s_{ij}]\} + \\ + \sum_{k=i+1}^{n} [M_{kn}'\, l_i l_k \{\ddot{\varphi}_k\, c_{ki} - \dot{\varphi}_k(\dot{\varphi}_k - \dot{\varphi}_i)s_{ki}\}] \tag{42.24}$$

und

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi_i} = -M_{in}' \sum_{j=1}^{i-1} \{\dot{\varphi}_i \dot{\varphi}_j \cdot l_j l_i \cdot s_{ij}\} + \sum_{k=i+1}^{n} [M_{kn}'\, \dot{\varphi}_i \dot{\varphi}_k \cdot l_i l_k \cdot s_{ki}]. \tag{42.25}$$

Durch Subtraktion der Gleichung (42.25) von (42.26) erhalten wir die linke Seite von (42.1):

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} = \ddot{\varphi}_i\, l_i^2 M_{in} + M_{in}' \sum_{j=1}^{i-1} \{l_j l_i (\ddot{\varphi}_i\, c_{ij} - \dot{\varphi}_j \dot{\varphi}_i s_{ij} + \dot{\varphi}_j^2 s_{ij} + \\ + \dot{\varphi}_i \dot{\varphi}_j s_{ij})\} + \\ + \sum_{k=i+1}^{n} [M_{kn}'\, l_i l_k \{\ddot{\varphi}_k\, c_{ki} - \dot{\varphi}_k^2 s_{ki} + \dot{\varphi}_i \dot{\varphi}_k s_{ki} - \\ - \dot{\varphi}_i \dot{\varphi}_k s_{ki}\}] \\ = \ddot{\varphi}_i\, l_i^2 M_{in} + M_{in}' \sum_{j=1}^{i-1} \{l_j l_i (\ddot{\varphi}_i\, c_{ij} + \dot{\varphi}_j^2 s_{ij})\} + \\ + \sum_{k=i+1}^{n} [M_{kn}'\, l_i l_k \{\ddot{\varphi}_k\, c_{ki} + \dot{\varphi}_k^2 s_{ik}\}] \tag{42.26}$$

Auf der rechten Seite der Gleichung (42.1) steht die virtuelle Arbeit der innern und äußeren Kräfte bei einer Elementarverschiebung $\delta\varphi_i$, kurz als i-te Elementararbeit bezeichnet. Es sei nochmals daran erinnert, daß bei der i-ten Elementarverschiebung der Winkel φ_i um $\delta\varphi_i$ vergrößert wird, während die übrigen unverändert bleiben. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache sind folgende Beiträge zur i-ten Elementararbeit δA_i zu berücksichtigen:

- δA_F: Die Arbeit der äußeren Kräfte F, so weit ihr Angriffspunkt bei der i-ten Elementarverschiebung verschoben wird. In unserem Modell sind dies all jene Kräfte, deren Angriffspunkt oberhalb des i-ten Gelenks liegt.
- δA_{el}: Elastische Arbeit des Stabes i. Durch die Verdrehung dieses Stabes um $\delta\varphi_i$ wird der Winkel zwischen dem (i-1)-ten und dem i-ten Stab um $\delta\varphi_i$ vergrößert, jener zwischen dem i-ten und dem (i+1)-ten um $\delta\varphi_i$ verkleinert. Die in diesen beiden Gelenken wirkenden elastischen Momente leisten damit (elastische) Arbeit.
- δA_d: Dämpfungsarbeit des Stabes i. Analog zum elastischen Moment in den Gelenken i und i+1 leistet auch das dortige Dämpfungsmoment Arbeit.

Die Berechnung von δA_{Fi} folgt aus den in Fig. 4.5. dargestellten geometrischen Verhältnissen. Dabei sind alle äußeren Kräfte F, welche oberhalb oder innerhalb des i-ten Teilstabes angreifen, zu berücksichtigen (die unterhalb angreifenden werden bei einer Winkeländerung $\delta\varphi_i$ nicht verschoben und leisten damit keine Arbeit).

- Kraft F oberhalb des Stabes i angreifend:

$$\delta A_{Fi} = F_x\,\delta x + F_z\,\delta z = (F_x \cos\varphi_i - F_z \sin\varphi_i)\, l_i \cdot \delta\varphi_i \qquad (42.27)$$

F_x, F_z ... Waagrechte und senkrechte Komponente der äußeren Kraft F
$\delta x, \delta z$ ... Waagrechte und senkrechte Komponente der durch die Winkeländerung $\delta\varphi_i$ bewirkten Verschiebung des Angriffspunktes der äußeren Kraft F

- Kraft F' innerhalb des Stabes i angreifend:

$$\delta A_{Fi} = (F_x' \cos\varphi_i - F_z' \sin\varphi_i)\, l_{Fi} \cdot \delta\varphi_i \qquad (42.28)$$

l_{Fi} ... Abstand des Angriffspunktes der Kraft F' vom unteren Ende des Stabes i

Bei der Berechnung der Arbeit des elastischen und des Dämpfungsmomentes ist zu berücksichtigen, daß beide Momente, wenn sie positiv sind (d.h. $\varphi_{i+1} > \varphi_i$, bzw. $\varphi_{i+1}^{\cdot} > \varphi_i^{\cdot}$) verkleinernd auf den Winkel zwischen den zwei betreffenden Stäben wirken. Damit wird

$$\delta A_{el\,i} = [-c_i\,(\varphi_i - \varphi_{i-1}) + c_{i+1}\,(\varphi_{i+1} - \varphi_i)]\cdot\delta\varphi_i \tag{42.29}$$

und

$$\delta A_{d\,i} = [-d_i\,(\varphi_i^{\cdot} - \varphi_{i-1}^{\cdot}) + d_{i+1}\,(\varphi_{i+1}^{\cdot} - \varphi_i^{\cdot})]\cdot\delta\varphi_i \quad . \tag{42.30}$$

Durch Addition und Ausklammern erhalten wir die gesamte i-te Elementararbeit:

$$\begin{aligned}
\delta A_i &= \delta A_{Fi} + \delta A_{el\,i} + \delta A_{d\,i} \\
&= \delta\varphi_i \Big\{ c_i\,\varphi_{i-1} - (c_i + c_{i+1})\varphi_i + c_{i+1}\varphi_{i+1} + \\
&\quad + d_i\,\varphi_{i-1}^{\cdot} - (d_i + d_{i+1})\varphi_{i+1}^{\cdot} + d_{i+1}\varphi_{i+1}^{\cdot} + \\
&\quad + l_i \sum_{F \text{ oberh. des Stabes } i} (F_x \cos\varphi_i - F_z \sin\varphi_i) + \\
&\quad + \sum_{F' \text{ innerh. des Stabes } i} [\, l_{Fi}\,(F_x' \cos\varphi_i - F_z' \sin\varphi_i] \Big\}
\end{aligned} \tag{42.31}$$

Die i-te Lagrange'sche Gleichung unseres Mehrstäbemodells erhalten wir durch Gleichsetzen der Gleichungen (42.26) mit (42.31) und Dividieren durch $\delta\varphi_i$.

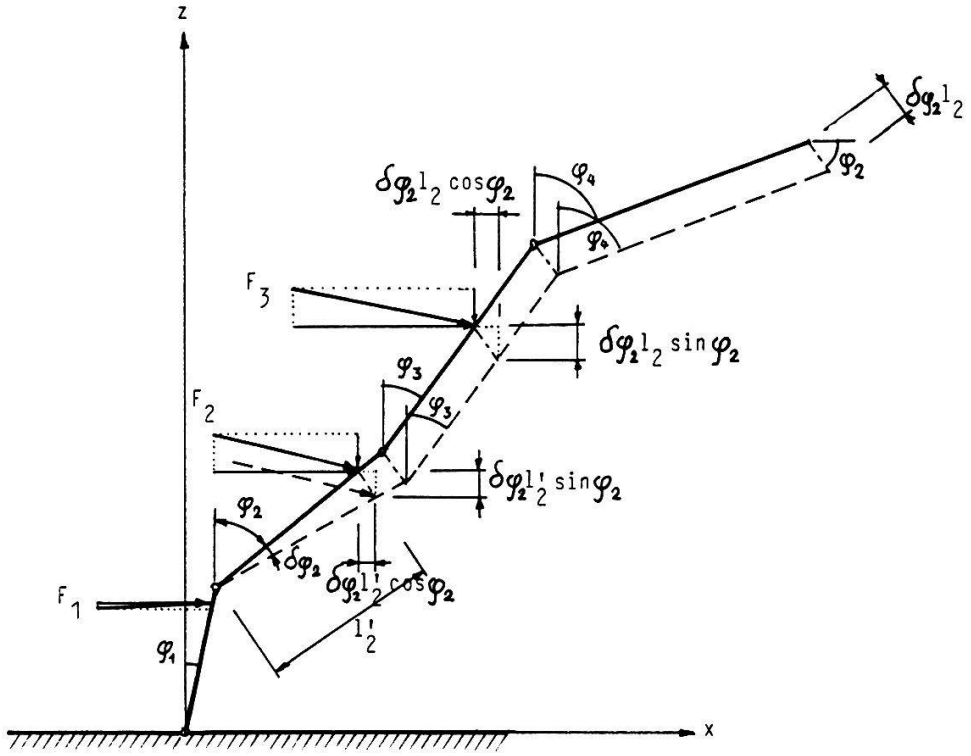


Fig. 4.5. Verschiebung der äußeren Kräfte F infolge einer Elementarverschiebung $\delta\varphi_i$ (hier: $\delta\varphi_2$).

Zur besseren Übersichtlichkeit werden dazu folgende Abkürzungen definiert:

$$\omega_{ii}^2 = l_i^2 M_{in} \tag{42.32}$$
$$\omega_{ij}^2 = l_j\, l_i\, M_{in}' \tag{42.33}$$
$$\gamma_{i\,i-1} = c_i = \gamma_{i-1\,i} \tag{42.34}$$
$$\gamma_{i\,i} = c_i + c_{i+1} \tag{42.35}$$
$$\gamma_{i\,i+1} = c_{i+1} \tag{42.36}$$
$$\delta_{i\,i-1} = d_i = \delta_{i-1\,i} \tag{42.37}$$
$$\delta_{i\,i} = d_i + d_{i+1} \tag{42.38}$$
$$\delta_{i\,i+1} = d_{i+1} \tag{42.39}$$

Nimmt man alle "inneren" Größen auf die linke und alle "äußeren" auf die rechte Seite des Gleichheitszeichens, so erhält die i-te Bewegungsdifferentialgleichung des Systems die Form

$$\sum_{j=1}^{i-1}(\omega_{ji}^2 c_{ij}\ \ddot{\varphi}_j) + \omega_{ii}^2 \ddot{\varphi}_i + \sum_{k=i+1}^{n}(\omega_{ik}^2 c_{ki}\ \ddot{\varphi}_k) + \sum_{j=1}^{i-1}(\omega_{ji}^2 s_{ij}\ \dot{\varphi}_j^2) + \sum_{k=i+1}^{n}(\omega_{ik}^2 s_{ik}\ \dot{\varphi}_k^2)$$
$$- \delta_{i\,i-1}\,\dot{\varphi}_{i-1} + \delta_{i\,i}\,\dot{\varphi}_i - \delta_{i\,i+1}\,\dot{\varphi}_{i+1} - \gamma_{i\,i-1}\,\varphi_{i-1} + \gamma_{i\,i}\,\varphi_i - \gamma_{i\,i+1}\,\varphi_{i+1} =$$
$$= l_i \sum_F (F_x \cos\varphi_i - F_z \sin\varphi_i) + \sum_{F'} l_{Fi}\,(F_x' \cos\varphi_i - F_z' \sin\varphi_i) \tag{42.40}$$

Definiert man folgende Vektoren:

$$\varphi = \begin{Bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \vdots \\ \varphi_n \end{Bmatrix} \quad \dot{\varphi} = \begin{Bmatrix} \dot{\varphi}_1 \\ \dot{\varphi}_2 \\ \vdots \\ \dot{\varphi}_n \end{Bmatrix} \quad \dot{\varphi}^2 = \begin{Bmatrix} \dot{\varphi}_1^2 \\ \dot{\varphi}_2^2 \\ \vdots \\ \dot{\varphi}_n^2 \end{Bmatrix} \quad \ddot{\varphi} = \begin{Bmatrix} \ddot{\varphi}_1 \\ \ddot{\varphi}_2 \\ \vdots \\ \ddot{\varphi}_n \end{Bmatrix}, \tag{42.41}$$

analog dazu den Belastungsvektor ψ mit den Gliedern der rechten Seite von (42.41) als "Störfunktion"

$$\psi = \begin{Bmatrix} l_1 \sum_F (F_x \cos\varphi_1 - F_z \sin\varphi_1) + \sum_{F'} l_{F1}\,(F_x' \cos\varphi_1 - F_z' \sin\varphi_1) \\ l_2 \sum_F (F_x \cos\varphi_2 - F_z \sin\varphi_2) + \sum_{F'} l_{F2}\,(F_x' \cos\varphi_2 - F_z' \sin\varphi_2) \\ \vdots \\ l_n \sum_F (F_x \cos\varphi_n - F_z \sin\varphi_n) + \sum_{F'} l_{Fn}\,(F_x' \cos\varphi_n - F_z' \sin\varphi_n) \end{Bmatrix}$$

und die Matrizen

$$M_c = \begin{vmatrix} \omega_{11}^2 & \omega_{12}^2 c_{12} & \omega_{13}^2 c_{13} & \dots & \omega_{1n}^2 c_{1n} \\ \omega_{12}^2 c_{21} & \omega_{22}^2 & \omega_{23}^2 c_{23} & \dots & \omega_{2n}^2 c_{2n} \\ \omega_{13}^2 c_{31} & \omega_{23}^2 c_{32} & \omega_{33}^2 & \dots & \omega_{3n}^2 c_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \omega_{1n}^2 c_{n1} & \omega_{2n}^2 c_{n2} & \omega_{3n}^2 c_{n3} & \dots & \omega_{n\,n}^2 \end{vmatrix} \tag{42.43}$$

$$\Omega = \begin{vmatrix} 0 & \omega_{12}^2 s_{12} & \omega_{13}^2 s_{13} & \dots & \omega_{1n}^2 s_{1n} \\ \omega_{12}^2 s_{21} & 0 & \omega_{23}^2 s_{23} & \dots & \omega_{2n}^2 s_{2n} \\ \omega_{13}^2 s_{31} & \omega_{23}^2 s_{32} & 0 & \dots & \omega_{3n}^2 s_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \omega_{1n}^2 s_{n1} & \omega_{2n}^2 s_{n2} & \omega_{3n}^2 s_{n3} & \dots & 0 \end{vmatrix} \tag{42.44}$$

$$\Gamma = \begin{vmatrix} \gamma_{11} & -\gamma_{12} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -\gamma_{21} & \gamma_{22} & -\gamma_{23} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -\gamma_{32} & \gamma_{33} & -\gamma_{34} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \gamma_{n\,n-1} & \gamma_{n\,n} \end{vmatrix} \tag{42.45}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \delta_{11} & -\delta_{12} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -\delta_{21} & \delta_{22} & -\delta_{23} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -\delta_{32} & \delta_{33} & -\delta_{34} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \delta_{n\,n-1} & \delta_{n\,n} \end{vmatrix} \tag{42.46}$$

dann kann das ganze Gleichungssystem nach einigen Umstellungen viel einfacher angeschrieben werden:

$$\underline{\underline{M_c\,\ddot{\varphi} = \psi - \Omega\,\dot{\varphi}^2 - \Delta\,\dot{\varphi} - \Gamma\,\varphi}} \tag{42.47}$$

Die Glieder der Koeffizientenmatrizen berechnen sich nach (42.42 - 42.46), (42.32 - 42.39), (42.14 - 42.17) sowie (42.9) und (42.19).
Wie aus den Gleichungen (42.9), (42.34) und (42.37) hervorgeht, sind die Matrizen M_c, Γ und Δ symmetrisch, dagegen ist Ω gemäß (42.19) antimetrisch.

Die Analogie von (42.27) mit einer "normalen" Schwingungsdifferentialgleichung fällt sofort auf. Als Folge der großen Ausschläge, welche eine Linearisierung verbieten, sind allerdings die Koeffizienten nicht konstant und erscheint zusätzlich eine Funktion der $\dot{\varphi}^2$. Zur Integration muß deshalb das Differentialgleichungssystem (42.47) bei jedem Schritt zuerst nach $\ddot{\varphi}$ aufgelöst werden, die Matrix $\boldsymbol{M}_c$ kann nicht "ein für alle Mal" invertiert werden.

4.2.2. Berücksichtigung der äußeren Kräfte in den Bewegungsgleichungen des Mehrstäbemodells (Störfunktion)

Der Belastungsvektor ψ (Störfunktion) erfaßt die Einwirkungen der äußeren Kräfte auf den Halm. Er setzt sich zusammen aus einem Teil ψ_T für den Einfluß des schwimmenden Treibzeugs (Normal- und Reibunskraft in der Berührungsstelle Halm-Treibzeug), aus ψ_{w+l} infolge der direkten Einwirkung von Wind und Wellen auf den Halm (Wasser- und Luftdruck) sowie dem Anteil ψ_g, resultierend aus dem Eigengewicht des Halms.

4.2.2.1. Der Einfluß des schwimmenden Treibzeugs

Die Bewegung des Treibzeugs infolge des Wellenganges wurde in Kapitel 3.3. untersucht und in den Gleichungen (33.9), (33.10) und (33.15) formuliert. Für jene Fälle, wo Treibzeug und Schilfhalm miteinander in Berührung stehen, müssen diese Gleichungen nach der wirkenden Kraft F aufgelöst werden. Diese Kraft kann dann entsprechend in die Störfunktion ψ des Gleichungssystems (42.47) eingesetzt werden. In der Figur 4.6. sind alle dazu notwendigen Größen eingezeichnet. Es ist zu beachten, daß in der Berührungsstelle Halm-Treibzeug zwei Punkte definiert werden, nämlich der Punkt T als Bestandteil des Treibzeugs und der Punkt B als Bestandteil des Halmes. Obwohl diese zwei Punkte momentan zusammenfallen, bewegen sie sich doch je mit verschiedener Geschwindigkeit.
Das Treibzeug berührt den b-ten Teilstab, während der den Wasserspiegel schneidende als der q-te bezeichnet sei. Selbstverständlich kann es sich auch beide Male um den selben Teilstab handeln ($b = q$). Der b-te Teilstab definiert ein lokales Koordinatensystem, in welchem der Ort des Treibzeugs durch die lokale Lagekoordinate r (= Abstand des Punktes T vom unteren Ende des b-ten Teilstabes) bestimmt ist. Die Länge l_r bezeichnet den Abstand

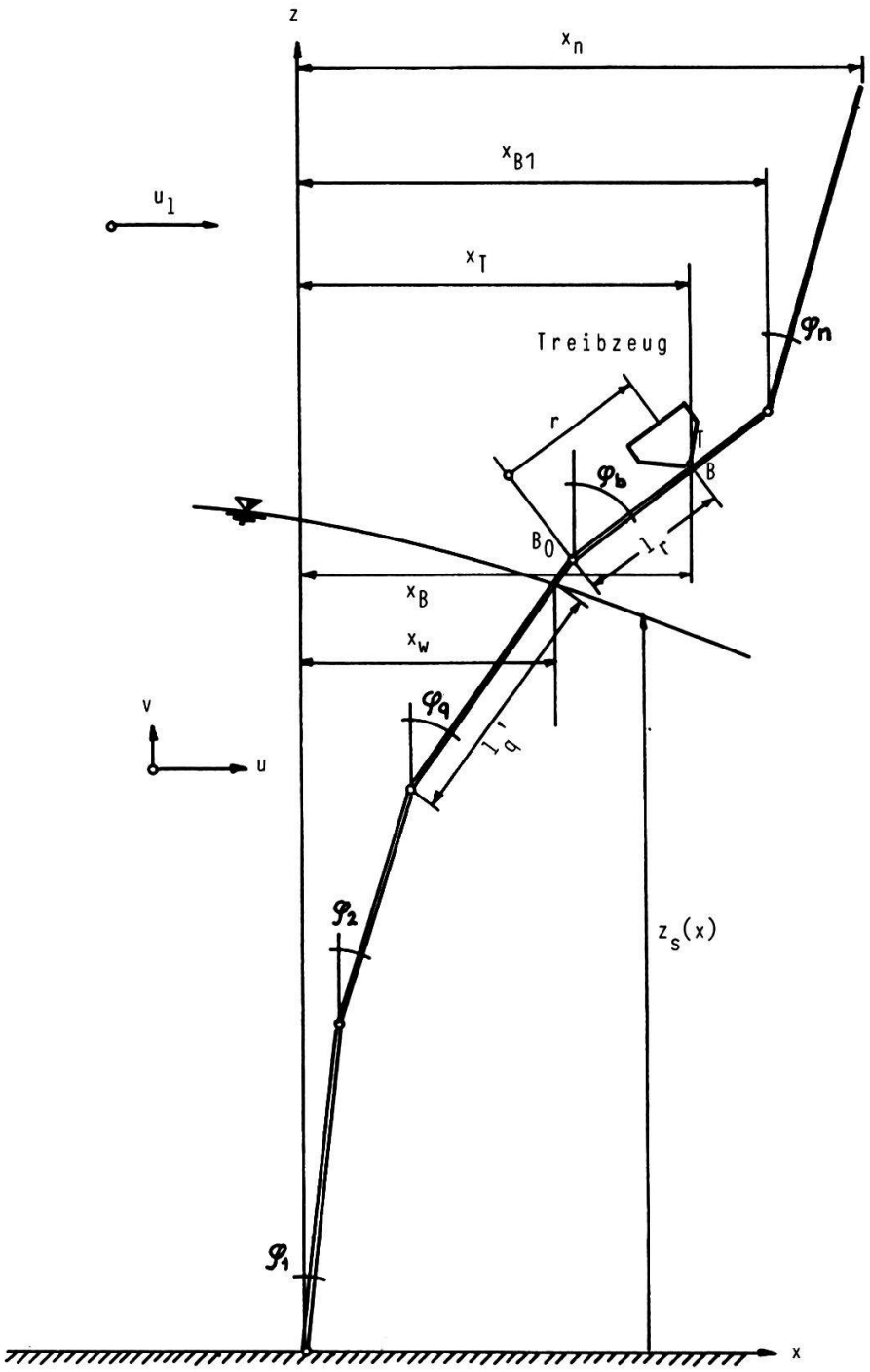


Fig. 4.6. Definitionsskizze für die zur Beschreibung des Zusammenwirkens von Treibzeug und Halm notwendigen Größen. (In diesem Beispiel ist der q-te Teilstab der dritte, der b-te der vierte.)

des Punktes B vom unteren Ende des b-ten Teilstabes. Die übrigen Größen gehen ohne weiteres aus der Figur 4.6. hervor.
Zusätzlich seien noch zwei Vektoren definiert:

$$\boldsymbol{x} = \begin{Bmatrix} x \\ z \end{Bmatrix} \tag{42.48}$$

(Ortsvektor; der entsprechende Punkt wird durch einen Index [$_T$ für Treibzeug, $_B$ für den Punkt B]bezeichnet)

Die Ortsvektoren können einmal (= Geschwindigkeit) oder zweimal (= Beschleunigung) nach der Zeit abgeleitet werden.

$$\boldsymbol{r} = \begin{Bmatrix} r \sin\varphi_b \\ r \cos\varphi_b \end{Bmatrix} \tag{42.49}$$

(Relativer Ortsvektor in dem zu x und z parallelen, lokalen Koordinatensystem des b-ten Teilstabes)

Die Berechnung wird übersichtlicher, wenn wir zuerst die Relativbewegung des Treibzeug bezüglich des b-ten Teilstabes betrachten und hernach mit der Bewegung des Stabes b überlagern. In Figur 4.7. sind der b-te Teilstab und das Treibzeug noch einmal isoliert gezeichnet. Daraus gehen zusammen mit der Figur 4.6. folgende Zusammenhänge hervor:

$$x_T(t) = x_{B0}(t) + r(t) \sin\varphi_b(t) = \sum_{i=1}^{b-1} l_i \sin\varphi_i(t) + r(t) \sin\varphi_b(t) \tag{42.50}$$

$$z_T(t) = z_{B0}(t) + r(t) \cos\varphi_b(t) = \sum_{i=1}^{b-1} l_i \cos\varphi_i(t) + r(t) \cos\varphi_b(t) \quad , \tag{42.51}$$

analog

$$x_B(t) = x_{B0}(t) + l_r(t) \sin\varphi_b(t) = \sum_{i=1}^{b-1} l_i \sin\varphi_i(t) + l_r(t) \sin\varphi_b(t) \tag{42.52}$$

$$z_B(t) = z_{B0}(t) + l_r(t) \cos\varphi_b(t) = \sum_{i=1}^{b-1} l_i \cos\varphi_i(t) + l_r(t) \cos\varphi_b(t) \quad . \tag{42.53}$$

Aus (42.50) und (42.51) folgt

$$r(t) = \frac{x_T(t) - x_{B0}(t)}{\sin\varphi_b(t)} = \frac{z_T(t) - z_{B0}(t)}{\cos\varphi_b(t)} \tag{42.54}$$

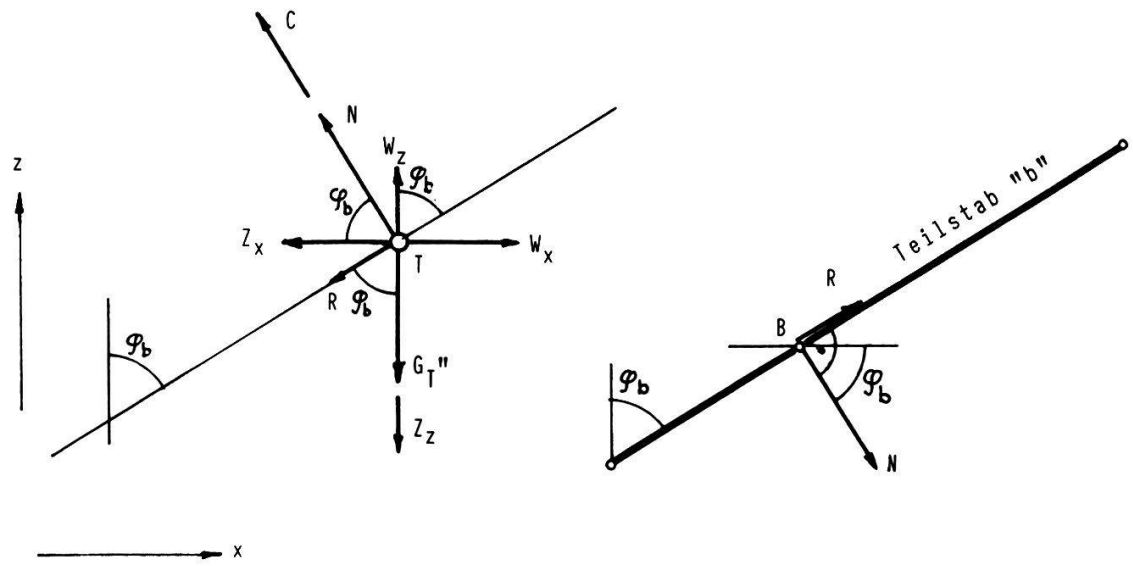


Fig. 4.7. Die an Halm und Treibzeug angreifenden Kräfte.
Links: Auf das Treibzeug wirkende Kräfte.
Rechts: Auf den Halm wirkende Kräfte

G_T''	Gewicht des Treibzeugs, ggf. unter Wasser	W_x, W_z	Dynamischer Wasserdruck
C	Corioliskraft	Z_x, Z_z	Führungskraft
N	Normalkraft	R	Reibungskraft

Da außer den Teilstablängen l_i alle verwendeten Größen Funktionen der Zeit sind, wird im folgenden die Indexierung (t) weggelassen.

Für die Geschwindigkeit des Treibzeugs gilt:

Absolute Geschwindigkeit = Führungsgeschwindigkeit + Relativgeschwindigkeit

$$x_T^{\cdot} = x_B^{\cdot} + r^{\cdot} \quad , \tag{42.55}$$

in Komponenten ausgeschrieben

$$x_T^{\cdot} = x_B^{\cdot} + r^{\cdot} \sin\varphi_b \tag{42.56}$$

$$z_T^{\cdot} = z_B^{\cdot} + r^{\cdot} \cos\varphi_b \tag{42.57}$$

Daraus die Relativgeschwindigkeit des Treibzeugs zum Stab:

$$r^{\cdot} = \frac{x_T^{\cdot} - x_B^{\cdot}}{\sin\varphi_b} = \frac{z_T^{\cdot} - z_B^{\cdot}}{\cos\varphi_b} \quad . \tag{42.58}$$

Dabei ist

$$x_B^{\cdot} = x_{B0}^{\cdot} + l_r\, \varphi_b^{\cdot} \cos\varphi_b = \sum_{i=1}^{b-1} l_i\, \varphi_i^{\cdot} \cos\varphi_i + l_r\, \varphi_b^{\cdot} \cos\varphi_b \tag{42.59}$$

und

$$z_B^{\cdot} = z_{B0}^{\cdot} - l_r\, \varphi_b^{\cdot} \sin\varphi_b = -\sum_{i=1}^{b-1} l_i\, \varphi_i^{\cdot} \sin\varphi_i - l_r\, \varphi_b^{\cdot} \sin\varphi_b \quad . \tag{42.60}$$

Für die Beschleunigungen gilt analog:

Absolute Beschleunigung = Führungsbeschl. + Relative Beschl. + Coriolisbeschl.

$$\boldsymbol{x_T}^{\cdot\cdot} = \boldsymbol{x_B}^{\cdot\cdot} + \boldsymbol{r}^{\cdot\cdot} + r^{\cdot} \frac{\partial}{\partial r} (\boldsymbol{x_B}^{\cdot} + \boldsymbol{x_T}^{\cdot}) \tag{42.61}$$

Der letzte Term der obigen Gleichung, die Coriolisbeschleunigung, entsteht dadurch, daß der Berührungspunkt $B(t+dt)$, in welchem das Treibzeug den Stab zur Zeit $t+dt$ berühren wird, eine andere Geschwindigkeit hat als der Punkt $B(t)$, wo das Treibzeug den Stab zur Zeit t berührt (Beschleunigung infolge der Verschiebung).

Die Differentialgleichung für die Bewegung des Treibzeugs auf dem Teilstab b folgt aus dem zweiten Newton'schen Prinzip, welches für Relativbewegungen folgende Form hat:

$$M\, \boldsymbol{r}^{\cdot\cdot} = \sum (\text{Äußere Kräfte}) - \boldsymbol{Z} - \boldsymbol{C} \quad . \tag{42.62}$$

Dabei werden die aus der Führungs- und der Coriolisbeschleunigung entstehenden Trägheitskräfte (Führungskraft $\boldsymbol{Z}$ und Corioliskraft $\boldsymbol{C}$ = Produkt von der Masse mit der entsprechenden Beschleunigung) als **fiktive äußere Kräfte** eingeführt. Die Führungskraft $\boldsymbol{Z}$ ist bei einer reinen Rotation des "Fahrzeugs" nichts anderes als die aus der Anschauung wohl bekannte Zentrifugalkraft. M ist die Masse des Treibzeugs M_T nebst der diesem zuzurechnenden Wassermasse M' gemäß Gleichung (33.5); vgl. Kap. 3.3.3..

Die Führungsbeschleunigung erhält man durch Ableitung der Gleichungen (42.59) und (42.60) nach der Zeit:

$$x_B^{\cdot\cdot} = \sum_{i=1}^{b-1} (\varphi_i^{\cdot\cdot} l_i \cos\varphi_i - \varphi_i^{\cdot 2} l_i \sin\varphi_i) + \varphi_b^{\cdot\cdot} l_r \cos\varphi_b - \varphi_b^{\cdot 2} l_r \sin\varphi_b \tag{42.63}$$

und

$$z_B^{\cdot\cdot} = \sum_{i=1}^{b-1} (-\varphi_i^{\cdot\cdot} l_i \sin\varphi_i - \varphi_i^{\cdot 2} l_i \cos\varphi_i) - \varphi_b^{\cdot\cdot} l_r \sin\varphi_b - \varphi_b^{\cdot 2} l_r \cos\varphi_b \quad , \tag{42.64}$$

die Coriolisbeschleunigung durch Ableitung derselben Gleichungen nach der Lagekoordinate r :

$$\frac{\partial}{\partial r} x_B^{\cdot} = \varphi_b^{\cdot} \cos \varphi_b = \frac{\partial}{\partial r} x_T^{\cdot} \tag{42.65}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} z_B^{\cdot} = \varphi_b^{\cdot} \sin \varphi_b = \frac{\partial}{\partial r} z_T^{\cdot} \tag{42.66}$$

und Multiplikation mit $2r^{\cdot}$. Die Kräfte $\boldsymbol{Z}$ und $\boldsymbol{F}$ sind gleich der Masse M multipliziert mit den zugehörigen Beschleunigungen, sie sind diesen entgegengerichtet. In Komponenten ausgeschrieben sieht dies so aus, wenn die Kräfte in der in Figur 4.7. eingezeichneten Richtung positiv gesetzt werden:

$$Z_x = M x_B^{\cdot\cdot} \tag{42.67}$$

$$Z_z = M z_B^{\cdot\cdot} \tag{42.68}$$

$$C_x = M r^{\cdot} \frac{\partial}{\partial r} (x_B^{\cdot} + x_T^{\cdot}) = 2 M r^{\cdot} \varphi_b^{\cdot} \cos \varphi_b \tag{42.69}$$

$$C_z = M r^{\cdot} \frac{\partial}{\partial r} (z_B^{\cdot} + z_T^{\cdot}) = 2 M r^{\cdot} \varphi_b^{\cdot} \sin \varphi_b \tag{42.70}$$

Zu den äußeren Kräften gehört neben dem bereits in Kap. 3.3. behandelten Gewicht $\boldsymbol{G_T}$, dem Auftrieb $\boldsymbol{A}$ und dem (dynamischen) Wasserdruck $\boldsymbol{W}$ noch die zwischen Halm und Treibzeug wirksame Kraft $\boldsymbol{F}$. Diese wird zweckmäßigerweise aufgeteilt in den senkrecht zum b-ten Teilstab wirkenden Normaldruck $\boldsymbol{N}$ und die Reibungskraft $\boldsymbol{R}$. Nach dem Gleitreibungsgesetz von Coulomb ist der Betrag der Reibungskraft direkt proportional zum Normaldruck:

$$R = \begin{cases} \operatorname{sign}(r^{\cdot})\, \mu_1 N & (N > 0) \\ 0 & (N \leq 0) \end{cases} \tag{42.71}$$

μ_1 ... Gleitreibungszahl [-]

Die Vorzeichenfunktion sign($r^{\cdot}$) stellt sicher, daß die Reibungskraft dann positiv gemäß Fig. 4.7. ist, wenn $r^{\cdot}$ positiv ist. Die Gleitreibungszahl ist ein Parameter, der experimentell bestimmt oder aus der Erfahrung geschätzt werden muß. Sie entspricht dem Tangens jenes Neigungswinkels einer Unterlage aus dem zur Diskussion stehenden Material, worauf der betrachtete Körper infolge seines Eigengewichts gerade ins Rutschen (Gleiten) gerät. Da Gewicht und Auftrieb immer in entgegengesetzt gleicher Richtung wirken, können sie zu einem einzigen Ausdruck vereinigt werden, dessen Größe und Richtung eine Funktion der Eintauchtiefe des Treibzeugs sind:

$$G_T'' = G_T - A \tag{42.72}$$

In der Ruheschwimmlage ist G_T'' gleich 0, vollständig aus dem Wassergehoben wird $G_T'' = G_T$ (kein Auftrieb in der Luft), während bei tieferem Eintauchen die resultierende Kraft G_T'' nach oben zeigt (Betrag von Gewicht und Auftrieb nach Gl. 33.11 und 33.12).

Zerlegen wir das System "Halm mit Treibzeug" wie in der Figur 4.7. in die zwei Teilsysteme "Treibzeug" und "Halm (Teilstab b)", so lassen sich alle Kräfte übersichtlich darstellen. Dabei entsprechen die im linken Bild gezeichneten Kräfte der rechten Seite von (42.62), während jene des rechten Bildes in die Störfunktion ψ (Belastungsvektor) der Gleichung (42.47) eingehen, zusammen mit den später zu besprechenden direkten Einwirkungen von Wind und Wasser. Es ist zu beachten, daß (42.62) die Bewegung des Treibzeugs relativ zum Stab b beschreibt, wogegen (42.47) die absolute Bewegung im Koordinatensystem (x, z) formuliert. Deshalb erscheinen die (fiktiven) Kräfte $\boldsymbol{C}$ und $\boldsymbol{Z}$ der Relativbewegung im rechten Bild der Figur 4.7. nicht, sondern nur die resultierenden, wirklichen Kräfte Normaldruck $\boldsymbol{N}$ und Reibung $\boldsymbol{R}$.

Gleichung (42.62) ist eine vektorielle Gleichung mit zwei Komponenten, d.h. ein Gleichungssystem, mit dem zwei Unbekannte eliminiert werden können. Zieht man noch das Gleitreibungsgesetz (42.71) hinzu, so können Normaldruck N, Relativbeschleunigung $r^{\cdot\cdot}$ und Reibungskraft $\boldsymbol{R}$ bestimmt bzw. eliminiert werden. Während die Relativbeschleunigung in der späteren Rechnung nicht mehr benötigt wird, können die Kräfte $\boldsymbol{N}$ und $\boldsymbol{R}$, zusammengefaßt zu einer einzigen Kraft $\boldsymbol{F}$, einerseits in (42.47), andererseits in die Bewegungsgleichungen (33.9) und (33.15) des Treibzeugs komponentenweise eingesetzt werden. Diese Gleichungen sind damit vollständig bestimmt. Dazu ist es zweckmäßig, die Gleichung (42.62) nicht in x- und z-Komponenten zu formulieren, sondern in dem durch den Teilstab b definerten Achsensystem (parallel und senkrecht zu diesem Teilstab, vgl. Fig. 4.7.):

- parallel:

$$W_x \sin\varphi_b + W_z \cos\varphi_b - Z_x \sin\varphi_b - R - G_T'' \cos\varphi_b - Z_z \cos\varphi_b = M\, r^{\cdot\cdot} \tag{42.73}$$

mit

$$M = M_T\, f_m \tag{42.74}$$

M_T ... Masse des Treibzeugs
f_m ... Faktor für die Zusatzmasse nach Gl. (33.10)

- senkrecht:

$$N + C + Z_x \cos\varphi_b - W_z \sin\varphi_b - W_x \cos\varphi_b - G_T'' \sin\varphi_b - Z_z \sin\varphi_b = 0 \tag{42.75}$$

Mit C bzw. Z nach den Gleichungen (42.67÷70) erhalten wir aus (42.75) für den Betrag N der Normalkraft N

$$N = W_x \cos\varphi_b + (G_T'' - W_z) \sin\varphi_b - M\,(x_B^{\cdot\cdot} \cos\varphi_b - z_B^{\cdot\cdot} \sin\varphi_b + 2\, r^{\cdot} \varphi_b^{\cdot} \tag{42.76}$$

Die einzelnen Größen lauten (in Klammern die zugehörige Gleichung):

$$W_x = f_p\,(G_m M_T u^{\cdot} + G_d \rho_w/2\, A_T\,(u - x^{\cdot})\,|u - x^{\cdot}| \qquad \text{(nach 33.8)}$$

$$f_m = 1 + f_p\,(G_m - 1) \qquad (33.10)$$

$$f_p = \frac{z_{sT} - z_u}{A_T},\ 0 \le f_p \le \rho_w/\rho_T \qquad (33.6)$$

$$G_T'' = M_T\, g\,(f_p - 1) \qquad \text{(42.72 und 33.11÷12)}$$

$$W_z = G_d\, \rho_w/2\, A_T\,(v - z^{\cdot})\,|v - z^{\cdot}| \qquad (33.13)$$

$$M = f_m M_T \qquad (42.74)$$

$$x_B^{\cdot\cdot} = \sum_{i=1}^{b-1} (\varphi_i^{\cdot\cdot} l_i \cos\varphi_i - \varphi_i^{\cdot 2} l_i \sin\varphi_i) + \varphi_b^{\cdot\cdot} l_r \cos\varphi_b - \varphi_b^{\cdot 2} l_r \sin\varphi_b \qquad (42.63)$$

$$z_B^{\cdot\cdot} = \sum_{i=1}^{b-1} (-\varphi_i^{\cdot\cdot} l_i \sin s\varphi_i - \varphi_i^{\cdot 2} l_i \cos\varphi_i) - \varphi_b^{\cdot\cdot} l_r \sin\varphi_b - \varphi_b^{\cdot 2} l_r \cos\varphi_b \qquad (42.64)$$

$$r^{\cdot} = \frac{x_T^{\cdot} - x_B^{\cdot}}{\sin\varphi_b} = \frac{z_T^{\cdot} - z_B}{\cos\varphi_b} \qquad (42.58)$$

$$x_B^{\cdot} = \sum_{i=1}^{b-1} l_i\, \varphi_i^{\cdot} \cos\varphi_i + l_r\, \varphi_b^{\cdot} \cos\varphi_b \qquad (42.59)$$

$$z_B^{\cdot} = \sum_{i=1}^{b-1} -l_i\, \varphi_i^{\cdot} \sin\varphi_i - l_r\, \varphi_b^{\cdot} \sin\varphi_b \qquad (42.60)$$

G_m ... Massenkoeffizient des Treibzeugs [-]
G_d ... Schubkoeffizient des Treibzeugs [-]
M_T ... Masse des Treibzeugs [kg]
ρ_w ... Dichte des Wassers [kg/m^3]
ρ_T ... Dichte des Treibzeugs [kg/m^3]
A_T ... Eintauchtiefe des Treibzeugs [m]
z_{sT} ... Wassertiefe am Ort des Treibzeugs [m]
z_u ... Höhe der Unterkante des Treibzeugs über Grund [m]
u ... Waagrechte Geschwindigkeit der Wasserteilchen [m/s]
v ... Senkrechte Geschwindigkeit der Wasserteilchen [ms]

Der Betrag der Reibungskraft ist nach (42.71)

$$R = \mu_s N \tag{42.77}$$

mit $$\mu_s = \mathrm{sign}(r^{\cdot})\, \mu_1 \ . \tag{42.78}$$

Im Fall, daß N nach (42.76) negativ würde, wird $N = 0$ gesetzt, was bedeutet, daß das Treibzeug nicht mehr in Berührung mit dem Halm steht.
Da der Normaldruck N senkrecht auf dem b-ten Teilstab steht, kann gezeigt werden, daß sein Beitrag zur i-ten Komponente des Vektors ψ_T der Störfunktion, nämlich $l_i' \cdot [N_x \cos\varphi_i - N_z \sin\varphi_i]$ (Gl. 42.27 und 42.28, l_i' s.u., 42.80), als

$$\psi_{T\,i/N} = l_i' N \cos(\varphi_b - \varphi_i) = l_i' N c_{bi} \tag{42.79}$$

mit $$l_i' = \begin{cases} l_i & i < b \\ l_r & i = b \\ 0 & i > b \end{cases} \tag{42.80}$$

geschrieben werden kann.
Analog gilt für die Reibungskraft $\boldsymbol{R}$:

$$\psi_{T\,i/R} = l_i' R \sin(\varphi_b - \varphi_i) = l_i' R s_{bi} \tag{42.81}$$

Wird R nach (42.77) eingesetzt, so kann der gesamte Beitrag ψ_T des Treibzeugs für Störfunktion ψ zusammengefaßt werden und die i-te Komponente wird

$$\psi_{T\,i} = l_i' N(c_{bi} + \mu_s s_{bi}) \qquad (l_i' \text{ nach } 42.80) \tag{42.82}$$

Da in N auch $x_B^{\cdot\cdot}$ und $z_B^{\cdot\cdot}$ vorkommen (vgl. 42.76), ist der durch das Treibzeug bestimmte Teil ψ_T der Störfunktion ψ abhängig von $\varphi^{\cdot\cdot}$. Für die Berechnung ist es zweckmäßig, ψ_T in einen von $\varphi^{\cdot\cdot}$ abhänigen Teil ψ_T'' und den von $\varphi^{\cdot\cdot}$ unabhängigen Rest ψ_T' aufzuspalten. Es wird

$$\begin{aligned} \psi_T''{}_i &= -l_i' M \left\{ \sum_{j=1}^{b} l_j' \varphi_j^{\cdot\cdot} \cos\varphi_j \cos\varphi_b - \sum_{j=1}^{b} -l_j' \varphi_j^{\cdot\cdot} \sin\varphi_j \sin\varphi_b \right\} (c_{bi} + \mu_s s_{bi}) \\ &= -l_i' M \sum_{j=1}^{b} \{ l_j' \varphi_j^{\cdot\cdot} c_{bj} \} (c_{bi} + \mu_s s_{bi}) \end{aligned} \tag{42.83}$$

l_i', l_j' nach Gleichung (42.80)

und

$$\begin{aligned} \psi_T'{}_i = l_i' \{ & W_x \cos\varphi_b + (G_T'' - W_z) \sin\varphi_b - M \Big(\sum_{j=1}^{b} -l_j' \varphi_j^{\cdot 2} \sin\varphi_j \cos\varphi_b - \\ & - \sum_{j=1}^{b} -l_j' \varphi_j^{\cdot 2} \cos\varphi_j \sin\varphi_b + 2 r^{\cdot} \varphi_b^{\cdot} \Big) \} (c_{bi} + \mu_s s_{bi}) \end{aligned}$$

$$= l_i' \{W_x \cos\varphi_b + (G_T'' - W_z) \sin\varphi_b - M (\sum_{j=1}^{b} l_j' \varphi_j^{\cdot 2} s_{bj} + 2 r^{\cdot} \varphi_b^{\cdot})\} \cdot$$

$$\cdot (c_{bi} + \mu_s s_{bi}) \qquad (42.84)$$

l_i', l_j' nach Gleichung (42.80)

Gleichung (42.83) kann, wie die linke Seite von (42.47), als Produkt einer Matrix $\boldsymbol{L_c}$ mit dem Vektor $\varphi^{\cdot\cdot}$ geschrieben werden. Allerdings ist diese Matrix nicht symmetrisch (s.unten, Gl. 42.85), und damit natürlich auch nicht die Differenz der Matrizen $\boldsymbol{M_c} - \boldsymbol{L_c}$, mit welcher der Vektor $\varphi^{\cdot\cdot}$ in der Gesamtgleichung multipliziert wird. Da ein Gleichungssystem mit unsymmetrischer Koeffizientenmatrix für die gesuchten Glieder nur mit einem bedeutenden numerischen Mehraufwand gelöst werden kann, vernachlässigen wir in den Reibungsanteil in ψ_T'', wodurch die Matrix $\boldsymbol{L_c}$ symmetrisch wird:

$$\boldsymbol{L_c} = -M \cdot \begin{vmatrix} c_{b1}^2 l_1^2 & c_{b1} c_{b2} l_1 l_2 & c_{b1} c_{b3} l_1 l_3 & \dots c_{b1} c_{bb} l_1 l_r & 0 \dots 0 \\ c_{b2} c_{b1} l_2 l_1 & c_{b2}^2 l_2^2 & c_{b2} c_{b3} l_2 l_3 & \dots c_{b2} c_{bb} l_2 l_r & 0 \dots 0 \\ c_{b3} c_{b1} l_3 l_1 & c_{b3} c_{b2} l_3 l_2 & c_{b3}^2 l_3^2 & \dots c_{b3} c_{bb} l_3 l_r & 0 \dots 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ c_{bi} c_{b1} l_i l_1 & c_{bi} c_{b2} l_i l_2 & c_{bi} c_{b3} l_i l_3 & \dots c_{bi} c_{bb} l_i l_r & 0 \dots 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ c_{bb} c_{b1} l_r l_1 & c_{bb} c_{b2} l_r l_2 & c_{bb} c_{b3} l_r l_3 & \dots c_{bb}^2 l_r^2 & 0 \dots 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots 0 & 0 \dots 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ 0 & 0 & 0 & \dots 0 & 0 \dots 0 \end{vmatrix}$$

M nach Gleichung (42.74) (42.85)

Da die übrigen äußeren Einwirkungen (Luft, Wasser, Eigengewicht) von $\varphi^{\cdot\cdot}$ unabhängig sind, erhält die Bewegungsdifferentialgleichung für den Schilfhalm zusammen mit dem Treibgut damit die endgültige Form

$$\boxed{[\boldsymbol{M_c} - \boldsymbol{L_c}]\, \varphi^{\cdot\cdot} = \{\psi_T' + \psi_{w+l} + \psi_g\} - \Omega\, \varphi^{\cdot 2} - \Delta\, \varphi^{\cdot} - \Gamma\, \varphi \qquad (42.86)}$$

ψ_{w+l} ... Störfunktion des direkten Wasser- und Luftdrucks (Abschnitt 4.2.2.2.)

ψ_g ... Störfunktion des Eigengewichtes des Halmes (Abschnitt 4.2.2.3.)

Rechnet man (42.73) auf absolute Beschleunigung um, so erhält man die Be-

wegungsdifferentialgleichungen des Treibzeugs von Kapitel 3.3. (33.9 und 33.15) mit

$$F_x = N\cos\varphi_b + R\sin\varphi_b = N(\cos\varphi_b + \mu_s \sin\varphi_b) \qquad (42.87)$$

und

$$F_z = N\sin\varphi_b - R\cos\varphi_b = N(\sin\varphi_b - \mu_s \cos\varphi_b) \quad . \qquad (42.88)$$

4.2.2.2. Die direkte Einwirkung von Wasser und Wind auf den Halm

Die Formel für den Wasserdruck infolge der Wasserbewegung (Orbitalbahnen der Wasserteilchen) steht in Kapitel 3.2. (Gleichung 32.44), die genau gleich aufgebaute für den Luftdruck in Kap. 3.1. (Gleichung 31.1). Da diese Drücke zumindest über bestimmte Abschnitte des Halmes stetig verteilt sind, ist ihr Beitrag ψ_{w+l} zur Störfunktion nicht eine Summe, sondern ein Integral, dessen Auflösung nicht explizite in einer Formel angeschrieben werden kann. Um die numerische Integration zu vermeiden, fassen wir Wasser- und Luftdruck zu mehreren Einzellasten, sogenannten Knotenlasten, zusammen.
Dabei werden bestimmte vereinfachende Annahmen über den Verlauf der stetig verteilten Drücke getroffen, so daß eine explizite Integration möglich wird. Je nachdem, ob man den Verlauf zwischen den bestimmten Punkten (den "Knoten") linear oder als quadratische Parabel interpoliert, erhält man die "Tapez-" oder die "Parabelformel" (vgl. z.B. STÜSSI 1962; selbstverständlich sind auch andere Interpolationskurven möglich).
Da der Verlauf der Drücke sicher nicht linear, sondern kurvenförmig ist, wählen wir hier zur Berechnung die Parabelformel, die im Gegensatz zur Trapezformel allerdings voraussetzt, daß die Abstände zwischen den "Knoten" eines Abschnittes gleich groß sind. Mit Ausnahme des q-ten Teilstabes, der die Wasserlinie durchstößt, ist jeder Teilstab ein Abschnitt, der in zwei gleichgroße Intervalle aufgeteilt wird, also drei "Knoten" umfaßt (unteres Ende, Mitte, oberes Ende). Der q-te Teilstab wird in zwei Abschnitte geteilt, nämlich vom unteren Ende bis zur Wasserlinie (benetzter Teil) und von der Wasserlinie bis zum oberen Ende (vgl. Fig. 4.8.).
Da die Wasserdrücke rechtwinklig auf den Halm wirken, stehen auch die zugehörigen Knotenlasten W senkrecht auf den betreffenden Teilstäben. Deren Beträge sind:

$$W_{ju} = \frac{l_j}{24}(3{,}5\, q_{ju} + 3\, q_{jm} - 0{,}5\, q_{jo})$$

$$W_{jm} = \frac{l_j}{24}(q_{ju} + 10\, q_{jm} + q_{jo})$$

$$W_{jo} = \frac{l_j}{24}(-0{,}5\, q_{ju} + 3\, q_{jm} + 3{,}5\, q_{jo}) \qquad (42.89)$$

$\sim_{ju}$ ... am unteren Ende des Teilstabes j
$\sim_{jm}$ ... in der Mitte des Teilstabes j
$\sim_{jo}$ ... am oberen Ende des Teilstabes j
l_j ... Länge des Teilstabes j
q ... - unter Wasser: Wasserdruck an der entsprechenden Stelle (32.44)
- über Wasser: Luftddruck an der entsprechenden Stelle (31.2)

Beim q-ten Teilstab ist die Berechnung der Knotenlasten für beide Abschnitte separat durchzuführen, die entsprechenden Längen von l_j für die obige Gleichung sind (vgl. Fig. 4.8.)

$$l_j = l_q' \text{ (unterer Abschnitt)} \qquad (42.90)$$

und

$$l_j = l_q - l_q' \text{ (oberer Abschnitt)} \qquad (42.91)$$

Da diese Kräfte senkrecht auf den Teilstäben stehen, kann ihr Beitrag ψ_{w+l} zur Störfunktion nach (42.42) einfach formuliert werden:

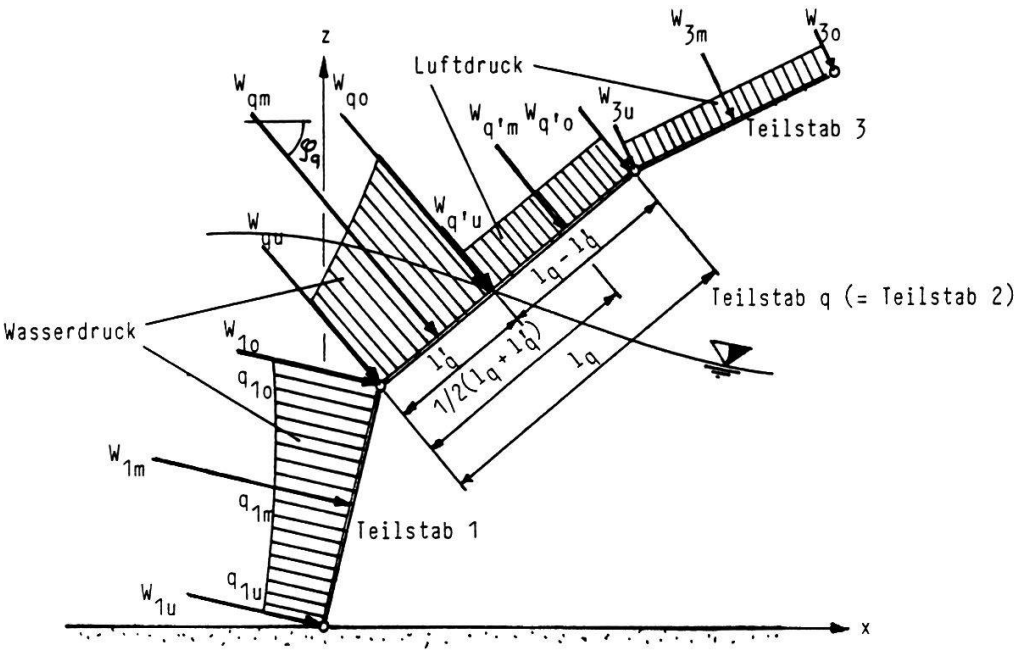


Fig. 4.8. Direkt auf den Halm wirkende Luft- und Wasserdrücke und ihre Zusammenfassung zu Einzelkräften (Knotenlasten).

$$\psi_{w+l\ i} = l_i \left[1/2\, W_{im} + W_{io} + \sum_{j=i+1}^{n} (W_{ju} + W_{jm} + W_{jo})\, c_{ji}\right] \quad (42.92)$$

für die q-te Gleichung:

$$\psi_{w+l\ q} = l_q' \,(1/2\, W_{qm} + W_{qo} + W_{q'u}) + 1/2\,(l_q' + l_q)\, W_{q'm} + l_q\, W_{q'o}$$
$$+ l_q \sum_{j=q+1}^{n} (W_{ju} + W_{jm} + W_{jo})\, c_{jq} \quad (42.93)$$

Selbstverständlich müssen in (42.92) für $i < q$ bei der Summierung über den q-ten Teilstab alle sechs Kräfte (beide Abschnitte) berücksichtigt werden.

4.2.2.3. Der Einfluß des Eigengewichtes des Halms

Das Eigengewicht des Halmes ist eine verteilte, senkrecht nach unten wirkende Kraft, die ähnlich wie Wasser- und Luftdruck zu Einzellasten zusammengefaßt wird. Da die Halme sehr leicht sind, ist die Bedeutung des Eigengewichtes nicht sehr groß. Deshalb wird für jeden Teilstab die Schwerkraft zu einer einzigen Kraft vereinigt. Diese ist gleich dem Gewicht des betreffenden Teilstabes und greift in dessen Mitte an.
Weil der Schilfhalm etwas leichter ist als Wasser müßte für die unter dem Seespiegel liegenden Halmpartien eigentlich der resultierende Auftrieb in die Rechnung einbezogen werden. Dieser wird jedoch vernachlässigt, da er gegenüber den anderen Kräften klein ist und wegen des verhätnismäßig kleinen Abstandes seiner Wirkungslinie vom Fußpunkt nur eine geringe Wirkung hat. Das Eigengewicht tritt somit vom oberen Abschnitt des q-ten Teilstabes an aufwärts in Erscheinung. Das Gewicht des q-ten Teilstabes wird proportional zur Länge des oberen Abschnittes reduziert, der Angriffspunkt liegt in dessen Mitte. Der Beitrag des Eigengewichtes zum Belastungsvektor ψ wird damit:

$$\psi_{g\ i} = l_i \left[1/2\, G_i + \sum_{j=i+1}^{n} G_j\right] \sin\varphi_i \qquad i > q \quad (42.94)$$

$$\psi_{g\ i} = l_i \left[\sum_{j=q+1}^{n} G_j\right] \sin\varphi_i \qquad i < q \quad (42.95)$$

für die q-te Gleichung:

$$\psi_{g\ q} = \left[1/2\,(l_q + l_q')\, G_q \frac{l_q + l_q'}{l_q} + l_q \sum_{j=i+1}^{n} G_j\right] \sin\varphi_i \quad (42.96)$$

G_i, G_j, G_q ... Gewicht der Teilstäbe [kg]

4.2.2.4. Korrektur der Stoßwirkung

Betrachtet man Treibzeug und Teilstäbe als starr (wie dies in den bisherigen Ausführungen vorausgesetzt wurde), so entstehen im Moment des Zusammenstoßes von Halm und Treibzeug sehr große Beschleunigungen und damit Kräfte, denn die vorher freie Bewegung des Treibzeuges wird plötzlich durch die Stäbe geführt. In Wirklichkeit sind weder das Treibzeug noch der Schilfhalm starr, diese plötzlichen Bewegungsänderungen und kurzfristigen Beschleunigungsspitzen treten deshalb nicht auf, der Stoß wird sowohl durch das elastische Nachgeben des Treibzeugs und des Halmquerschnittes, wie auch wegen der lokalen Einbiegung des Halmes (s. Fig. 4.9.) sehr stark gemildert.
Um diesen Tatsachen im mathematischen Modell Rechnung zu tragen, nehmen wir an, daß sich das Treibzeug während der Phase der gegenseitigen Berührung nicht genau auf der Oberfläche des entsprechenden Teilstabes befinden muß, sondern um eine Strecke δ "eindringen" kann. Dabei entsteht eine rückwärts treibende Kraft ΔN senkrecht zur Stabachse, welche zum Normaldruck nach (42.76) zugezählt wird. Der Betrag dieser Zusatzkraft sei direkt proportional zur "Eindringtiefe" δ. Da Stöße meist nicht vollkommen elastisch verlaufen (Energieverlust durch innere Reibung), kann bei rückläufiger Bewegung (d.h., wenn die "Eindringtiefe" δ abnimmt) ΔN um einen Faktor $f_{el} < 1$

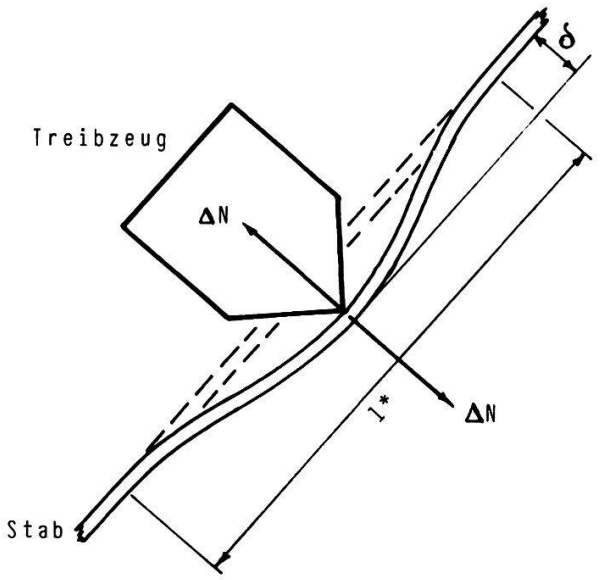


Fig. 4.9. Lokale Einbiegung im Stab als Folge des Stoßes beim Zusammenprall von Treibzeug und Halm.

vermindert werden. Dieser Faktor muß willkürlich angenommen werden.
Der Proportionalitätsfaktor zwischen ΔN und δ wird mit folgenden Überlegungen abgeschätzt:
Wir nehmen an, während eines (Integrations-)Zeitschrittes habe sich im Stab eine lokale Einbiegung mit der Ausdehnung l^* ausgebildet (Fig. 4.9.). Dieses Stück kann als beidseitig eingespannter, in der Mitte belasteter Stab aufgefaßt werden. Die Durchbiegung δ in Funktion der einwirkenden Kraft ΔN ist

$$\delta = \frac{\Delta N \, l^{*3}}{192 \, E{\cdot}J} \tag{42.97}$$

$E{\cdot}J$ ... Mittlere Biegesteifigkeit des betrachteten Teilstücks

Es ist nicht so wichtig, diese Funktion in ihrer genauen Größe zu kennen, entscheidend ist vor allem, sie überhaupt zu berücksichtigen, weil damit sozusagen dem Stoß die (bei starren Verhältnissen ∞ große) "Spitze gebrochen" wird. Auf welches Niveau der Maximalwert reduziert wird, ist angesichts der kurzen Berechnungszeitschritte (und damit kurzen Wirkungsdauer der Kraftspitzen) von untergeordneter Bedeutung. Es erscheint daher gerechtfertigt, für das Verhältnis $\Delta N/\delta$ unabhängig vom Ort des Zusammenstoßes nur einen konstanten Wert zu definieren. Für l^* setzen wir die Länge eines der unteren Teilstäbe, d. h. im Falle eines Modells mit vier Teilstäben eine Größenordnung von $l^* \approx 60$ cm für einen mittelgroßen Schilfhalm. Die mittlere Biegesteifigkeit der unteren Halmpartien liegt in der Größenordnung von 15'000 N cm^2 (vgl. Teil III, Kap. 3.4). Aus Gleichung (42.97) erhalten wir mit diesen Werten für das Verhältnis $\Delta N/\delta$ die Größenordnung von

$$\frac{\Delta N}{\delta} \approx \frac{192 \cdot 1{,}5 \text{ N m}^2}{0{,}6^3 \text{ m}^3} = 1330 \text{ N/m} \tag{42.98}$$

Die Zusammendrückbarkeit (Nachgiebigkeit) des Treibzeugs müßte von Fall zu Fall gemessen werden. Für ein Holzstück, dessen Elastizitätsmodul ungefähr bekannt ist, kann mit einer Annahme über die vom Berührungspunkt ausgehende Spannungsverteilung im Holz die aus der Kraft ΔN resultierende Verformung berechnet und auf der rechten Seite von (42.97) addiert werden. Dieser Beitrag ist allerdings im Vergleich mit der lokalen Durchbiegung des Halmes so klein, daß er ohne weiteres vernachlässigt werden kann.

4.2.3. Berechnung der Modellparameter aus den Halmeigenschaften

Für das mathematische Modell sind folgende Modellparameter zu bestimmen (vgl. Kap. 4.1.):

- Massen der Teilstäbe m_i
- Federkonstanten der Gelenke zwischen den Teilstäben c_i
- Dämpfungskonstanten der Gelenke d_i

Die Anzahl n der Teilstäbe kann frei gewählt werden, ebenso deren Länge. Allerdings nimmt der Rechenaufwand überproportional zur Anzahl Teilstäbe zu. Wegen der größeren Krümmungen im unteren und mittleren Halmteil ist es zweckmäßig, dort die Teilstäbe kürzer zu wählen als oben.

Zur Berechnung der Modellparameter müssen die spezifische Masse μ (pro Längeneinheit) und die Biegesteifigkeit $E{\cdot}J$ bekannt sein. Wir nehmen an, diese Halmeigenschaften seien in mehreren Punkten in den Höhen h_j' über Grund bestimmt worden. Fallen die Enden der Teilstäbe nicht auf einen dieser

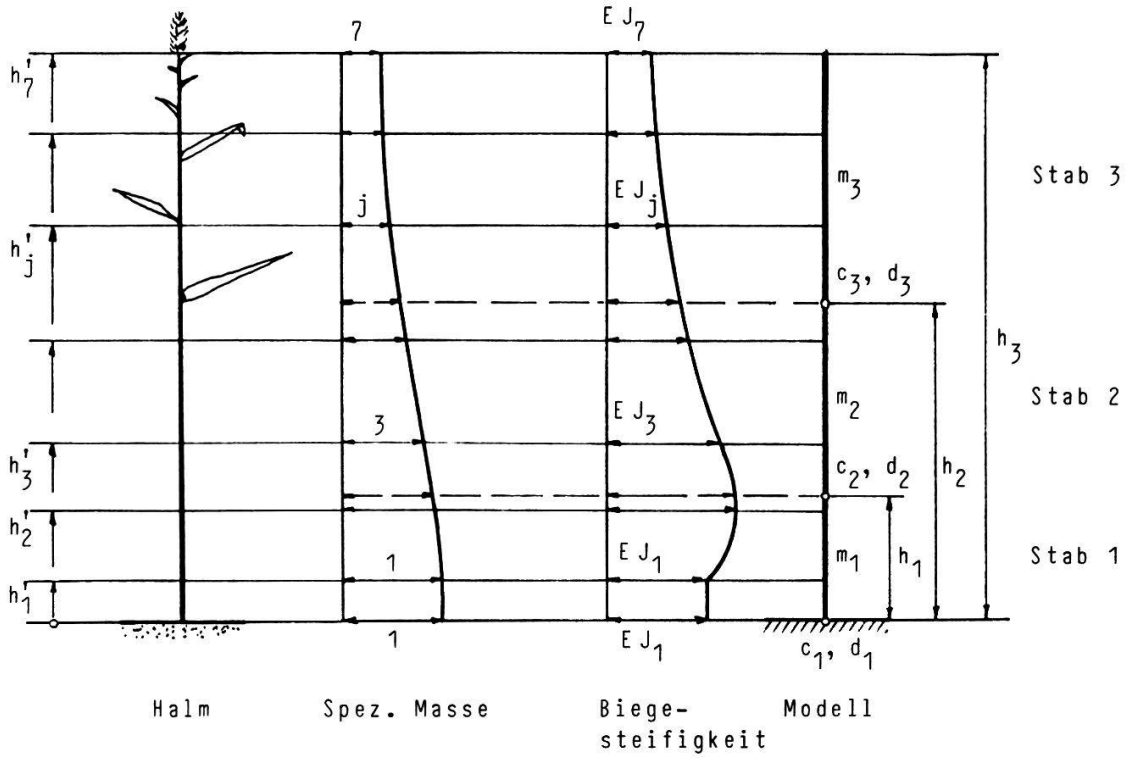


Fig. 4.10. Gegenüberstellung von Halmeigenschaften und Modellparametern anhand eines Beispiels mit drei Teilstäben und sieben Meßpunkten, in denen die Halmeigenschaften bestimmt wurden.

Meßpunkte, so werden die Halmeigenschaften an diesen Stellen durch lineare Interpolation zwischen den beiden benachbarten Meßpunkten erhalten. Unmittelbar am Boden ($h_j' = 0$) kann meist nicht gemessen werden, für diesen Punkt werden daher die Werte aus dem ersten Meßpunkt (h_1') übernommen (vgl. Fig. 4.10.). Die Durchmesser d der Teilstäbe werden für die Berechnung des Luft- und Wasserwiderstandes benötigt, sie werden gleich dem mittleren Durchmesser des entsprechenden Halmabschnittes gesetzt.
Die folgenden Überlegungen werden mit den Bezeichnungen der Figur 4.10. anhand eines Beispiels mit $n = 3$ Teilstäben und $m = 7$ Meßpunkten gezeigt. Die Verallgemeinerung auf andere Anzahlen ergibt sich von selbst.

4.2.3.1. Berechnung der Masse der Teilstäbe

An sich könnten die Massen der Teilstäbe gleich der Masse des entsprechenden Halmabschnittes gesetzt werden. Sind mehr Meßpunkte als Teilstäbe vorhanden, so kann der Halmverjüngung innerhalb des einem Teilstab entsprechenden Halmstückes einigermaßen Rechnung getragen werden. Dazu werden die Massen der Teilstäbe so bestimmt, daß ihr Massenträgheitsmoment bezüglich des ersten Gelenks (Fußpunkt des Halmes) gleich groß ist, wie das der entsprechenden Halmstücke:
Das Massenträgheitsmoment I_j des Halmstücks zwischen den Meßpunkten j und j-1 ist mit den Bezeichnungen der Figur 4.10. gleich der Masse · Abstand im Quadrat + das Eigenträgheitsmoment:

$$I_j = 1/2\ (\mu_{j-1} + \mu_j)(h_j' - h_{j-1}')\{[1/2\ (h_j' + h_{j-1}')]^2 + 1/12\ (h_j' - h_{j-1}')\} \qquad [\mathrm{kg\,m^2}] \quad (42.99)$$

μ_{j-1}, μ_j ... Spezifische Masse des Schilfhalmes im Meßpunkt j-1 bzw. j [kg/m]

Für den ganzen Teilstab werden die entsprechenden Teilträgheitsmomente I_j aufsummiert, wobei für die Endpunkte allenfalls die interpolierten Werte benützt werden müssen. Das Trägheitsmoment des i-ten Teilstabes ist andererseits (analog zu 42.99)

$$I_i = m_i\ \{[1/2\ (h_{i-1} + h_i)]^2 + 1/12\ (h_i - h_{i-1})^2\} \qquad [\mathrm{kg\,m^2}] \quad (42.100)$$

m_i ... Masse des i-ten Teilstabes [kg]

Gleichsetzen der beiden Trägheitsmomente und Auflösen nach m_i liefert die gesuchte Masse des i-ten Teilstabes:

$$m_i = \frac{\sum\limits_{j \text{ innerh. Teilstab } i} I_j}{[1/2\,(h_{i-1} + h_i)]^2 + 1/12\,(h_i - h_{i-1})^2} \qquad (42.101)$$

4.2.3.2. Berechnung der Federkonstanten der Gelenke zwischen den Teilstäben

Genau genommen sind die Federkonstanten der Gelenke gar nicht konstant, sondern abhängig von der Verteilung des Biegemomentes über dem Stab: Nach den Gleichungen (41.3) und (41.4) entspricht die Winkeländerung $\Delta\varphi$ der mittleren Halmkrümmung multipliziert mit der Länge des zugehörigen Teilstücks. Nun ist diese mittlere Halmkrümmung z.B. dann größer, wenn ein verhältnismäßig größeres Biegemoment auf eine schwächere Partei des betrachteten Abschnittes fällt, als wenn das größere Biegemoment auf eine stärkere Partie dieses Abschnittes fällt, selbst wenn das mittlere Biegemoment des Abschnittes in beiden Fällen gleichgroß ist und im Gelenkpunkt dasselbe Moment vorhanden ist.
Fast noch gravierender ist der Einfluß der einseitigen Einspannung: Eine kleine Verdrehung nahe der Einspannstelle bewirkt eine große Verschiebung oben. Da bei einseitiger Einspannung im allgemeinen das Biegemoment von oben nach unten zunimmt, ist gerade im Punkt 1 (Fußpunkt), wo das Einspannmoment über die Federkonstante c_1 mit dem Winkel φ_1 verknüpft ist, das vorhandene Biegemoment größer als das mittlere Moment des zugehörigen Abschnittes, denn hier kann ja nur ein oberhalb des ersten Gelenkes liegender Halmteil berücksichtigt werden. (Für die anderen Punkte wird jeweils sowohl ein Stück oberhalb, als auch unterhalb des Gelenkes in die Berechnung einbezogen.) Die mit c_1 und M_1 berechnete Verdrehung φ_1 wird somit etwas zu groß. Aus diesem Grunde müßten selbst bei einem homogenen, prismatischen Halm und bei gleichlangen Teilstäben die unteren Gelenke etwas steifer gewählt werden, um den Einfluß des nach oben abnehmenden Biegemomentes zu kompensieren. Diese Überlegungen liegen der folgenden Berechnung der Federkonstanten c_i zu Grunde:
Man berechnet für eine möglichst repräsentativen Lastfall die Biegelinie des wirklichen Halmes und bestimmt die Federkonstanten so, daß unter der gleichen Belastung die Durchbiegung in den Gelenkpunkten gleich wie jene des wirklichen Halmes ist, daß also das Mehrstäbemodell die wirkliche Biegelinie

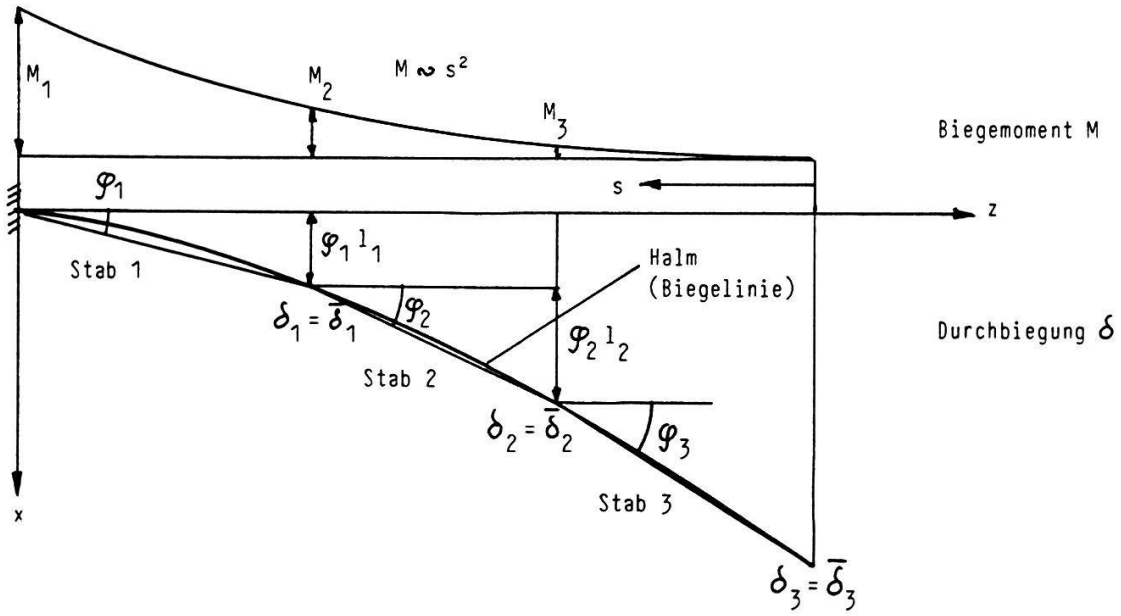


Fig. 4.11. Definitionsskizze zur Berechnung der Federkonstanten. Diese werden so bestimmt, daß die Gelenke des Modells beim angenommenen Lastfall auf der wirklichen Biegelinie liegen (Sehnenpolygon).
(Figur ist in x-Richtung stark überhöht gezeichnet.)

durch ein Sehnenpolygon annähert (vgl. Fig. 4.11.). Weil es hier darum geht, die elastischen Eigenschaften des Mehrstäbemodells zu bestimmen und nicht um effektive Verformungsberechnungen, können wir uns hier auf "kleine" Durchbiegungen beschränken und mit den Beziehungen der klassischen Statik rechnen (Linearität zwischen Belastung und Durchbiegung, Verschiebung in z-Richtung vernachlässigbar): Gibt das Modell die elastischen Eigenschaften des Halmes richtig wieder, so werden sich die zusätzlichen Einflüsse großer Verformungen bei Halm und Modell in derselben Weise auswirken. Dann kann

$$\sin\varphi_k \approx \varphi_k \tag{42.102}$$

gesetzt werden, woraus mit den Bezeichnungen der Fig. 4.11. folgt:

$$\delta_i = \sum_{k=1}^{i} l_k \varphi_k \tag{42.103}$$

Nach (41.3) ist (mit M = Biegemoment im betreffenden Gelenkpunkt)

$$\varphi_i = \frac{M_i}{c_i} + \varphi_{i-1} = \sum_{k=1}^{i} \frac{M_k}{c_k} \tag{42.104}$$

Gleichung (42.104) eingesetzt in (42.103) liefert für die Durchbiegungen δ_i des Modells

$$\delta_i = \sum_{k=1}^{i}\left(l_k \sum_{l=1}^{k} \frac{M_l}{c_l}\right) = \bar{\delta}_i \tag{42.105}$$

Mit $\bar{\delta}_i$ sind die für den wirklichen Halm gerechneten Durchbiegungen bezeichnet, welche gemäß den getroffenen Annahmen in den Gelenkpunkten des Modells gleich groß wie jene des Modells sein sollen. Aus (42.105) läßt sich die folgende Formel zur rekursiven Bestimmung der c_i herleiten:

$$\underline{\frac{M_i}{c_i} = \frac{1}{l_i}\left[\bar{\delta}_i - \left(\bar{\delta}_{i-1} + l_i \sum_{k=1}^{i-1} \frac{M_k}{c_k}\right)\right] = \Delta\varphi_i} \tag{42.106}$$

woraus

$$\underline{c_i = \frac{\Delta\varphi_i}{M_i}} \tag{42.107}$$

Das in den obigen Gleichungen vorkommende Biegemoment M ergibt sich aus dem zur Berechnung angenommenen Lastfall. In Versuchen hat sich gezeigt, daß die Annahme eines von der Halmspitze nach unten quadratisch zunehmenden Biegemomentes günstig ist, was einer gleichmäßig verteilten Belastung entspricht, denn die daraus resultierenden c-Werte stellen auch bei anderen Lastfällen eine sehr gute Näherung dar. So unterscheiden sich beispielsweise bei einem homogenen, prismatischen Stab, der in 2/3 seiner Höhe mit einer Einzelkraft belastet wird, die Durchbiegungen des Modells mit drei gleichlangen Teilstäben nur um maximal 2,2 % vom Sehnenpolygon des wirklichen Stabes. Da unter den obgenannten Voraussetzung Belastung, Moment und Durchbiegung zueinander direkt proportional sind, muß das angenommene Biegemoment nicht als absolute Größe, sondern nur in seinem relativen Verlauf festgelegt werden.

Die Berechnung der Biegelinie ($\bar{\delta}_i$) des wirklichen Halmes aus dem angenommenen Biegemoment erfolgt am einfachsten mit Hilfe der Mohr'schen Analogie (vgl. z.B. Stüssi 1962). Danach erhält man die Durchbiegungen eines Trägers, wenn man diesen mit dem (vorhandenen) Biegemoment, dividiert durch die lokale Biegesteifigkeit $E{\cdot}J$ "belastet" und das dieser "Belastung" entsprechende "Biegemoment" berechnet. Die Neigung der wirklichen Biegelinie entspricht der auf dieselbe Weise erhaltenen "Querkraft". Die Lagerung des zu dieser Berechnung verwendeten "Analogieträgers" muß so ge-

wählt werden, daß die Randbedingungen des wirklichen Trägers erfüllt werden. So entspricht zum Beispiel eine feste Einspannung des wirklichen Trägers einem freien Ende des Analogieträgers und umgekehrt (am eingespannten Ende des wirklichen Trägers sind Durchbiegung und Neigung gleich 0, am freien Ende des Analogieträgers sind "Biegemoment" und "Querkraft" gleich 0).
Da die Biegesteifigkeit des Schilfhalmes nur in einzelnen Punkten bekannt ist, fassen wir die über den ganzen Stab verteilte "Belastung" zweckmäßigerweise zu Knotenlasten zusammen (analog wie bei der Berücksichtigung des Wasser- und Luftdruckes in der Bewegungsgleichung des Halmes, Kap. 4.2.2.2.). Es kann gezeigt werden, daß sich der Einfluß der elastischen Einspannung des Halmes im Untergrund (vgl. Teil III, Kap. 5.) ebenfalls berücksichtigen läßt, indem man am Fußpunkt zusätzlich zur entsprechenden Knotenlast noch eine weitere "Einzellast" vom Betrag M_1/c_E einführt (M_1 = Biegemoment am Fuß des Halmes, c_E = Einspanngrad nach Teil III, Kap. 5.).

4.2.2.3. Abschätzung der Dämpfungskonstanten der Gelenke

Die Dämpfungskonstanten können nur grob geschätzt werden, da sich angesichts ihrer geringen Bedeutung der Aufwand einer genaueren Bestimmung nicht lohnt (der dämpfende Einfluß des Wasser und Luftwiderstandes ist viel größer).
Um einen Anhaltspunkt über die Größenordnung zu erhalten, betrachten wir zunächst ein einzelnes Gelenk mit dem dazugehörigen Teilstab, also ein Modell mit nur einem Teilstab. Die Bewegungsdifferentialgleichung für dieses reduzierte Modell lautet:

$$I \cdot \ddot{\varphi} + d \cdot \dot{\varphi} + c \cdot \varphi = 0 \qquad (42.108)$$

j ... Drehwinkel des Stabes
d ... Dämpfungskonstante des (Fuß-)Gelenks
c ... Federkonstante des (Fuß-)Gelenks
I ... Massenträgheitsmoment des Stabes bezüglich des Fußpunktes $= m\,l^2/3$
m ... Masse des Stabes
l ... Länge des Stabes

(42.108) ist entspricht genau der Bewegungsgleichung eines schwingenden Massenpunktes und kann geschlossen integriert werden (vgl. ZIEGLER 1966). Aus dieser Lösung kann das sogenannte logarithmische Dekrement ∂ berechnet werden. Dieses ist der natürliche Logarithmus des Verhältnisses zwei-

er aufeinanderfolgender Maximalausschläge und somit ein Maß für die innere Dämpfung. Um dieselben Ausdrücke wie ZIEGLER zu verwenden setzen wir

$$\frac{d}{I} = 2\gamma \tag{42.109}$$

und

$$\frac{c}{I} = \kappa^2 \tag{42.110}$$

Dann wird das logarithmische Dekrement gleich

$$\partial_L = \frac{2\pi\gamma}{\sqrt{(\kappa^2 - \gamma^2)}} \tag{42.111}$$

Andererseits läßt sich das logarithmische Dekrement ziemlich leicht experimentell abschätzen: Man versetzt den Stab in Schwingung und zählt die Anzahl n der Schwingungen, bis die Amplitude z.B. auf $\alpha = 1/10$ oder 1 % des ursprünglichen Ausschlages gesunken ist. Aus der Definition des logarithmischen Dekrementes folgt dann

$$\partial_L = \frac{1}{n} \ln \alpha \tag{42.112}$$

Ist ∂_L bekannt, so kann (42.111) nach γ aufgelöst werden, dies wiederum ergibt nach (42.109) die Dämpfungskonstante d:

$$d = \frac{2\sqrt{(c\,I)}\,\partial_L}{\sqrt{(4\pi^2 + \partial_L^2)}} = \frac{2\,l\,\sqrt{(\frac{c\,m}{3})}\,\partial_L}{\sqrt{(4\pi^2 + \partial_L^2)}} \tag{42.113}$$

Damit kann die Dämpfungskonstante aller Teilstäbe berechnet werden, indem man Federkonstante c_i und Masse m_i der betreffenden Teilstäbe in diese Gleichung einsetzt, für das logarithmische Dekrement kann immer derselbe Wert genommen werden, da nicht anzunehmen ist, daß die innere Dämpfung sich entlang dem Halm wesentlich ändert und weil, wie bereits gesagt, die Bedeutung der inneren Dämpfung gegenüber der Dämpfung durch den Luftwiderstand in den Hintergrund tritt.

4.3. LÖSUNG DER BEWEGUNGSGLEICHUNGEN

4.3.1. Numerische Integration des Differentialgleichungssystems

Die Bewegungsgleichungen eines Schilfhalmes unter der Einwirkung von Wind, Wellen und Treibzeug (Gleichung 42.86) lassen sich durch Auflösung nach $\ddot{\varphi}$ allgemein als Gleichungssystem der Form

$$\ddot{\varphi} = f(\varphi, \dot{\varphi}, t) \tag{43.1}$$

t ... Zeit [s]

darstellen. Dies ist ein Gleichungssystem von n gewöhnlichen Differentialgleichungen, wenn n die Anzahl Teilstäbe des Modells bezeichnet. Es sind Differentialgleichungen zweiter Ordnung mit nicht konstanten Koeffizienten. Solche Gleichungssysteme lassen sich nur in Sonderfällen explizite lösen, ganz abgesehen davon, daß auch die Auflösung der Gleichung (42.86) in die Form (43.1) für $n > 2$ kaum mehr explicite zu berwerkstelligen ist.
Zur numerischen Integration von Differentialgleichungssystemen gibt es mehrere bewährte Algorithmen (vgl. z.B. DANKERT 1977). Ein Kriterium zur Wahl des Verfahrens ist in unserem Fall die Tatsache, daß die Funktionswertberechnung (Gleichung 43.1) sehr aufwendig ist, denn dazu muß zuerst das Gleichungssystem (42.86) mit den (zeitlich veränderlichen) Matrizen $\boldsymbol{M}_c$, $\boldsymbol{L}_c$, und $\boldsymbol{\Omega}$ und der Störfunktion $\boldsymbol{\psi}$ (Berechnung der äußeren Kräfte und ihres Einflusses) aufgestellt und nach $\ddot{\varphi}$ aufgelöst werden. Dies verlangt eine sehr große Zahl von Rechenoperationen. Darum fällt das Verfahren Runge-Kutta außer Betracht, da es pro (Rechen-)Zeitschritt vier Funktionswertberechnungen verlangt. Nur zwei solcher Berechnungen benötigt der bei DANKERT (1977) als Verfahren von Hamming bezeichente Algorithmus. Dabei handelt es sich um ein Praedictor-Corrector-Verfahren. Ausgehend von den zur Zeit t bekannten Werten von φ und den zugehörigen Ableitungen $\dot{\varphi}$ und $\ddot{\varphi}$ werden zur Berechnung von $\varphi(t+\Delta t)$ auch die Ableitungen $\dot{\varphi}(t+\Delta t)$ und $\ddot{\varphi}(t+\Delta t)$ benötigt, was aber nach (43.1) die Kenntnis von $\varphi(t+\Delta t)$ voraussetzt. Diese Werte müssen daher zunächst geschätzt werden (Praedictor), worauf dann der "eigentliche" Vektor $\varphi(t+\Delta t)$, der Corrector, berechnet wird. Es versteht sich von selbst, daß der Corrector wiederum als Praedictor verwendet werden kann, daß also der Schritt so lange wiederholt werden kann, bis eine genügende Genauigkeit erreicht ist, d.h. bis sich Praedictor und Corrector höchstens um einen festgesetzten (kleinen) Wert unterscheiden. Mit der Wiederholung des Rechenschrittes müssen jedoch wieder

neue Funktionswertberechnungen nach (43.1) durchgeführt werden, was den Vorteil dieses Verfahrens gegenüber dem nach Runge-Kutta wieder zunichte macht. Da bei der Methode von Hamming Praedictor und Corrector während eines Berechnungsschrittes noch zusätzlich verbessert werden, ist eine solche Wiederholung bei geeigneter Wahl der Schrittweite Δt nicht nötig. Die Funktionsberechnung wird somit nur je einmal für den verbesserten Praedictor und den verbesserten Corrector durchgeführt.
Das Verfahren von Hamming wird bei DANKERT (1977) ziemlich ausführlich beschrieben, allerdings für Differentialgleichungen erster Ordnung. Die Erweiterung auf solche zweiter Ordnung ist einfach möglich und wird im folgenden rezeptartig kurz vorgestellt. Damit die Gleichungen nicht wegen vieler Indices allzu unübersichtlich werden, lassen wir im folgenden den Index i (bezogen auf die Gleichung für den i-ten Teilstab und seinen Drehwinkel φ_i) weg, denn im Gleichungssystem (43.1) kommen in jeder Gleichung nur Funktionen der betreffenden (i-ten) Lagekoordinate und ihrer Ableitungen vor. Jede dieser Gleichungen (43.1) kann deshalb für sich integriert werden. Auch die Lagekoordinaten des Treibzeugs (x_T, z_T) werden auf diese Art durch Integration der Differentialgleichungen (33.9) und (33.15) mit Berücksichtigung von (42.87) und (42.88) erhalten, indem in den folgenden Formeln φ durch x_T und z_T ersetzt wird.
Die Zeit wird nachstehend mit dem Index j bezeichnet, und zwar gilt für den Zeitpunkt t der Wert j, für den Zeitpunkt $t + \Delta t$ der Index j+1, für $t - \Delta t$ steht j-1 usw. Der Praedictor für φ (und damit für x_T und z_T) sei p, der Corrector analog c, für die Winkelgeschwindigkeiten $\varphi^{\cdot}$ (und damit für $x_T^{\cdot}$ und $z_T^{\cdot}$) stehen entsprechend $p^{\cdot}$ und $c^{\cdot}$. Für den Zeitpunkt j seinen alle Größen bekannt. Damit wird

$$p_{j+1}^{\cdot} = \varphi_{j-3}^{\cdot} + 4/3\,\Delta t\,(2\varphi_j^{\cdot\cdot} - \varphi_{j-1}^{\cdot\cdot} + 2\varphi_{j-2}^{\cdot\cdot}) \tag{43.2}$$

Praedictor Winkelgeschwindigkeit

$$p_{j+1/v}^{\cdot} = p_{j+1}^{\cdot} + 112/121\,(c_j^{\cdot} - p_j^{\cdot}) \tag{43.3}$$

Verbesserter Praedictor Winkelgeschw.

$$p_{j+1} = \varphi_{j-3} + 4/3\,\Delta t\,(2\varphi_j^{\cdot} - \varphi_{j-1}^{\cdot} + 2\varphi_{j-2}^{\cdot}) \tag{43.4}$$

Praedictor Winkel

$$c_{j+1/1} = 1/8\,[9\varphi_j - \varphi_{j-2} + 3\Delta t\,(p_{j+1/v}^{\cdot} + 2\varphi_j^{\cdot} - \varphi_{j-1}^{\cdot})] \tag{43.5}$$

Erster Corrector Winkel

$$c_{j+1/v} = c_{j+1/1} - 9/121\,(c_{j+1/1} - p_{j+1}) \tag{43.6}$$

Verbesserter erster Corrector Winkel

$$\varphi_{j+1/1}^{\cdot\cdot} = f(c_{j+1/v}, p_{j+1/v}, t+\Delta t) \tag{43.7}$$

Erste Funktionswertberechnung

$$c_{j+1}^{\cdot} = 1/8\ [9\varphi_j^{\cdot} - \varphi_{j-2}^{\cdot} + 3\Delta t\ (\varphi_{j+1/1}^{\cdot\cdot} + 2\varphi_j^{\cdot\cdot} - \varphi_{j-1}^{\cdot\cdot})] \tag{43.8}$$

Corrector Winkelgeschwindigkeit

$$\varphi_{j+1}^{\cdot} = c_{j+1}^{\cdot} - 9/121(c_{j+1}^{\cdot} - p_{j+1}^{\cdot}) \tag{43.9}$$

Verbesserter Corrector Winkelgeschwindigkeit

$$c_{j+1} = 1/8\ [9\varphi_j - \varphi_{j-2} + 3\Delta t\ (\varphi_{j+1}^{\cdot} + 2\varphi_j^{\cdot} - \varphi_{j-1}^{\cdot})] \tag{43.10}$$

Corrector Winkel

$$\varphi_{j+1} = c_{j+1} - 9/121(c_{j+1} - p_{j+1}) \tag{43.11}$$

Verbesserter Corrector Winkel

$$\varphi_{j+1}^{\cdot\cdot} = f(\varphi_{j+1}, \varphi_{j+1}^{\cdot}, t+\Delta t) \tag{43.12}$$

Zweite Funktionswertberechnung

$$p_{j+2}^{\cdot} = \varphi_{j-2}^{\cdot} + 4/3\ \Delta t\ (\ 2\varphi_{j+1}^{\cdot\cdot} - \varphi_j^{\cdot\cdot} + 2\varphi_{j-1}^{\cdot\cdot}\ ) \tag{43.2}$$

Beginn nächster Zeitschritt

...

Wie aus den obigen Gleichungen hervorgeht, funktioniert dieses Verfahren erst für $j > 3$. Für die ersten drei Zeitschritte müssen die Werte in einer sogenannten Anlaufsrechnung nach einem anderen Verfahren mit entsprechender Genauigkeit berechnet werden. Dafür eignet sich die schon genannte Methode nach Runge-Kutta, die keine spezielle Anlaufsrechnung benötigt. Weil nur drei Zeitschritte berechnet werden müssen, fällt der Nachteil dieser Methode, die doppelte Anzahl von Funktionswertberechnungen, gegenüber dem Gesamtrechenaufwand nicht ins Gewicht.

4.3.2. Programmierung

Bei der Programmierung geht es darum, alle in den vorangehenden Kapiteln beschriebenen Berechnungen miteinander zu verbinden und in eine für den Computer lesbare Sprache zu übertragen. Dazu wurde die Programmiersprache FORTRAN IV extended für die CDC 6500 des Rechenzentrums der ETH verwendet, wo das Programm entwickelt und angewendet wurde. Es existiert auch eine Version in FORTRAN 77 für den Macintosh SE bzw. Macintosh II.
Um verschiedenen Wellentheorien Rechnung tragen zu können, wurden drei Varianten dieses Programms hergestellt, nämlich eine für die lineare Theorie,

eine für Stokes III und eine für die Darstellung der Wellen in Form eines Spektrums. Die erste und dritte Variante unterscheiden sich nur dadurch voneinander, daß beim Spektrum mehrere sinusoidale Wellen überlagert werden, was lediglich die Wiederholung bestimmter Schritte und Summierung der entsprechenden Zwischenresultate verlangt. Diese beiden Varianten werden daher im folgenden nicht mehr unterschieden.
Der Übersichtlichkeit halber (vgl. Fig. 4.12.) ist das Programm aufgegliedert in ein Hauptprogramm und eine Reihe von Unterprogrammen (SUBROUTINEN). Die Berechnung von Wasserteilchengeschwindigkeit, –beschleunigung und Wasserspiegelhöhe geschieht in den Varianten 1 und 3 mit FUNCTION-Unterprogrammen, die in der Figur als dünn gezeichnete Rechtecke eingetragen sind. Die übrigen Programmsegmente (Hauptprogramm und Unterprogramme) sind als vereinfachte Flußdiagramme gezeichnet, die mit einem Namensschild beginnen und mit einem Kreis enden. Der Rücksprung in das aufrufende Programmsegment erfolgt normalerweise am Schluß des Unterprogrammes und führt zum Ort des Aufrufs zurück. Nur dort wo dies nicht der Fall ist (je beim ersten Aufruf der Subroutinen WELLE und DARST), ist der Rücksprung mit einem speziellen Pfeil gekennzeichnet. Im einzelnen geschieht folgendes:
Das HAUPTPROGRAMM beginnt mit dem Einlesen der Modellparameter Zeitintervall t_a, t_e der Berechnung, Zeitschritt Δt, Zeitintrevall t_{print} für die Ausgabe der Resultate, Anzahl n_H Halme, Anzahl n der Teilstäbe des Modells, Anfangsbedingungen für die Lagekoordinaten der Teilstäbe (Neigungswinkel φ und Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$), Anfangslage x_T und Anfangsgeschwindigkeit $\dot{x}_T$ des Treibzeugs. Aus programmtechnischen Gründen wird Einlesen der Modellparameter fortgesetzt in der Subroutine MATRIX mit Längen l der Teilstäbe, Durchmesser D der Teilstäbe, Anzahl Meßpunkte mit bekannten Halmeigenschaften (vgl. Kap. 4.2.3.1. und 4.2.3.2.), für jeden dieser Punkte Höhe h über Grund, spezifische Masse μ und lokale Biegesteifigkeit $E \cdot J$, logarithmisches Dekrement ∂ der Eigenschwingung (vgl. Kap. 4.2.3.3.), Einspanngrad c_E des Halmes im Boden (vgl. Teil III, Kap. 6.). Dann übernimmt wieder das HAUPTPROGRAMM das Einlesen der Wassertiefe d, der Wellenperiode T_w, der Wellenhöhe H, der Erdbeschleunigung g, von Masse M_T und Eintauchtiefe A_T des Treibzeugs, des Schubkoeffizienten G_d und des Massekoeffizienten G_m des Treibzeugs (vgl. Kap. 3.2.1.3. und 3.2.1.4.), des Gleitreibungsbeiwertes μ_1 zwischen Halm und Treibzeug (Gl. 42.71), der Dichte ρ_T des Treibzeugs, des Zusammendrückmoduls $E_q = \Delta N/\delta$ und des Reduktionsfaktors f_{el} für die Zusatzkraft ΔN bei rücklaufiger

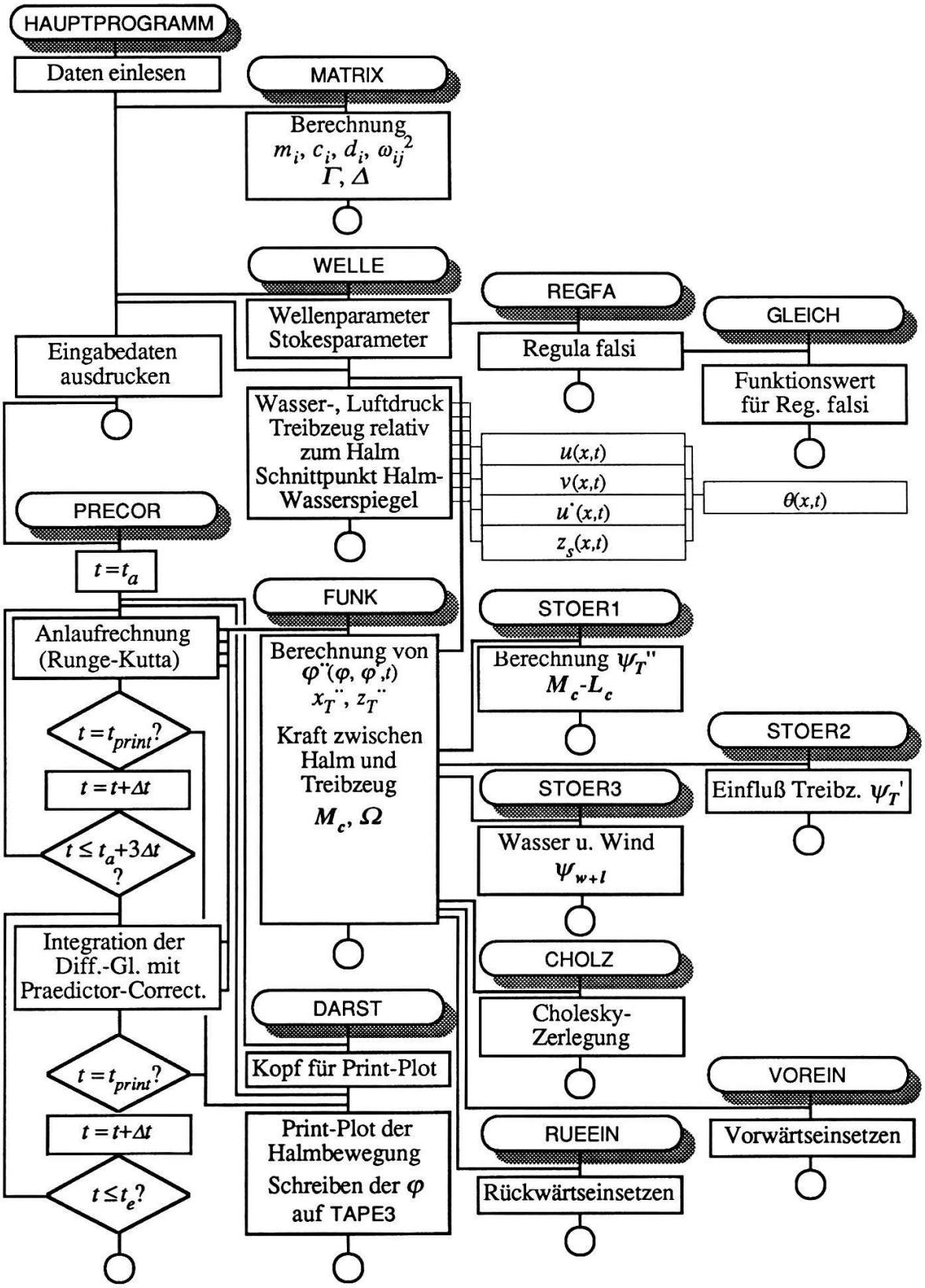


Fig. 4.12. Schema des Rechenprogramms zur Simulation der Bewegungen eines Schilfhalmes (Erklärung s. Text).

Bewegung (Kap.4.2.2.4.), der Dichte ρ_w des Wasers und ρ_l der Luft, des Widerstandskoeffizienten c_w für das Wasser (Kap. 3.2.1.3. und 3.2.1.4.) bzw. c_l für die Luft (Kap. 3.1.) und schließlich der Windgeschwindigkeit u_l. Der Bereich in x-Richtung, der auf dem Printplot ausgedruckt werden soll, wird beim ersten Aufruf von der Subroutine DARST eingelesen.
Nachdem das Hauptprogramm die erste Gruppe der Eingabedaten gelesen hat, ruft es die Subroutine MATRIX auf, in welcher aus den Halmeigenschaften die Massen m_i der Teilstäbe gemäß Kapitel 4.2.3.1., Gleichung 42.101, die Federkonstanten c_i nach den Gleichungen (42.106) und (42.107) des Kapitels 4.2.3.2. und die Dämpfungskonstanten d_i nach Gleichung (42.113) (Kap. 4.2.3.3.) berechnet werden. Mit diesen Werten erzeugt MATRIX dann die Matrizen Γ und Δ (Kap. 4.2.1., Gleichungen 42.34 - 42.35 und 42.46 bzw. 42.37. 42.39 und 42.45) und berechnet die konstanten Glieder ω_{ij}^2 der Matrizen M_c und Ω (Kap. 4.2.1., Gleichungen 42.14 - 42.17 und 42.32 - 42.33).
Ein erster Aufruf der Subroutine WELLE berechnet aus den eingegebenen Wellenkenngrößen in der Variante für die lineare Theorie die Wellenlänge nach Gleichung (32.94). Die Variante für die Stokes'sche Theorie dritter Ordnung berechnet die Wellenlänge aus (32.107 - 32.111). Diese Gleichungen werden numerisch mit Hilfe der Regula falsi in den Subroutinen REGFA und GLEICH gelöst. Zusätzlich berechnet WELLE in dieser Variante noch die notwendigen Stokesparameter $\zeta_{1...3}$ und $u_{1...3}$ (Gleichungen 32.157 - 32.159 bzw. 32.162 - 32.164).
Anschließend druckt das HAUPTPROGRAMM die Eingeabedaten und die daraus abgeleiteten Größen aus.
Die Kontrolle geht nun über auf die Subroutine PRECOR, welche den im vorigen Kapitel beschriebenen Algorithmus (Gleichungen 43.2 - 43.12) zur Integration des Differentialgleichungssystems (42.86) samt der notwendigen Anlaufsrechnung nach Runge-Kutta ausführt. Die Subroutine PRECOR ist so aufgebaut, daß die Funktionswerte $\ddot{\varphi}$ nach Gleichung (42.1), d.h. als Lösung des Gleichungssystems (42.86), in einem weitern Unterprogramm, der Subroutine FUNK, berechnet werden. Darin werden zunächst die Matrizen M_c und Ω mit (42.43) respektive (42.44) erzeugt, indem die bereits in MATRIX berechneten (konstanten) ω_{ij} mit den zugehörigen (zeitabhängigen) c_{ij} (42.9) und s_{ij} (42.19) multipliziert werden. Die Mulitplikation der Matrizen Ω, Γ und Δ mit $\dot{\varphi}^2$, $\dot{\varphi}$ bzw. φ liefert einen ersten Beitrag zu dem die rechte Seite des Gleichungssystems (42.86) bildenden Vektor. Dazu wird noch ein Vektor ψ_g (Gleichung 42.94 - 42.96) für die Berücksichtigung des Halmeigengewichtes addiert. Die für die weitere Rechnung notwendigen Grundlagen

werden durch einen Aufruf der Subroutine WELLE bereitgestellt, nämlich die Lage des Schnittpunktes Halm-Wasserspiegel, sowie die Kräfte aus Wasser- und Luftdruck (Knotenlasten je unten, in der Mitte und oben an jedem Teilstab).
Der Schnittpunkt Halm-Wasserspiegel wird iterativ bestimmt. Zuerst wird von unten jener Teilstab gesucht, welcher den Wasserspiegel durchstößt (d.i. der erste Stab, dessen oberes Ende über dem Wasserspiegel liegt). Die Kote des Wasserspiegels $z_s(x,t)$ ist durch die Wassertiefe d und die aktuelle Erhebung bzw. Absenkung des Wasserspiegels gegenüber der Ruhelage $\zeta(x,t)$ bestimmt $[z_s(x,t) = d + \zeta(x,t)]$. Dazu werden die Gleichungen (32.143) für die lineare Theorie, bzw. (32.156) für die Theorie dritter Ordnung verwendet. Während die Berechnung der Wasserspiegellage nach der linearen Theorie mit einer einfachen Anweisungsfunktion in der Subroutine WELLE möglich ist, ruft die Variante für die Theorie dritter Ordnung hiezu das in der Figur 4.12. mit dünner Umrandung eingezeichnete, entsprechende FUNCTION-Unterprogramm auf. Dasselbe gilt für die Wasserteilchengeschwindigkeiten $u(x,z,t)$ und $v(x,z,t)$, welche zur Berechnung der Wasserdrücke auf die Teilstäbe benötigt werden (Gl. 32.144 - 32.145 für die lineare Theorie, Gl. 32.160 - 32.164 für Stokes III). Das zu diesen Funktionen benötigte Argument $\theta(x,t)$ (Gl. 32.142) wird bei der linearen Theorie ebenfalls mit einer einfa chen Anweisungsfunktion in der Subroutine WELLE berechnet, in der Variante mit Stokes III dagegen ist darum ein FUNCTION-Unterprogramm notwendig, weil es von verschiedenen Programmsegmenten aufgerufen wird. Die Wasser- und Luftdrücke (die Windgeschwindigkeit u_l ist konstant und gehört zu den Eingabedaten) werden mit (32.44) bzw. (31.2) berechnet, die entsprechenden Knotenlasten mit (42.89 - 42.91).
Im Falle wo Treibzeug vorhanden ist ($M_T \neq 0$), wird dessen Lage relativ zum Halm berechnet (Lagekoordinate r auf dem entsprechenden Teilstab, Fig. 4.6., und "Eindringtiefe" δ nach Kap. 4.2.2.4., beide bestimmt aus den absoluten Lagekoordinaten x_T und z_T des Treibzeugs). Auch der durch die lokale Halmkrümmung (entsprechend der "Eindringtiefe", vgl. Kap. 4.2.2.4.) bedingte Anteil ΔN der Normalkraft N zwischen Halm und Treibzeug wird hier berechnet.
Damit sind die notwendigen Grundlagen vorhanden, die Berechnung wird von der Subroutine FUNK fortgesetzt, welche durch Aufruf von STOER1, STOER2 und STOER3 das zu lösende Gleichungssystem (42.86) vervollständigt.
STOER1 berechnet mit (42.85) die Koeffizientenmatrix $\boldsymbol{L}_c$ der linken Seite

der Bewegungsdifferentialgleichung (42.86). Die Subroutine STOER2 berechnet das "Störglied" ψ_T' (Anteil des Treibzeugs am Belastungsvektor, Gl. 42.84) und addiert ihn zu dem bereits berechneten Anteil des Vektors auf der rechten Seite von (42.86). Als letzter Beitrag ist noch der direkte Einfluß ψ_{w+l} (Gl. 42.92 - 42.93) der Wasser- und Luftdrücke zuzuzählen, was in der Subroutine STOER3 geschieht.
Damit ist das (lineare) Gleichungssystem (42.86) vollständig und muß nun nach $\varphi^{\cdot\cdot}$ aufgelöst werden. Aus der Menge der dafür zur Verfügung stehenden Algorithmen wählten wir das in DANKERT (1977) beschriebene Verfahren mit der Cholesky-Zerlegung. Dabei wird die (symmetrische) Koeffizientenmatrix der linken Seite von (42.86) so in ein Produkt zweier Dreiecksmatrizen zerlegt, daß die eine gleich der transponierten Darstellung der anderen ist. Schreiben wir (42.86) in der vereinfachten Weise

$$A\ \varphi^{\cdot\cdot} = b \quad , \tag{43.13}$$

so erzeugt die Cholesky-Zerlegung daraus

$$R^T R\ \varphi^{\cdot\cdot} = b \quad , \tag{43.14}$$

wobei R eine Dreiecksmatrix ist. Faßt man $R\ \varphi^{\cdot\cdot}$ zu einem neuen Vektor y zusammen, so kann das daraus entstehende Gleichungssystem

$$R^T y = b \tag{43.15}$$

leicht nach y aufgelöst werden, da wegen der Dreiecksform von R^T die erste Gleichung nur eine Unbekannte hat, die sofort bestimmt werden kann. Bei jeder folgenden Gleichung tritt jeweils eine neue Unbekannte dazu, die dann ebenfalls sofort berechnet werden kann. Diesen Prozeß nennt man Vorwärtseinsetzen. Der Vektor wird dann als Lösung des Gleichungssystems

$$R\ \varphi^{\cdot\cdot} = y \tag{43.16}$$

gewonnen. Dies geschieht gleich wie bei der Lösung von (43.15), nur daß wegen der zu R^T gespiegelten Form von R mit der letzten Gleichung begonnen wird, der Prozeß heißt entsprechend Rückwärtseinsetzen. Diesen Algorithmus führen die Subroutinen CHOLZ, VOREIN und RUEEIN durch, deren Benennungen für sich selbst sprechen. Diese drei Unterprogramme konnten unmittelbar aus DANKERT (1977) übernommen werden.
Obwohl das soeben beschriebene Verfahren auf den ersten Blick kompliziert aussieht, ist nach DANKERT der Rechenaufwand nur etwa halb so groß, wie beim allgemeiner bekannten Gauß-Algorithmus.

Mit diesen Operationen ist das Gleichungssystem (42.86) in die für die Integration notwendige Form (43.1) übergeführt. Die Beschreibung dürfte klar gemacht haben, wie aufwendig die Funktionswertberechnung ist, weshalb für die Integration das Verfahren von Hamming benutzt wurde, welches pro Integrationsschritt nur zwei solcher Funktionswertberechnungen verlangt, während die hier nur in der Anlaufsrechnung verwendete Methode nach Runge-Kutta pro Integrationsschritt viermal die Berechnung von $\ddot{\varphi}$ benötigt.
Das ganze Procedere der Subroutine PRECOR (Integration von 42.86) wird für das in den Eingabedaten festgelegte Zeitintervall t_a bis t_e mit dem ebenfalls in der Eingabe anzugebenden Integrationszeitschritt Δt ausgeführt. Dabei wird periodisch, jeweils nach einem einzugebenden Zeitintervall t_{print} die Subroutine DARST zur Ausgabe und Darstellung der Resultate aufgerufen. Beim ersten Aufruf dieses Unterprogramms wird der Kopf des Print-Plots für die Darstellung der Halmschwingung erzeugt. Diese wird bei den folgenden Aufrufen der Subroutine DARST dargestellt, und zwar so, wie sich die Situation einem senkrecht von oben schauenden Beobachter darbietet, d. h., es werden die x-Koordinaten der Endpunkte der Teilstäbe, des Schnittpunktes Halm-Wasserspiegel und des Treibzeugs dargestellt (s. Fig. 4.13.). Zusätzlich werden die numerischen Werte der Drehwinkel φ der einzelnen Teilstäbe sowie die beiden Lagekoordinaten des Treibzeugs (x_T und z_T) im verwendeten Maßsystem (durch die Einheiten der Eingabedaten definiert) auf ein besonderes File (TAPE3) geschrieben. Beim letzten Aufruf der Subroutine DARST werden die Drehwinkel der Teilstäbe, die beiden Lagekoordinaten des Treibzeugs, die Winkelgeschwindigkeiten der Teilstäbe, die Geschwindigkeit des Treibzeugs in x-Richtung und die Normalkraft zwischen Halm und Treibzeug (allenfalls der letzte berechnete Wert, falls das Treibzeug zu diesem Zeitpunkt den Halm nicht berührt) ausgedruckt. Dazu kommen noch je die Maximal- und Minimalwerte der Drehwinkel und Auslenkungen (x-Richtung) der Teilstäbe, die maximalen Momente in den Gelenkpunkten sowie das quadratische Mittel je des positiven und des negativen Biegemomentes und der positiven und negativen Auslenkung der Stabenden.

4.4. BEISPIELE UND DISKUSSION

4.4.1. Beispiele

Als Beispiele für die Anwendung des mathematischen Modells wählten wir zwei Standorte des Schilffeldes Altenrhein, nämlich die als Fläche 1.2 und Fläche 4.3 bezeichneten Stellen (Beschreibung und Lokalisierung s. Teil III, Kap. 3.4.1.). Unmittelbar aus den im Teil III beschriebenen Festigkeitsversuchen ließen sich die Werte für Biegesteifigkeit, Festigkeit und Durchmesser entnehmen (vgl. Teil III, Tab. 3.1., 3.5. und 3.6.; dort sind allerdings nur die Werte der drei untersten geprüften Halmstücke aufgeführt). Die spezifische Masse bestimmten wir mit einer Regressionsgleichung, für welche die Werte aus einer Anzahl Proben verschiedener Flächen verwendet wurde:

$$\mu = 0{,}422\, D^{2{,}11}\, e^{-0{,}0031h} \qquad [\text{g/cm(!)}] \qquad (44.1)$$

μ ... spezifische Masse [g/cm]
D ... Halmdurchmesser [cm]
h ... Höhe über Grund [cm]

Der Einspanngrad c_E folgt ebenfalls aus einer Regressionsgleichung, der Gleichung (III 5.11):

$$c_E = 0{,}06542\ [\text{cm}^{-1}]\cdot E\cdot J \qquad [\text{N}\cdot\text{cm/rad}] \qquad (44.2)$$

c_E ... Einspanngrad [N·cm/rad]
$E\cdot J$ ... Biegesteifigkeit des Halmes am Fußpunkt [N·cm^2]

Für die Berechnung der Dämpfungskonstanten wurde ein logarithmisches Dekrement von ∂_L = 0,46 festgelegt, was bedeutet, daß sich bei der Eigenschwingung die Amplitude mit jedem Ausschlag auf 63% der vorhergehenden verkleinert und daß nach 10 Schwingungen die Amplitude auf 1% des ursprünglichen Wertes abgesunken ist.
Der Reibungsbeiwert zwischen Halm und Treibzeug wurde (willkürlich) zu

$$\mu_1 = 0{,}4 \qquad [-] \qquad (44.3)$$

μ_1 ... Gleitreibungszahl = Verhältnis zwischen Normaldruck und Reibungskraft, wenn die beiden Körper aufeinander gleiten

festgelegt, was bedeutet, daß das Treibzeug auf einer mit 40% (gegenüber der Waagrechten) geneigten Fläche von Schilfhalmen gerade abzurutschen beginnt.
Die aus den Halmeigenschaften resultierenden Modellparameter wurden nach Kap. 4.2.3. berechnet und sind in der Tabelle 4.1. zusammengestellt. Die Fe-

Tab. 4.1. Halmeigenschaften und Modellparameter der für die Rechenbeispiele verwendeten Fälle (Festigkeitswerte aus den Versuchen mit Schilf aus Altenrhein, vgl. Teil III, Tab. 3.1., 3.5. und 3.6.)

h_j = Höhe [cm] über Grund am Halm
D_j = Halmdurchmesser [mm]
μ_j = Spezifische Masse [g/cm]
$E \cdot J_j$ = Biegesteifigkeit [N·cm²]
M_{Gr} = Grenzmoment [N·cm]
M_{Br} = Bruchmoment [N·cm]

h_i = Höhe [cm] des Gelenkpunktes über Grund
D_i = Durchmesser [mm] des Teilstabes
m_i = Masse [g] des Teilstabes
c_i = Federkonstante [N·cm/rad] des Gelenks
d_i = Dämpfungskonstante [N·cm·s/rad]

Fläche 1.2, 13. 6.									d_{See} = 70 cm	
Halm				Modell (4 Teilstäbe)					Festigkeit	
h_j	D_j	μ_j	$E \cdot J_j$	h_i	D_i	m_i	c_i	d_i	M_{Gr}	M_{Br}
				0			496	0,661	99	190
18	10,85	0,47	17'200		10,90	13,75			87	167
				30			502	1,290	76	150
67	10,05	0,35	12'800		10,50	18,60			43	108
				80			193	1,140	37	97
127	9,80	0,27	5'900		9,80	19,30			17	56
				150			70	0,465		
187	8,00	0,15	2'020		6,00	8,86				
220	[0]	[0,01]	[100]	(220)						
Fläche 1.2, 27. 6.									d_{See} = 90 cm	
				0			857	1,350	180	370
					11,40	18,80				
				40			773	2,320	170	300
50	11,40	0,47	32'450		11,00	25,20			156	288
91	11,00	0,39	28'730						104	219
				100			370	1,930	100	200
146	10,00	0,27	18'000		10,00	22,00			59	122
				180			142	1,270		
198	9,00	0,18	8'560		6,00	12,70				
239	8,30	0,14	4'610							
292	[0]	[0,01]	[100]	(292)						

Tab. 4.1. (Fortsetzung)

h_j = Höhe [cm] über Grund am Halm
D_j = Halmdurchmesser [mm]
μ_j = Spezifische Masse [g/cm]
$E \cdot J_j$ = Biegesteifigkeit [N·cm²]
M_{Gr} = Grenzmoment [N·cm]
M_{Br} = Bruchmoment [N·cm]

h_i = Höhe [cm] des Gelenkpunktes über Grund
D_i = Durchmesser [mm] des Teilstabes
m_i = Masse [g] des Teilstabes
c_i = Federkonstante [N·cm/rad] des Gelenks
d_i = Dämpfungskonstante [N·cm·s/rad]

Fläche 1.2, 23. 7.									d_{See} = 90 cm	
Halm				Modell (4 Teilstäbe)					Festigkeit	
h_j	D_j	μ_j	$E \cdot J_j$	h_i	D_i	m_i	c_i	d_i	M_{Gr}	M_{Br}
				0			976	1,450	210	440
20	11,00	0,49	37'288		11,00	18,80			207	401
				40			868	2,220	200	370
65	10,60	0,39	35'250		10,60	22,30			200	324
				100			455	1,990	165	260
119	10,00	0,29	27'670		9,50	19,10			146	231
170	8,80	0,19	15'700							
				180			162	1,220		
219	8,30	0,14	7'615		7,00	10,90				
289	[0]	[0,02]	[200]	(289)						
Fläche 4.3, 13. 6.									d_{See} = 70 cm	
				0			318	0,421	70	150
12	8,70	0,30	12'960		8,70	8,70			64	140
				30			665	1,210	53	120
79	8,30	0,22	7'868		8,50	12,40			22	69
				80			110	0,700	22	69
123	8,00	0,18	4'712		8,00	12,80			17	56
				150			56	0,393		
179	7,50	0,13	1'899		7,00	6,86				
225	[0]	[0,01]	[100]	(225)						
Fläche 4.3, 27. 6.									d_{See} = 90 cm	
				0			600	1,000	130	220
33	9,80	0,37	21'830		9,80	14,70			108	188
				40			447	1,420	100	180
82	9,30	0,28	17'880		9,30	17,70			78	141
				100			234	1,210	65	120
138	8,75	0,21	11'130		8,70	15,60			37	88
				175			109	0,920		
217	8,10	0,14	3'800		6,00	10,30				
278	[0]	[0,01]	[100]	(278)						

Tab. 4.1. (Fortsetzung)

h_j = Höhe [cm] über Grund am Halm
D_j = Halmdurchmesser [mm]
μ_j = Spezifische Masse [g/cm]
$E{\cdot}J_j$ = Biegesteifigkeit [N·cm^2]
M_{Gr} = Grenzmoment [N·cm]
M_{Br} = Bruchmoment [N·cm]

h_i = Höhe [cm] des Gelenkpunktes über Grund
D_i = Durchmesser [mm] des Teilstabes
m_i = Masse [g] des Teilstabes
c_i = Federkonstante [N·cm/rad] des Gelenks
d_i = Dämpfungskonstante [N·cm·s/rad]

Fläche 4.3, 23. 7.									d_{See} = 90 cm	
Halm				Modell (4 Teilstäbe)					Festigkeit	
h_j	D_j	μ_j	$E{\cdot}J_j$	h_i	D_i	m_i	c_i	d_i	M_{Gr}	M_{Br}
				0			687	1,010	150	280
17	9,30	0,34	25'700		9,30	13,10			149	271
				40			605	1,580	150	260
59	9,10	0,29	25'550		9,10	16,20			155	256
				100			340	1,380	130	210
114	8,60	0,22	20'580		8,30	13,90			122	197
170	7,90	0,15	12'830							
				175			148	0,971		
278	[0]	[0,02]	[200]	(278)	5,00	8,45				

stigkeitswerte in den Gelenkpunkten wurden aus den Werten der benachbarten Meßpunkte interpoliert (für den Fußpunkt extrapoliert). Die Längen der Teilstäbe folgen unmittelbar aus den Höhen über Grund der einzelnen Gelenkpunkte, bzw. der Halmspitze.

Der Wassserwiderstandsbeiwert des Halmes wurde nach Kap. 3.2.1.4.

$$c_w = 1{,}2 \tag{44.4}$$

gewählt.

Als Treibzeug nahmen wir ein Kantholz der selben Art an, wie es in den Modellversuchen (vgl. Kap. 3.3.4.) verwendet wurde, nämlich ein Holzstück mit 10 cm Kantenlänge und einer Masse von

$$M_T = 6\,\text{kg} \quad . \tag{44.5}$$

Dies ist bezogen auf einen 1 m langen Ausschnitt der Schilffront, da das Modell mit einer "Dicke" der x-z-Ebene (vgl. Fig. 4.1.) gleich einer Längeneinheit rechnet und in diesen Beispielen die SI-Einheiten ([m], [kg], [s] usw.) gelten.

Die Dichte des Treibzeugs entsprach dem schwereren Holzstück der erwähnten Modellversuche, nämlich

$$\rho_T = 600\,\mathrm{kg/m^3} \tag{44.6}$$

Dem entspricht (bei einer Kantenlänge von 10 cm) eine Eintauchtiefe von

$$A_T = 0{,}06\,\mathrm{m} \quad . \tag{44.7}$$

Die Widerstandskoeffizienten betragen auf Grund der selben Modellversuche

$$G_d = 1{,}8 \tag{44.8}$$

und

$$G_m = 1{,}25 \tag{44.9}$$

(Gleichungen 33.16 - 33.17).
Das in Kap. 4.2.2.4. beschriebene Verhältnis von (zusätzlicher) Stoßkraft zur "Eindringtiefe" legten wir für alle Fälle fest zu

$$E_q = \frac{\Delta N}{\delta} = 1900\,\mathrm{N/m} \quad , \tag{44.10}$$

dem im selben Kapitel behandelten Faktor f_{el} (Abminderungsfaktor für ΔN, wenn sich das Treibzeug vom Halm wegbewegt) gaben wir den (willkürlichen) Wert von

$$f_{el} = 50\% \quad . \tag{44.11}$$

Als weitere Parameter kommen noch dazu:
Die Dichte des Wassers mit

$$\rho_w = 1000\,\mathrm{kg/m^3} \quad , \tag{44.12}$$

die Dichte der Luft

$$\rho_l = 1{,}2\,\mathrm{kg/m^3} \quad , \tag{44.13}$$

und der Luftwiderstandskoeffizient des Halmes

$$c_l = 1{,}88 \quad , \tag{44.14}$$

was etwa der unteren Streuungsgrenze für die in allen Beispielen angenommene Windgeschwindigkeit von

$$u_l = 3\,\mathrm{m/s} \tag{44.15}$$

entspricht (vgl. Kap. 3.1.2. und Fig. 3.10.).
Die Anzahl der in einem Meter Schilffront stehenden Halme wurde gleich 9 gesetzt, entsprechend einer Dichte von etwas weniger als 81 Halme /m^2, da ja

die Halme nie regelmäßig auf einer Linie stehen und deshalb nicht nur die vorderste Reihe vom Treibzeug belastet wird.
In allen Fällen verwendeten wir ein Modell mit $n = 4$ Teilstäben, deren Längen jeweils der Situation angepaßt wurden, und zwar in der Art, daß der Bereich vom Seegrund bis 10 cm oberhalb des Ruhewasserspiegels in zwei Teilstäbe unterteilt wurde. Für den Luftteil des Halmes blieben dann noch einmal zwei Teilstäbe. Die Längen können aus der Tabelle 4.1. entnommen werden, sie sind gleich den Differenzen der h_i (Kolonne 5). Da bei Belastung der Halm unten stärker gekrümmt ist, wurden die Teilstäbe gegen unten kürzer genommen.
Die den Beispielen zu Grunde gelegten Wellenhöhen und –perioden sind in Tab. 4.2. aufgelistet. Die leer gelassenen Felder dieser Tabelle sind Fälle, die nicht gerechnet wurden. Bei allen Beispielen der Tabelle 4.1. wurden die Wellen solange der Tabelle 4.2. folgend vergrößert, bis die Halme vom Treibzeug "überfahren" wurden (Instabilität der Rechnung bei zu großer Verformung). Diese Grenze ist aus den Ergebnissen (Tab. 4.4.) zu ersehen. Bei den Wellen mit einer Periode von 3 s entstand für Wellenhöhen von weniger als 15 cm kein sichtbarer Effekt.
Der zu den verwendeten Wellenkenngrößen gehörige Ursell-Parameter (vgl. Kap. 3.2.2.2.2. Gl. 32.85) bewegte sich innerhalb der Grenzen von

$$U = 1{,}62 \div 108 \quad . \tag{44.16}$$

Da die Gültigkeitsgrenze für die lineare Wellentheorie bei $U \leq 15$ liegt, hätten an sich die kleineren Wellen mit dieser Theorie gerechnet werden können; da jedoch die Theorie dritter Ordnung nach Stokes auch in diesen Fällen keine falschen Resultate liefert (die Werte nähern sich mit abnehmender Wellenhöhe jenen der linearen Theorie), rechneten wir alle Beispiele einheitlich mit Stokes III (Kap. 3.2.2.2.2., Abschn. 1b und Kap. 3.2.3., Abschn. b).
Aus den zahlreichen Kombinationen möglicher Fälle wählten wir die in Tab. 4.3. zusammengestellten 15 Beispiele. Wo nichts anderes vermerkt ist, wurden die variablen Wellenperioden gemäß Kolonne 2 der Tabelle 4.2. verwendet. Außer für die ebenfalls speziell gekennzeichneten Beispiele (s. Tab. 4.1. und 4.3.) legten wir die Wassertiefe von $d = 90$ cm zu Grunde.
Als Bezugspunkt für den Vergleich der Beispiele wurden die Halme der Fläche 1.2 und 4.3 (Versuchsgebiet Altenrhein) am 27. 6. gewählt (Beispiele ST711 und ST731). Die Wirkung flacherer Wellen untersuchten die Beispiele ST721 und ST741 mit einer für alle Wellenhöhen konstanten Periode von 3 s, während bei den übrigen Beispielen die Wellen derart gewählt wurden, daß

Tab.4.2. Übersicht über die für die Beispiele verwendeten Wellenhöhen, -perioden und -längen.

H_w = Wellenhöhe [cm] L = Wellenlänge [m] T_w = Wellenperiode [s]
d = Wassertiefe [cm]

H_w	T_w	L		T_w	L
		$d = 90$	$d = 70$		$d = 90$
10	1,25	2,43	2,36		
15	1,53	3,46	3,27	3,00	8,41
20	1,76	4,30	4,02	3,00	8,47
25	1,97	5,07	4,71	3,00	8,55
30	2,16	5,78	5,36	3,00	8,64
35	2,33	6,42	5,96	3,00	8,73
40	2,49	7,05	6,56	3,00	8,83
45	2,65	7,70	7,18	3,00	8,94
50	2,79	8,29		3,00	9,04
55	2,92	8,86			
60	3,05	9,45			
65	3,18	10,05			
70	3,30	10,63			

Tab. 4.3. Übersicht über die als Beispiele gerechneten Fälle.

Beispiel #	Datum	Fläche	Besonderes
ST 771	13. 6.	1.2	Wassertiefe $d = 70$ cm
SO 761	13. 6.	1.2	Wassertiefe $d = 70$ cm; ohne Treibzeug ($M_T = 0$)
ST 791	13. 6.	4.3	Wassertiefe $d = 70$ cm
SO 781	13. 6.	4.3	Wassertiefe $d = 70$ cm; ohne Treibzeug
ST 711	27. 6.	1.2	
SO 751	27. 6.	1.2	Ohne Treibzeug
ST 751	27. 6.	1.2	Treibzeug mit doppelter Masse ($M_T = 12$ kg, $A_T = 8{,}5$ cm)
ST 721	27. 6.	1.2	Wellenperiode $T = 3$ s
ST 731	27. 6.	4.3	
SO 731	27. 6.	4.3	Ohne Treibzeug
ST 741	27. 6.	4.3	Wellenperiode $T = 3$ s
ST 811	23. 7.	1.2	
SO 801	23. 7.	1.2	Ohne Treibzeug
ST 831	23. 7.	4.3	
SO821	23. 7.	4.3	Ohne Treibzeug

das Verhältnis H/T^2 ungefähr konstant ist, was bedeutet, daß diese Wellen im Tiefwasser ungefähr die gleiche Steilheit haben. Um den Einfluß verschiedener Halmsteifigkeiten zu bestimmen, hätte man die Steifigkeitswerte der Halme vom 27. 6. um einen bestimmten Faktor vergrößern und verkleinern können. Da aber in der Natur Steifigkeit und Festigkeit eng miteinander verknüpft sind, erschien es uns realistischer, auf gemessene Werte zurückzugreifen, wofür sich die zu verschiedenen anderen Daten geprüften Halme der gleichen Flächen anboten. Damit wurde gleichzeitig das Element der jahreszeitlichen Entwicklung in die Berechnungen eingebracht. Wegen dem im Frühsommer noch tieferen Wasserstand wurde bei den Beispielen mit Halmen vom 13. 6. mit einer Wassertiefe von nur 70 cm gerechnet. Auf weitere Vor- und Nachteile dieser Wahl wird bei der Besprechung der Resultate eingegangen.
Für jedes Datum und jede Fläche rechneten wir auch den Fall ohne Treibzeug (SO761, SO 781, SO751, SO801 und SO821), für die Fläche 1.2 am 27.6. noch zusätzlich die Variante mit einem Treibholz doppelter Masse (ST751). Damit suchten wir den vom Treibzeug verursachten Anteil an der Halmbeanspruchung festzustellen.
Das Zeitintervall für die Berechnung (t_{Anfang} = 1,5 s; t_{End} = 25,1 s) und die Anfangsbedingungen sind willkürlich festgelegt. Es wurde angenommen, daß zu Beginn der Rechnung der Halm senkrecht steht und sich nicht bewegt ($\varphi(0) = \dot{\varphi}(0) = \mathbf{0}$), das Treibzeug schwimmt in 50 cm Entfernung vom Halm auf dem Wasserspiegel und bewegt sich mit der gleichen Geschwindigkeit wie die Wasserteilchen. Da die Anfangsbedingungen willkürlich gewählt wurden, stellt sich der quasi-stationäre Schwingungszustand erst nach einer gewissen Einschwingungszeit ein. Bei der Beurteilung der Resultate wurde deshalb die Zeitspanne der ersten 3 1/2 Wellenperioden nicht berücksichtigt. Bei kleinen Wellenhöhen ($H < \approx 25$ cm) ist diese Zeitspanne insofern zu klein, als es einige Wellenperioden dauert, bis das Treibzeug den Halm überhaupt erreicht. Der erste, manchmal auch der zweite Schlag des Holzstücks auf den Halm sind dann wenig bis deutlich größer als im quasistationären Zustand (vgl. Fig. 4.13. - 4.16. am Schluß dieses Kapitels). Immerhin entspricht auch dieser Fall einer Situation in der Natur, da das Treibzeug ja oft von irgendwo hergeschwemmt wird und irgendwann auf die Halmfront trifft. Bei der Beurteilung der Resultate wird auf diese Tatsache Rücksicht genommen.
Die Schrittweite Δt für die Integration der Differentialgleichungen wurde zu

$$\Delta t = 0{,}001 \text{ s} \tag{44.17}$$

festgelegt, da sich damit eine hinreichende Genauigkeit erzielen ließ. Der

Ausdruck der Resultate (Werte der Lagekoordinaten, Printplot; vgl. Beschreibung des Programms in Kap. 4.3.) erfolgte alle 0,2 s , d.h. nach je 200 Integrationsschritten.
Die Ergebnisse erscheinen primär als Werte aller Lagekoordinaten in Funktion der Zeit. Die vom Programm (Subroutine DARST) erzeugten Printplots der Bewegungen der Gelenkpunkte und des Treibzeugs in x-Richtung (Fig. 4.13. - 4.25 am Schluß dieses Kapitels) dienten in erster Linie der qualitativen Beurteilung der Halmschwingung. Ebenfalls der Veranschaulichung dienten die mit Hilfe eines HEWLETT-PACKARD Intelligent Graphics Terminal HP 2647A mit zugehörigem HP 9872 Graphics Plotter hergestellten Bildchen (Fig. 4.32.), welche den Schwingungsvorgang in der Seitenansicht zeigen. Dazu wurden die vom Rechenprogramm auf TAPE3 geschriebenen Werte auf eine Magnetbandkassette übertragen und mit einem durch AGL ("A Graphics Language") erweiterten BASIC-Programm verarbeitet.
Zur quantitativen Beurteilung dienen die vom Programm ebenfalls gelieferten Größen von Maximalwert und quadratischem Mittel ("Standardabweichung") des positiven Biegemomentes in den Gelenkpunkten (Tab. 4.4. am Schluß dieses Kapitels).
Nicht leicht beantworten läßt sich die Frage, wie diese Beanspruchungen mit den in der Tabelle 4.1. ebenfalls aufgeführten Festigkeitswerten in Beziehung gesetzt werden sollen. Ein notwendiges Kriterium für den Vergleich von Beanspruchung und Festigkeit ist sicher die Forderung, daß das maximale Biegemoment kleiner sei als das Bruchmoment, da der Halm sonst in jedem Fall bricht, auch bei nur einmaliger Beanspruchung. Dieses Kriterium ist aber sicher nicht hinreichend, weil ja die Beanspruchung als periodische Schwingung auftritt, und zwar mit einer Amplitude (Maximalwert), die um ein bestimmtes Mittelmaß streut (vgl. Fig. 4.13. - 4.25.). Diese oft wiederholte Beanspruchung führt schon dann zum Versagen des Halmes, wenn das Grenzmoment M_{Gr} (vgl. Teil III, Kap. 1.2.) überschritten wird (bleibende Verformung durch jeden Ausschlag). Dieses "Mittelmaß" der Schwingungsamplitude kann vom Programm nicht berechnet werden, da es z.B. bei stark schwankenden Ausschlägen nicht sinnvoll wäre, jede Schwingung mitzuberücksichtigen: Ob und welche Schwingungen allenfalls bei dieser Berechnung des Mittelwertes wegzulassen sind, ist eine Ermessensfrage und kann nur mit dem Überblick über das Schwingungsbild des ganzen Berechnungsintervalls entschieden werden.
Dagegen ist das quadratische Mittel

$$\sigma_M = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} M(t)^2 \, dt\right]^{1/2} \tag{44.18}$$

σ_M ... Quadratisches Mittel des Biegemomentes
$M(t)$ ... Biegemoment in Funktion der Zeit
t_1, t_2 ... Anfang bzw. Ende des Berechnungszeitintervalls

("Standardabweichung") ein besseres Maß für die mittlere Beanspruchung. Mit den folgenden Überlegungen soll versucht werden, damit den ungefähren mittleren Ausschlag abzuschätzen: Die wirkliche Schwingung wird vereinfachend als Sinusschwingung betrachtet. Wegen der Überlagerung der Wellenwirkung durch den stetigen Winddruck und wegen der stärkeren Wirkung der Wellen in ihrer Fortpflanzungsrichtung ist diese Schwingung allerdings nicht symmetrisch bezüglich des Nullpunktes, sondern in positiver x-Richtung (bezogen auf die Koordinaten des mathematischen Modells) verschoben. Betrachten wir die Bewegungen der einzelnen Gelenkpunkte des Modells auf den Figuren 4.13. - 4.25. (am Schluß dieses Kapitels), so sehen wir, daß die Schwingung in der Größenordnung um eine halbe Amplitude verschoben ist, d.h. der maximale Rückschwung liegt nahe bei der Nullinie. Diese vereinfachte Schwingung läßt sich somit in der Form

$$y = \frac{A}{2} + \frac{A}{2} \sin b\,t \tag{44.19}$$

y ... Wert (z.B. Biegemoment oder Halmbewegung)
$A/2$ ... Amplitude der Schwingung (= halbe Schwingungsweite)
b ... Kreisfrequenz der Schwingung
t ... Zeit

anschreiben. Berechnet man das mittlere Quadrat (Varianz) einer solchen Schwingung, so wird (in Analogie zu 44.18)

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{A^2}{4} [1 + \sin^2(b\,t)] \, dt = \frac{3}{8} A^2 \tag{44.20}$$

und

$$\sigma_y = \sqrt{(3/8)}\, A \quad . \tag{44.21}$$

Auf unser Problem angewendet kann man somit schreiben:

$$M_{max\,m} = \sqrt{(8/3)}\, \sigma_M \tag{44.22}$$

$M_{max\,m}$ ... Mittleres Maximum oder mittlerer Ausschlag des Biegemomentes

Es liegt nun nahe, dieses mittlere Maximum mit dem Grenzmoment zu vergleichen. Um die Asymmetrie der Schwingung zu berücksichtigen werden zur

Berechnung des quadratischen Mittels der wirklichen Schwingung nur die positiven Momente berücksichtigt. Der Faktor $\sqrt{(8/3)}$ als Verhältnis zwischen dem quadratischen Mittel und dem mittleren Ausschlag stimmt allerdings nur dann, wenn die Schwingung ungefähr Sinusform hat. Je schärfer ausgeprägt die Spitzen und damit verbunden je flacher und breiter die "Täler" dazwischen, umso höher müßte dieser Proportionalitätsfaktor angesetzt werden. Obwohl ein Blick auf die Fig. 4.18. - 4.20 zeigt, daß dies tatsächlich in einigen Fällen berechtigt wäre, verzichteten wir darauf, da bei der Messung der Festigkeit (Teil III, Kap. 3.1.) die Belastung vergleichsweise langsam aufgebracht wurde, was zu eher niedrigeren Festigkeitswerten führt.
Mit diesen Überlegungen legten wir in den folgenden Beispielen für jeden Lastfall eine "zulässige Wellenhöhe" derart fest, daß einerseits

$$M_{max\,b} = M_{Br} \quad (\Rightarrow H_B) \tag{44.23}$$

und andererseits

$$M_{max\,g} = \sqrt{(8/3)}\,\sigma_M = M_{Gr} \quad (\Rightarrow H_G) \tag{44.24}$$

Damit konnten die "zulässigen Wellenhöhen" H_B und H_G aus der Tabelle 4.4. durch Interpolation gewonnen werden. Wird die "zulässige Wellenhöhe" überschritten, so wird der Halm geschädigt, wobei an sich natürlich der kleinere der beiden Werte maßgebend ist. Da aber H_G und H_B je auf ganz verschiedenem Weg gewonnen wurden und beide ihre eigenen Fehlerquellen und Unsichereheiten aufweisen, geben wir jeweils beide Werte an.
Als weitere Anwendungen des mathematischen Modells können die Nachrechnungen der Modellversuche an der VAW (vgl. Kap. 3.3.4.) gelten, obwohl dort nicht die Beanspruchungen, sondern die Bewegungen interessierten. Als Beispiel, wie bei bestimmten Konstellationen der Parameter äußerst unregelmäßige Schwingungen entstehen können, zeigen wir die Schwingungsbilder für den Versuch mit dem Holzstück von 5,99 kg und 16 cm Wellenhöhe, wobei in dieser Reihe für einen als konstant angenommenen Schubkoeffizienten G_d der Massekoeffizient G_m im Bereich von 1,0 bis 2,0 variiert wurde (Fig. 4.27. - 4.32.). Dazu sei noch auf die Ausführungen in Kap. 3.3.3. hingewiesen, aus denen hervorgeht, daß eine Erhöhung des Massekoeffizienten G_m ungefähr gleich wirkt, wie eine Vergrößerung der Treibzeugmasse, während eine Erhöhung des Schubkoeffizienten G_d einen ähnlichen Effekt hat wie eine größere Eintauchtiefe A_T.

4.4.2. Resultate der Beispielsrechungen und Diskussion

Wie aus den Darlegungen in den vorigen Kapiteln und auch im nachfolgenden Teil III mit hoffentlich genügender Deutlichkeit hervorgeht, ist jeder einzelne Parameter des mathematischen Modells mit kleineren bis erheblichen Ungenauigkeiten behaftet. Die im folgenden vorgestellten Resultate der im vorangehenden Kapitel beschriebenen Beispiele dürfen deshalb nicht als absolute Größen zum Nennwert genommen werden, auch wenn sie durchaus plausibel erscheinen. Die Stärke des mathematischen Modells liegt eher im relativen Vergleich; es wird ersichtlich, was passiert, wenn gewisse Gegebenheiten (wie z.B. die Biegesteifigkeit) verändert werden.

Diese Unsicherheiten sind mit jedem der im Ingenieurwesen verwendeten Verfahren zur Dimensionierung von Bauwerken untrennbar verbunden. Damit diese Konstruktionen trotzdem nicht einstürzen, werden ausreichende Sicherheitsfaktoren festgelegt, d.h. das Bauwerk wird (vereinfachend gesagt) so dimensioniert, daß die rechnerisch zulässige Belastung um diesen Sicherheitsfaktor größer ist als die vorhandene. Dazu genügt meist eine geringe Vergrößerung einiger Abmessungen, da Festigkeit und Steifigkeit eines Bauteils überproportional zur Größe zunehmen. Auf das Schilf läßt sich diese Denkweise jedoch nicht anwenden, da die Halme von der Natur dimensioniert wurden, welche nicht mit Sicherheitsfaktoren rechnet, weil der Verlust eines bestimmten Anteils der Individuen das Überleben der Art in keiner Weise gefährdet: Würden wir bei der Berechnung der Beanspruchung von Schilfhalmen noch einen Sicherheitsfaktor einführen, so erhielten wir als Resultat, daß Schilfhalme auch der normalen natürlichen Beanspruchung gar nicht standhalten könnten, das theoretisch nachgezeichnete Bild würde noch mehr verfälscht.

Um die Besprechung und den Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Beispiele zu vereinfachen, werden sie im folgenden so behandelt, wie wenn es sich um "richtige" Werte handelte; der Leser muß sich aber der genannten Einschränkungen stets bewußt bleiben. Die Ergebnisse werden am Schluß dieses Kapitels (S. 262 - 297) zahlenmäßig und graphisch präsentiert.

In der Tabelle 4.4. sind die berechneten Beanspruchungen zusammengestellt, nämlich jeweils für jeden Gelenkpunkt das maximale Biegemoment und das quadratische Mittel des Biegemomentes. Die Figuren 4.33. - 4.35. zeigen das Biegemoment im Fußpunkt des Halmes in Abhängigkeit von der Wellenhöhe. Bestimmen wir aus den Beanspruchungen und den Festigkeiten (Tab. 4.4. und 4.1.) die "zulässigen Wellenhöhen" H_G (bezogen auf das Grenzmoment) bzw. H_B (bezogen auf das Bruchmoment) nach der im vorigen Kapitel beschriebenen Weise, so erhalten wir die Tabelle 4.5.. Die äußerste Kolonne rechts in dieser Tabelle, H_{max}, gibt an, bei welcher Wellenhöhe der Halm gerade noch nicht überrollt wird.

Eine Bemerkung verdient zunächst die Kolonne mit H_{max}: Wie bereits am

Schluß von Kapitel 4.3.2. erwähnt, bricht die Rechnung mit einem Vermerk auf dem Output ab, wenn der Halm überfahren wird, oder der Integrationsalgorithmus wird instabil, was ebenfalls zum Abbruch der Rechnung führt. Welches der beiden Ereignisse jeweils eintritt, ist offenbar mehr oder weniger eine Frage des Zufalls und abhängig von der spezifischen Parameterkombination. Wie aus Tab. 4.5. hervorgeht, ist für das Versagen des Halmes in allen durchgerechneten Beispielen die Beanspruchung und nicht die Stabilität (Überfahren) maßgebend: In den unteren Punkten ist die Bruchfestigkeit bereits erreicht oder überschritten, bevor der Halm überfahren wird.
Die gemessenen Festigkeiten sind ebenfalls mit einer bestimmten Unsicherheit behaftet. Es ist nicht ausgeschlossen, daß die Art und Weise, wie die Belastung in der Natur aufgebracht wird, etwas größere Biegemomente zuläßt als die Versuchseinrichtung im Labor (vgl. Teil III, Kap. 3.1.). Daher ist es gerechtfertigt, auch die maximalen Wellenhöhen H_{max}, bezogen auf das Überfahrenwerden, kurz zu betrachten. Zuerst fällt auf, daß in den Fällen ohne Treibzeug (SO...) diese Grenze bis zur maximal berücksichtigten Wellenhöhe von 70 cm gar nicht erreicht wird, was zu erwarten war. Der entscheidende Einfluß des Treibzeugs wird hier deutlich: Bei den Halmen der Fläche 1.2 vom 27. 6. reduziert ein Treibholz von 6 kg (pro Laufmeter Uferlinie) die "Überrollgrenze" auf 45 cm Wellenhöhe, während ein doppelt so schweres Holzstück (Beispiel ST751) diese Grenze nur noch um 5 cm auf 40 cm erniedrigt. Im übrigen zeigen die Werte von H_{max} ein getreues Abbild der Steifigkeitsverhältnisse, wenn auch nur in den unteren Bereichen: Bei den Halmen der Fläche 1.2 liegt die Grenze für den 27. 6. (ST711, ST721) ebenso wie für den 23. 7. (ST811) bei 45 cm, während sie für die (etwas weicheren; vgl. Tab. 4.1.) Halme der Fläche 4.3 erst am 23. 7. (ST831) diesen Wert erreicht. Am 27. 6. liegt die kritische Grenze noch bei 40 cm Wellenhöhe. Am 13. 6., wo die Halme noch weniger stark ausgebildet sind, wird die Schilffront schon bei 30 cm Wellenhöhe (Fläche 4.3, ST791) bzw. 35 cm (Fläche 1.2, ST771) vom angenommenen Treibholz überfahren, obwohl wegen der noch geringeren Wassertiefe von nur 70 cm der Hebelarm für das Treibholz kürzer ist. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß dieses H_{max} nicht zum Nennwert genommen werden darf, weil bei Berücksichtigung der gemessenen Festigkeiten der Halmbruch meist schon früher eintritt. H_{max} ist daher nur ein oberster Grenzwert, bei dem die Schilffront, unabhängig von der Festigkeit der Halme, durch das Treibzeug zerstört wird.
In der Natur ist die Situation noch etwas anders, da die vordersten Halme eines Bestandes von den dahinter stehenden in einem gewissen Maße gestützt wer-

den. Sie "liegen" deshalb nicht so schnell "ab". Dieser Einfluß darf andererseits in seiner günstigen Wirkung auch nicht überschätzt werden, denn die Abstützung behindert die Bewegung und erhöht damit die mechanische Beanspruchung (das System wird steifer). Außerdem ist nicht zu vergessen, daß die Abstützung erst bei verhältnismäßig großer Verformung wirksam wird, da ja die hinteren Halme in einem gewissen Abstand zu den vorderen stehen und die durch Wind und Wellen verursachte Bewegung ebenfalls mitmachen. Darum darf die Vermutung gewagt werden, daß die hinteren Halme das Zerstörungswerk von Treibzeug und Wellen nur verzögern, dagegen längerfristig nicht aufzuhalten vermögen, wenn die vordersten Halme allein der Beanspruchung nicht gewachsen sind.
Betrachten wir nun, mit den notwendigen Vorbehalten, die "zulässigen Wellenhöhen", die sich auf Grund von Beanspruchung und Festigkeit ergeben (Tab. 4.5.). Als erstes stellen wir fest, daß aus dem Vergleich von mittlerer Amplitude mit dem Grenzmoment kleinere Werte resultieren (H_G) als aus dem Vergleich der Maximalbeanspruchung mit dem Bruchmoment (H_B). Der Grund ist einfach: Das Grenzmoment ist wesentlich niedriger als das Bruchmoment, nämlich um den Faktor 1/2 - 1/3. Da andererseits die Schwingungen der Rechenbeispiele doch ziemlich regelmäßig sind (Fig. 4.13. - 4.25.), ist die mittlere Amplitude nicht viel kleiner als der Maximalausschlag. Im weiteren fällt auf, daß offenbar die Beanspruchung im Gelenk 3 (10 cm über dem Ruhewasserspiegel) nicht maßgebend ist, da für diesen Punkt laut Tab. 4.5. höhere Wellen "zulässig" sind als für die beiden unteren. Zwischen den beiden unteren Punkten (Fußpunkt und je nach Halmgröße 30 - 40 cm über Grund gemäß Tab. 4.1.) sind die Unterschiede wenigstens in den Fällen mit Treibzeug nicht groß. Zu unterst sind die "zulässigen Wellenhöhen" eher etwas kleiner, was an sich bedeutet, daß die Halme am Fußpunkt brechen würden. In Wirklichkeit muß dies nicht der Fall sein, da die Festigkeit des Fußpunktes durch Extrapolation aus den höher gelegenen Meßpunkten bestimmt und damit sehr wahrscheinlich unterschätzt wurde, denn die untersten Internodien eines Halmes sind sehr kurz und stark verfestigt. Aus diesem Grund konzentrieren wir unsere Betrachtungen der "zulässigen Wellenhöhen" auf den Gelenkpunkt 2, mit der Annahme, daß diese maßgeblich seien.
Das Bild, das sich zeigt, ist ähnlich wie bei den maximalen Wellenhöhen H_{max}. Allerdings zeigt sich ein deutlicher Unterschied (von etwa 4 cm) zwischen den beiden Flächen 1.2 und 4.3 nur für den 27. 6. (ST711 mit H_G/H_B = 38/44 cm "zulässiger Wellenhöhe" und ST721 mit 37/44 [Fläche 1.2] gegenüber ST731 mit 34/40 und ST741 mit 34/39 [Fläche 4.3]). Dabei darf nicht

vergessen werden, daß die Unterteilung für H_{max} mit 5 cm-Stufen gröber ist als jene für die beiden anderen "zulässigen Wellenhöhen" H_G und H_B , denn für H_{max} kann nicht zwischen den gerechneten Beispielen interpoliert werden. Es ist daher möglich, daß in einzelnen Fällen H_{max} bis gegen 5 cm größer ist als in der Tabelle 4.5. aufgeführt.
Obschon die weicheren Halme der Fläche 4.3 am 27.6. weniger stark beansprucht werden (vgl. Fig. 4.37.) mögen sie weniger hohe Wellen auszuhalten als jene der Fläche 1.2 zum gleichen Datum, das heißt, der Unterschied zwischen den beiden Flächen ist bei der Festigkeit wirkungsmäßig größer als bei der Steifigkeit. Bei den anderen Daten (13. 6. und 23. 7.) ist dies nicht der Fall, die "zulässigen Wellenhöhen" sind für beide Flächen ungefähr gleich (ST771 mit 27/31 cm "zulässiger Wellenhöhe" gegenüber ST791 mit 26/30 für den 13.6. bzw. ST811 mit 40/47 gegenüber ST831 mit 38/46). In der Beanspruchung (Fig. 4.38.) zeigen sich dagegen dieselben, durch die verschiedenen Steifigkeiten bedingten, Unterschiede wie am 23. 6., was bedeutet, daß Festigkeit und Steifigkeit hier wirkungsmäßig im gleichen Verhältnis stehen. Der Grund für diesen nicht ganz einleuchtenden Sachverhalt läßt sich nur vermuten: Offenbar entwickelten sich die Halme der Fläche 4.3 zuerst vor allem in ihrer Dicke (Steifigkeit) während die Bildung des Festigungsgewebes weniger rasch erfolgte und dem (für die Berechnung angenommenen) Seeanstieg von 70 auf 90 cm zwischen dem 13. 6. und 27. 6. nicht zu folgen vermochte. Dies läßt sich tendenzmäßig der Fig. 4.39. entnehmen, wo Durchmesser, Festigkeit und Steifigkeit der Halme über dem Datum aufgetragen sind. Daß in dieser Figur der Durchmesser der Halme vom 27. 6. zum 23.7. abnimmt, zeigt nicht etwa eine Rückentwicklung der Halme, sondern ist eine Folge der Auslese der geprüften Halme, denn am 23. 7. wurde ein Mittelwert aus sechs verschieden großen Halmen genommen, während am 27. 6. nur je zwei "große" Halme beider Flächen untersucht wurden. Angesichts dieser schmalen Datenbasis sollten im übrigen für die zeitliche Entwicklung keine weitergehenden Schlüsse gezogen werden (die hier behandelten Beispiele sollen ja auch nur den Einfluß unterschiedlicher Biegesteifigkeit aufzeigen).
In den Unterschieden zwischen den verschiedenen Daten spiegelt sich nicht nur der Einfluß verschiedener Festigkeit und Steifigkeit an sich, sondern auch die von unten nach oben sich entwickelnde Halmverfestigung: Bei den späteren Halmen nehmen Festigkeit und Steifigkeit von unten nach oben viel weniger stark ab als bei den früheren, sie sind deshalb den Angriffen der Wellen besser gewachsen. Der Unterschied ist besonders markant zwischen dem 13.6. und dem 27. 6. (ST791 mit 26/30 gegenüber ST731 mit 34/40 [Fläche

4.3] bzw. ST771 mit 27/31 gegenüber ST711 mit 38/44 cm "zulässiger Wellenhöhe" [Fläche 1.2]). Die Verfestigung geht übrigens nach Ende Juli noch weiter (vgl. mit den Werten für den 12. 8. in Teil III, Tab. 3.1., 3.5. und 3.6.). Andererseits sinkt in dieser Zeit der Wasserspiegel normalerweise bereits wieder, so daß diese stärkeren Halme sogar noch weniger beansprucht werden. Trotz aller Vorbehalte gegenüber einem mathematischen Modell decken sich die hier vorgestellten Resultate mit der Tatsache, daß die Schilfhalme in der Zeit des Aufwuchses am stärksten gefährdet sind (KLÖTZLI 1974).
Bemerkenswerterweise gelten die obigen Schlußfolgerungen auch dann, wenn kein Treibzeug vorhanden ist, außer daß die Absolutwerte der "zulässigen Wellenhöhen" natürlich größer sind. Das Entfernen des Treibholzes erhöht die "zulässigen Wellen" um 22%/35% in der Fläche 1.2 am 13. 6., um 40%/34% am 27. 6. und um 38%/40% am 23. 7. Für die Fläche 4.3 lauten die entsprechenden Zahlen: 19%/42% (13. 6.), 32%/35% (27. 6.) und 45%/39% (23. 7.).
Auch die Masse des Treibzeugs wirkt hinsichtlich der "zulässigen Wellenhöhen" auf Grund der Beanspruchung analog wie bei der maximalen Wellenhöhe in bezug auf die Stabilität (Überfahren): Obwohl nach den Berechnungen auch für den Fall ohne Treibzeug eine Wellenhöhe von weniger als 70 cm zum Bruch führt, (SO751 mit 53/59 cm "zulässiger Wellenhöhe"), ist auch nach dem Bruchkriterium der Unterschied viel größer zwischen dem Fall ohne (SO751) und mit einem Holzstück von 6 kg Masse (ST711 mit 38/44 cm) als zwischen diesem und einem Treibholz von 12 kg (ST751 mit 38/>40 cm). Dies geht auch aus der Fig. 4.33. deutlich hervor, wo die Beanspruchungen in Funktion der Wellenhöhe dargestellt sind.
Der Einfluß der Wellenperiode (und damit der -steilheit) auf die "zulässige Wellenhöhe" ist im Rahmen der besprochenen Beispiele verschwindend (ST711 mit 38/44 [≈ konstante Steilheit] gegenüber ST721 mit 37/44 [konstante Periode von 3 s] für die Fläche 1.2 bzw. ST731 mit 34/40 gegenüber ST741 mit 34/39 cm "zulässiger Wellenhöhe"für die Fläche 4.3). Dabei ist zu beachten, daß sich die Perioden der Wellen mit zunehmender Höhe mehr und mehr nähern (vgl. Tab. 4.2.: Bei rund 60 cm Wellenhöhe stimmen die Perioden überein), im Bereich von 40 cm Wellenhöhe ist allerdings der Unterschied noch erheblich: 2,49 s gegenüber 3 s, Wellenlänge entsprechend 7,05 m gegenüber 8,8 m. Die Steilheiten H/L betragen 0,4/7,05 = 1/17,6 (ST711 und ST731), bzw. 0,4/8,8 = 1/22 (ST721 und ST741). Die Beanspruchungen (Biegemoment am Halmfuß) zeigt Fig. 4.37. in Abhängigkeit von der Wellenhöhe. Daß das maximale Biegemoment bei den Wellen unter 25 cm Höhe für die

kleineren Perioden deutlich höher liegt ist die Folge der im vorigen Kapitel besprochenen Schläge beim ersten Zusammenstoß von Treibzeug und Halm, welche bei den Wellenperioden von 3 s nicht vorkommen (s. Fig. 4.24. und 4.25. im Vergleich mit Fig. 4.22. und 4.23.). Dieses einmalige Maximum wirkt sich natürlich auf das quadratische Mittel praktisch nicht aus, die Unterschiede in den mittleren Amplituden σ_M sind denn auch bei den kleinen Wellenhöhen für die verschiedenen Wellenperioden nur klein (Fig. 4.37. unten).
Bevor noch weitere Aspekte der Beanspruchung der Schilfhalme in Funktion der Wellenhöhe diskutiert werden, muß die Frage nach der **Plausibilität der Resultate** des mathematischen Modells aufgeworfen werden. Führen all die unvermeidbaren Unsicherheiten und Fehler zu "unmöglichen" oder vielleicht doch zu brauchbaren Ergebnissen?
Werfen wir einen Blick auf die Tabelle mit den "zulässigen Wellenhöhen" (Tab. 4.5.), so stellen wir fest, daß diese am 13. 6. für beide Flächen in der Größenordnung von 30 cm liegen. Am 27. 6. finden wir eine Größenordnung von 40 - 45 cm (für die Fläche 1.2 gilt ein etwas höherer Wert) und am 23. 7. liegt die "zulässige Wellenhöhe" im Bereich von 45 cm. Auffallend ist auch, daß bei der Betrachtung nur der Größenordnungen der Unterschied zwischen H_{max} und H_B kaum mehr eine Rolle spielt (wogegen H_G im Mittel um etwa 5 - 6 cm kleiner ist, worüber schon gesprochen wurde). Zur Beurteilung dieser "zulässigen Wellenhöhen" muß man sich zunächst vor Augen halten, daß bei der Berechnung angenommen wird, alle Wellen seien gleich, jede Welle bewirke somit ungefähr die gleiche, berechnete Beanspruchung (Unterschiede ergeben sich nur durch die Unregelmäßigkeit der Schwingungen, vgl. Fig. 4.13. bis 4.25.). In der Natur herrschen selbstverständlich ganz andere Verhältnisse, hier folgen sich kleine und große Wellen in zufälliger Reichenfolge. Nach einer oder zwei hohen Wellen folgt meist eine Periode relativer Ruhe mit vielen kleinen Wellen. Deshalb kann für den Vergleich mit der "zulässigen Wellenhöhe" H_G auf Grund des Grenzmomentes als "vorhandene Wellenhöhe" die mittlere Wellenhöhe H_m des beobachteten Seegangs gesetzt werden (zu den "kennzeichnenden Größen des natürlichen Seegangs vgl. Kap. 3.2.1.2.). Die signifikante Wellenhöhe $H_{1/3}$ (= Mittlere Höhe des höchsten Drittels aller Wellen) ist größer als die mittlere, und zwar gilt nach LONGUET-HIGGINS (1952, zit. in SCHÜTTRUMPF 1973) die folgende statistische Beziehung:

$$H_{1/3} = 1{,}6\, H_m \quad . \tag{44.25}$$

Daraus ergäben sich folgende "zulässige" Werte für die signifikante Wellenhöhe $H_{1/3}$ (in Klammern als zusätzliche Angabe die Werte auf Grund des

Bruchmomentes): am 13. 6. rund 40 cm (50 cm), am 27. 6. rund 60 cm (70 cm) für die Fläche 1.2 und etwa 55 cm (65 cm) für die Fläche 4.3, am 23. 7. ungefähr 65 cm (75 cm) für die Fläche 1.2 und etwa 60 cm (75 cm) für die Fläche 4.3. Diese Werte können wir mit einer Beobachtung vom 13. 7. (nicht desselben Jahres) vergleichen, wo bei einer Windgeschwindigkeit von 7,5 - 8 m/s (≈ 30 km/h) die größeren Wellen eine Höhe von 50 - 70 cm erreichten (vgl. das Beispiel Kap. 3.2.2.2., wo diese Situation nachgerechnet wurde und ein $H_{1/3}$ von nicht ganz 70 cm ergab). Dabei erscheinen die theoretischen Werte in fast unerwarteter Weise plausibel, da der Schilfbestand damals an seiner Front tatsächlich geschädigt wurde, wenn auch verhältnismäßig langsam. Das Treibzeug bestand (im Gegensatz zur Rechnung) nicht aus festem Treibholz, sondern aus abgebrochenen Schilfhalmen vermischt mit Watten von Fadenalgen (*Cladophora*).

Allerdings sind die obigen theoretischen Werte für "zulässiges" $H_{1/3}$ auch auf Grund von H_G größer als die "zulässige Wellenhöhe" H_B auf Grund des Bruchkriteriums, sie sind auch größer als H_{max}. Dies würde an sich bedeuten, daß die Halme bei Wellen dieser Größe brechen müßten oder überfahren würden, da für beides ein einmaliges Überschreiten der entsprechenden Wellenhöhe eigentlich genügt. Trotzdem erachten wir die "zulässige" signifikante Wellenhöhe $H_{1/3}$ auf Grund des Grenzmomentes, also: $H_m = H_G$ und $H_{1/3} = 1{,}6\ H_m$, als einigermaßen zutreffend, nicht nur aus Plausibilitätsgründen, sondern auch, weil die Stützwirkung der weiter hinten liegenden Halme für die vordersten vor allem bei vereinzelten, hohen Wellen zum Tragen kommt (also bei Wellen höher als H_m), während die weiter oben angebrachten Vorbehalte gegen diese günstige Wirkung mehr für ständig sich wiederholende Wellen gelten. Die dort ebenfalls aufgestellte Vermutung über das Versagen der Halme kann also dahingehend präzisiert werden, daß **für die Halme in der Front die Belastung dann zu groß ist, wenn die mittlere Wellenhöhe H_m größer ist als die mittels des Grenzmomentes bestimmte "zulässige Wellenhöhe" H_G** (vgl. Tab. 4.5.), **wobei die signifikante Wellenhöhe $H_{1/3}$ des Seegangs etwa 1,6 Mal so groß ist wie H_m.** Hingegen sind die Werte für eine "zulässige" signifikante Wellenhöhe $H_{1/3}$, die aus der Gleichsetzung von H_m mit der "zulässigen Wellenhöhe" H_B auf Grund des Bruchmomentes resultieren (die oben angegebenen, eingeklammerten Werte), wahrscheinlich zu groß.

Die bisherigen Überlegungen galten für den "Normalfall" unserer Beispiele, nämlich mit einem Treibholz von 6 kg. Der Blick auf die Tabelle 4.5. sowie auf die Fig. 4.33. zeigt, daß die Erhöhung der Treibholzmasse auf 12 kg kei-

nen nennenswerten Unterschiede bewirkt, lediglich H_{max} wird um höchstens 5 cm kleiner. Einzelne hohe Spitzen gefährden mithin das Schilf bei 12 kg Treibholz pro Meter Uferlinie etwas stärker als bei nur 6 kg pro Meter.
Anders liegt der Fall, wenn gar kein Treibholz vorhanden ist (Beispiele SO...): Hier ist die "zulässige Wellenhöhe" H_G auf Grund des Grenzmomentes im Gelenk 2 gemäß Tab. 4.5. für die Fläche 1.2 am 13.6. gleich 33 cm (SO761), 53 cm am 27. 6. (SO751) und 55 cm am 23. 7. (SO801). Auf der Fläche 4.3 lauten die entsprechenden Werte von H_G für die gleichen Daten: 31 cm (SO 781), 45 cm (SO731) und ebenfalls 55 cm (SO821). Die entsprechenden, gerade noch "erträglichen" signifikanten Wellenhöhen betragen demgemäß: am 13. 6. rund 50 cm, am 27. 6. ungefähr 85 cm auf der Fläche 1.2 und 70 cm auf der Fläche 4.3, schließlich am 23. 7. rund 90 cm auf beiden Flächen.
Außer am 23. 7., wo die Wassertiefe meist wieder geringer ist, sind solche Wellenhöhen bei stärkeren Winden durchaus zu erwarten. Dies bedeutet, daß nach den Berechnungen auch ohne Treibzeug Schäden an den Schilfbeständen zu erwarten sind. Dem widerspricht die Feststellung, daß es Stürme schon immer gegeben hat und die Schilfbestände trotzdem überleben konnten. In die gleiche Richtung weist die Tatsache, daß Pflanzen an ihre natürlichen Standorte meist optimal angepaßt sind. Auch HÜRLIMANN (1951) berichtet, daß "das Schilf den Wirkungen des bewegten Wassers allein standzuhalten vermag."
Für diesen Sachverhalt bieten sich drei mögliche Erklärungen an:

1. Das mathematische Modell berechnet für den Fall ohne Treibzeug zu hohe Beanspruchungen.
2. Die wirkliche Festigkeit der Schilfhalme ist bei rasch wechselnder Beanspruchung größer als die im Labor gemessene.
3. Die Halme im Schilffeld von Altenrhein sind heute weniger fest als vor einigen Jahrzehnten.

Es muß offen bleiben, welche dieser Erklärungen zutrifft, für jede gibt es sowohl Gründe dafür, wie dagegen. Ob die dritte Möglichkeit zutrifft, könnte nur bei Vorliegen älterer Festigkeitsmessungen stichhaltig entschieden werden, da sich nur so der Einfluß der Eutrophierung (und anderer nachteiliger Umwelteinflüsse) einwandfrei nachweisen ließe. Bei Messungen an räumlich verschiedenen Beständen spielen nämlich außer der morphologischen Ausbildung so viele weitere Standortfaktoren eine Rolle, daß der Einfluß zunehmender Eutrophierung, wenn überhaupt, nur mit einer sehr breiten statistischen Basis nachgewiesen werden könnte. Allerdings haben schon zahlreiche Autoren (TOBLER 1943, KLÖTZLI 1971, SUKOPP et al. 1975, SUKOPP und MARKSTEIN

1981, BORNKAMM und RAGHI-ATRI 1980, TROLLIET 1980) den Zusammenhang von Düngung bzw. Eutrophierung und Ausbildung des Halmquerschnittes untersucht, teils verbunden mit Festigkeitsmessungen (KLÖTZLI 1974, SUKOPP et al. 1975, BORNKAMM und RAGHI-ATRI 1980; vgl. Teil III, Kap. 2.). Sie alle stellten einen verminderten Anteil des Festigungsgewebes (Sklerenchym) am Halmquerschnitt bei größerem Nährstoffangebot fest. Trotz der (von einigen der erwähnten Autoren mitgeteilten) Schwierigkeiten und Fehlermöglichkeiten solcher Versuche muß deshalb wohl der Zusammenhang zwischen Eutrophierung und Sklerenchymanteil als gegeben betrachtet werden. Da das Festigungsgewebe Festigkeit und Steifigkeit des Halmes fast ausschließlich bestimmt, muß auch in bezug auf diese zwei Größen ein Zusammenhang negativer Art angenommen werden. In die gleiche Richtung weisen auch die Resultate eigener Versuche mit Schilf aus der Kläranlage Othfresen (Teil III, Kap. 3.4.2., 4.2.2. und 4.3.2.), welche allerdings nur den eutrophen bis hypertrophen Bereich abdeckten. Für die Erklärung 3 spricht auch eine Beobachtung von KLÖTZLI (mdl.), wonach in Altenrhein sogar bereits der Wind allein unter bestimmten Umständen Schilfhalme zu knicken vermag.

Aufschlußreich ist der Blick auf die Beanspruchungen in Funktion der Wellenhöhe (Tab. 4.4., die Biegemomente im Fußpunkt außerdem in Fig. 4.33. bis 4.38. graphisch dargestellt; da hier nicht mit der Festigkeit verglichen wird, wählten wir für die Figuren das Biegemoment am Halmfuß). Bei den steiferen Halmen (Fläche 1.2 am 27. 6. sowie beide Flächen am 23. 7., also die Beispiele ST711, ST811 und ST831) fällt auf, daß die Kurve der Maximalmomente nicht stetig ansteigt: zwischen H = 25 cm und H = 30 cm nimmt die Beanspruchung ab oder immerhin viel weniger stark zu als auf Grund des vorangehenden Kurvenverlaufs zu erwarten wäre (ST811 in Fig. 4.38.). Außer für ST811 ist diese Erscheinung bei den genannten Beispielen auch im Bild des quadratischen Mittels (Fig. 4.38. unten) festzustellen, wenn auch abgeschwächt. Dieses Phänomen haben wir schon bei der Nachrechnung der Modellversuche zur Bestimmung des Schub- (G_d) und Massekoeffizienten (G_m) des Treibzeugs festgestellt (vgl. Kap. 3.3.4.2.). Die dort angegebene Begründung (Resonanzerscheinungen) trifft auch hier sinngemäß zu. Abgesehen davon zeigt der Verlauf der Beanspruchungen ab einer bestimmten Wellenhöhe einen überproportionalen Anstieg (nämlich ab H = 25 cm für die Halme vom 13. 6., ST771 und ST791 und ab H = 30 cm für die übrigen, bei ST751 [Masse Treibholz = 12 kg] weniger stark ausgeprägt ab H = 35 cm). Diese Erscheinung hat ihren Grund in den zunehmend ungünstigeren Hebelverhältnissen ab einer gewisse Schräglage (vgl. Kap. 3.3.2.). Ein weiterer Grund ist auch der,

daß bei den kleinen Wellen die Wirkung des Windes (angenommene Windegschwindigkeit in allen Beispielen 3 m/s) relativ stärker hervortritt (vgl. Fig. 4.13. - 4.25.). Damit ist auch die scheinbar widersprüchliche Tatsache erklärt, daß die noch weniger steifen Halme am 13. 6. (ST771 und ST791) bei Wellenhöhen von 30 cm und mehr stärker beansprucht werden als die steiferen der anderen Daten (vgl. Fig. 4.38.): die überproportionale Zunahme des Biegemomentes erfolgt hier eben schon bei H = 25 cm und nicht erst bei 30 cm wie für die übrigen. Ganz in dieses Bild passen auch die Kurven für die Beispiele ohne Treibzeug (SO..., Fig. 4.34. und 4.35.): Da die Kraft des Wassers stetig (wenn auch nicht konstant) über den ganzen benetzten Teil des Halmes verteilt ist, entsteht keine sozusagen plötzliche Verschlechterung der Hebelverhältnisse. Die Kurven verlaufen deshalb regelmäßiger.
Aus den soeben besprochenen Kurven der Beanspruchung in Funktion der Wellenhöhe (Fig. 4.33. - 4.36.) bzw. den diesen zu Grunde liegenden Zahlenwerten der Tabelle 4.4. lassen sich Graphiken für den Vergleich der Beanspruchung mit und ohne Treibzeug konstruieren (Fig. 4.40. und 4.41.): Dargestellt ist das Verhältnis H_T/H_0 derjenigen Wellenhöhen, welche einmal zusammen mit einem Treibholz von 6 kg Masse und einmal ohne Treibzeug das gleiche Biegemoment im Halmfuß bewirken. Als Abszisse ist die Wellenhöhe H_0 gewählt. Damit kann für jede Wellenhöhe berechnet werden, um wieviel sie reduziert werden müßte, damit bei Vorhandensein eines Treibholzes von 6 kg Masse die Beanspruchung des Halmes gleich groß würde. So kann die Wirksamkeit des Einsammelns von Treibholz beurteilt und allenfalls mit anderen Maßnahmen (Wellendämpfung) verglichen werden.
Eigenartigerweise zeigen alle diese Kurven der Figuren 4.40. und 4.41. bei einer Wellenhöhe H_0 zwischen etwa 25 und 35 cm ein Maximum von über 90%, d.h. das Treibzeug hat in diesem Bereich fast keinen Einfluß. Einleuchtend ist die Abnahme von H_T/H_0 bei größeren Wellenhöhen, da das Treibholz mit seiner großen Angriffsfläche der Wellenwirkung viel stärker ausgesetzt ist als die schlanken Halme. Warum auch bei den kleinsten Wellenhöhe der Einfluß des Treibzeugs wieder zunimmt (abnehmendes Verhältnis H_T/H_0), läßt sich nicht leicht erklären. Vermutlich liegt es an den bereits wiederholt erwähnten Resonanzerscheinungen, daß sich die Beanspruchungen mit und ohne Treibholz bei Wellen von ungefähr 30 cm Höhe stark annähern (vgl. dazu Fig. 4.33. - 4.36.; aus Fig. 4.33. ist ersichtlich, daß diese Erscheinung nur beim Treibholz von 6 kg auftritt, während sich die Kurven der Beanspruchung für die Halme mit [ST751] und ohne [SO751] Treibholz von 12 kg stetig voneinander entfernen: die Wirkung des Treibzeugs nimmt hier stetig zu).

Aus den Annahmen für die Beispiele folgt, daß bei den kleineren Wellenhöhen in den Figuren 4.40. und 4.41. für das Verhältnis H_T/H_0 zwei verschiedene Werte (gestrichelte und strichpunktierte Linie) erhalten werden, nämlich je nachdem, ob man zur Beurteilung das maximale Biegemoment oder das quadratische Mittel wählt: Das erste wird stark durch die besonders starken Schläge beim ersten Zusammentreffen von Halm und Treibzeug bestimmt, während sich im zweiten vorwiegend die vom Wind herrührende "Grundlast" manifestiert. Der zum Teil sprunghafte Verlauf dieser Kurven im unteren Bereich ist die Folge der im Falle von Treibzeug unregelmäßig ansteigenden Beanspruchung bei zunehmender Wellenhöhe (Fig. 4.33. - 4.38.).
Bemerkenswert ist die weitgehende Übereinstimmung der Kurven H_T/H_0 für beide Flächen zu den beiden späteren Daten im "gesicherten" (weil eindeutigen) abnehmenden Bereich rechts vom Maximum, während sie am 13. 6. für beide Flächen übereinstimmend um etwa 5 cm auf der H_0-Achse nach links verschoben sind, wahrscheinlich als Folge der geringeren Wassertiefe und der nach oben hin rasch abnehmenden Steifigkeit der Halme.
Generell darf trotz aller Vorbehalte gegenüber dem mathematischen Modell und der kleinen Anzahl von Beispielen aus den Kurven der Figuren 4.40. und 4.41. geschlossen werden, daß die Entfernung des Getreibsels hinsichtlich der mechanischen Beanspruchung eine der wirksamsten Maßnahmen darstellt. Im Gegensatz zu flexiblen Wellendämpfern nimmt hier die Wirkung bei wachsender Wellenhöhe sogar noch zu.
Zusammenfassend kann gesagt weden, daß das mathematische Modell trotz der ungünstigen Ausgangslage (ungenaue Kenntnis der Modellparameter bzw. der ihnen zu Grunde liegenden Halmeigenschaften) wenigstens im Rahmen der hier besprochenen Beispiele im Allgemeinen plausible, durch Anschauung oder Beobachtung in der Natur gut deutbare Resultate liefert. Wir möchten deshalb den Schluß wagen, daß die in der Tabelle 4.5. angegebenen "zulässigen Wellenhöhen" H_G auf Grund des Grenzmomentes im zweiten Modellgelenk einigermaßen zutreffende Werte für eine kritische mittlere Wellenhöhe sind, die ein Schilfbestand gerade noch aushält, wenn er in Festigkeit und Steifigkeit etwa jenem von Altenrhein entspricht. Die entsprechende "kritische signifikante Wellenhöhe" $H_{1/3}$ ist dann gemäß Gl. (44.25) 1,6 Mal größer. Dies gilt selbstredend nur für natürliche Wellen. Schiffe und Boote erzeugen einen Zug von mehreren aufeinanderfolgenden, annähernd gleich großen Wellen. Zur Beurteilung solcher Wellen müssen deshalb die Werte H_G aus der Tabelle 4.5. entnommen und durch einen angemessenen Sicherheitsfaktor dividiert werden.

Ob das mathematische Modell auch für andere Standorte brauchbare Resultate liefert, müßte durch Nachrechnen anderer Verhältnisse und weitere Beobachtungen abgeklärt werden. Immerhin beruht unser Modell auf allgemein gültigen physikalischen Gesetzmäßigkeiten, so daß dessen Brauchbarkeit bei richtiger Erfassung der standortsbedingten Eigenschaften (Modellparameter) zumindest vermutet werden darf.

Tab. 4.4. Berechnete Beanspruchung (Biegemoment) der im Text besprochenen Beispiele von Schilfhalmen, die durch Wellen, Wind und Treibzeug belastet werden.

H_w = Wellenhöhe [cm]
T_w = Wellenperiode [s]
$M_{1...4}$ = Positives Biegemoment [N·cm] in den vier Gelenkpunkten
σ = (Quadratisches) Mittel ("Standardabweichung")
max = Maximalwert
** Die maximalen Momente sind in diesen Fällen durch die beim ersten Zusammenstoß von Treibzeug und Halm entstehenden, erhöhten Ausschläge bestimmt.

Fläche 1.2, 13. 6. (ST 771)										
H_w	T_w	M_1		M_2		M_3		M_4		
		σ	*max*	σ	*max*	σ	*max*	σ	*max*	
10	1,25	22	36	17	26	9	16	2	5	**
15	1,53	25	60	19	45	10	25	2	7	**
20	1,76	33	60	23	39	10	22	2	6	**
25	1,97	41	79	27	54	11	27	3	7	
30	2,16	102	181	70	126	21	43	5	10	
35	2,33	153	253	115	192	43	115	6	16	
40	2,49	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
Fläche 1.2, 13. 6., ohne Treibzeug (SO 761)										
10	1,25	21	25	17	20	9	11	2	3	
15	1,53	23	33	17	24	9	13	2	3	
20	1,76	28	46	19	32	10	17	2	4	
25	1,97	40	69	25	48	11	24	3	6	
30	2,16	58	107	36	74	14	31	4	7	
35	2,33	79	152	51	107	20	39	4	8	
40	2,49	104	188	68	138	28	51	5	13	
45	2,65	117	207	77	163	33	80	6	21	
50	2,79	140	231	93	186	42	91	8	30	
55	2,92	146	258	94	202	38	97	9	35	
60	3,05	172	284	110	217	42	101	11	39	
65	3,18	193	308	108	231	38	104	7	33	
70	3,30	196	333	110	244	40	100	9	27	

Tab. 4.4. (Fortsetzung)

H_w = Wellenhöhe [cm]
T_w = Wellenperiode [s]
$M_{1...4}$ = Positives Biegemoment [N·cm] in den vier Gelenkpunkten
σ = (Quadratisches) Mittel ("Standardabweichung")
max = Maximalwert
** Die maximalen Momente sind in diesen Fällen durch die beim ersten Zusammenstoß von Treibzeug und Halm entstehenden, erhöhten Ausschläge bestimmt.

Fläche 4.3, 13. 6. (ST 791)										
H_w	T_w	M_1		M_2		M_3		M_4		
		σ	*max*	σ	*max*	σ	*max*	σ	*max*	
10	1,25	22	39	17	27	10	18	3	5	**
15	1,53	24	52	19	35	10	20	3	5	**
20	1,76	29	51	22	35	11	21	3	6	
25	1,97	34	69	24	46	11	22	3	8	
30	2,16	77	146	53	110	16	35	4	6	
35	2,33	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
Fläche 4.3,13. 6., ohne Treibzeug (SO 781)										
10	1,25	21	24	17	19	10	11	3	3	
15	1,53	22	29	17	22	10	13	3	3	
20	1,76	25	40	19	28	10	15	3	4	
25	1,97	32	58	23	39	11	20	3	5	
30	2,16	42	85	29	58	13	26	3	7	
35	2,33	58	118	37	84	15	32	4	8	
40	2,49	76	144	48	105	19	40	4	11	
45	2,65	90	160	55	126	24	64	5	23	
50	2,79	104	180	64	139	27	64	5	20	
55	2,92	108	202	63	151	24	64	7	32	
60	3,05	126	223	70	162	26	70	8	32	
65	3,18	134	240	72	173	24	72	6	26	
70	3,30	141	261	79	184	29	77	6	24	
Fläche 1.2, 27. 6. (ST 711)										
10	1,25	36	61	28	41	16	28	5	12	**
15	1,53	39	79	30	56	16	32	5	11	**
20	1,76	44	83	33	54	17	37	5	13	**
25	1,97	56	123	39	89	18	48	6	16	**
30	2,16	62	112	42	79	18	41	6	16	
35	2,33	120	215	74	161	26	54	8	18	
40	2,49	187	317	122	217	36	75	10	16	
45	2,65	254	406	187	306	64	141	12	28	
50	2,79	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	

Tab. 4.4. (Fortsetzung)

H_w = Wellenhöhe [cm]
T_w = Wellenperiode [s]
$M_{1...4}$ = Positives Biegemoment [N·cm] in den vier Gelenkpunkten
σ = (Quadratisches) Mittel ("Standardabweichung")
max = Maximalwert
** Die maximalen Momente sind in diesen Fällen durch die beim ersten Zusammenstoß von Treibzeug und Halm entstehenden, erhöhten Ausschläge bestimmt.

Fläche 1.2, 27. 6., ohne Treibzeug (SO 751)										
H_w	T_w	M_1		M_2		M_3		M_4		
		σ	*max*	σ	*max*	σ	*max*	σ	*max*	
10	1,25	35	38	27	30	16	18	5	6	
15	1,53	37	47	28	35	16	21	5	7	
20	1,76	41	61	30	42	16	24	5	8	
25	1,97	47	79	33	53	17	29	5	10	
30	2,16	56	103	37	67	18	35	6	11	
35	2,33	77	134	43	86	19	41	6	14	
40	2,49	101	174	54	112	23	48	8	16	
45	2,65	128	223	64	146	26	56	8	18	
50	2,79	161	278	90	187	33	66	10	22	
55	2,92	192	333	108	242	43	95	11	31	
60	3,05	253	378	155	307	71	166	16	61	
65	3,18	287	415	163	327	69	164	22	75	
70	3,30	310	450	172	346	72	182	19	77	
Fläche 1.2, 27. 6., Treibzeug 12 kg (ST 751)										
10	1,25	38	68	29	48	16	33	5	14	**
15	1,53	40	77	30	54	16	35	5	11	**
20	1,76	45	87	33	57	17	38	6	14	**
25	1,97	55	112	39	71	18	43	6	15	
30	2,16	68	147	45	91	19	50	7	18	
35	2,33	108	211	66	152	25	64	8	22	
40	2,49	196	351	131	233	39	81	11	26	
45	2,65	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
Fläche 1.2, 27. 6. (ST 721)										
15	3,00	37	54	28	39	16	22	5	7	
20	3,00	42	72	30	48	16	25	5	8	
25	3,00	52	94	35	60	17	27	5	10	
30	3,00	68	127	44	84	19	37	6	12	
35	3,00	121	224	74	152	24	51	8	16	
40	3,00	195	338	125	242	37	74	9	19	
45	3,00	262	414	194	319	70	164	12	32	
50	3,00	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	

Tab. 4.4. (Fortsetzung)

H_w = Wellenhöhe [cm]
T_w = Wellenperiode [s]
$M_{1...4}$ = Positives Biegemoment [N·cm] in den vier Gelenkpunkten
σ = (Quadratisches) Mittel ("Standardabweichung")
max = Maximalwert
** Die maximalen Momente sind in diesen Fällen durch die beim ersten Zusammenstoß von Treibzeug und Halm entstehenden, erhöhten Ausschläge bestimmt.

Fläche 4.3, 27. 6. (ST 731)										
H_w	T_w	M_1		M_2		M_3		M_4		
		σ	*max*	σ	*max*	σ	*max*	σ	*max*	
10	1,25	31	40	24	31	13	20	4	6	**
15	1,53	33	58	25	43	14	26	4	10	**
20	1,76	37	68	28	50	14	30	5	11	**
25	1,97	44	81	32	52	15	33	5	11	
30	2,16	56	111	40	76	17	40	5	13	
35	2,33	93	175	63	125	21	39	6	11	
40	2,49	145	241	103	179	32	63	8	15	
45	2,65	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
Fläche 4.3, 27. 6., ohne Treibzeug (SO 731)										
10	1,25	30	33	24	26	13	15	4	5	
15	1,53	31	39	24	29	14	17	4	6	
20	1,76	34	50	26	35	14	20	4	7	
25	1,97	40	66	29	45	15	24	5	8	
30	2,16	48	88	33	59	16	30	5	10	
35	2,33	65	116	39	78	17	35	6	12	
40	2,49	87	151	50	103	21	39	7	13	
45	2,65	107	187	59	129	23	47	7	15	
50	2,79	129	214	73	155	29	59	8	17	
55	2,92	151	236	83	190	37	96	9	35	
60	3,05	179	258	101	205	45	108	10	44	
65	3,18	199	284	106	218	44	120	11	48	
70	3,30	221	310	114	231	48	128	12	51	
Fläche 4.3, 27. 6. (ST 741)										
15	3,00	32	51	24	33	13	19	4	6	
20	3,00	36	58	26	38	14	19	4	7	
25	3,00	44	75	30	48	14	21	5	8	
30	3,00	58	112	38	73	16	30	5	12	
35	3,00	96	183	65	119	20	40	6	10	
40	3,00	138	242	95	186	30	71	7	17	
45	3,00	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	

Tab. 4.4. (Fortsetzung)

H_w = Wellenhöhe [cm]
T_w = Wellenperiode [s]
$M_{1...4}$ = Positives Biegemoment [N·cm] in den vier Gelenkpunkten
σ = (Quadratisches) Mittel ("Standardabweichung")
max = Maximalwert
** Die maximalen Momente sind in diesen Fällen durch die beim ersten Zusammenstoß von Treibzeug und Halm entstehenden, erhöhten Ausschläge bestimmt.

H_w	T_w	M_1		M_2		M_3		M_4		
		σ	*max*	σ	*max*	σ	*max*	σ	*max*	
Fläche 1.2, 23. 7. (ST 811)										
10	1,25	36	63	28	46	16	28	5	11	**
15	1,53	39	71	30	55	16	27	5	11	**
20	1,76	44	83	32	51	17	33	5	13	**
25	1,97	55	132	38	86	18	46	6	15	**
30	2,16	66	142	44	93	19	45	6	17	
35	2,33	118	218	72	156	24	49	8	16	
40	2,49	186	330	115	231	33	74	9	16	
45	2,65	248	448	161	323	51	121	11	27	
50	2,79	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
Fläche 1.2, 23. 7., ohne Treibzeug (SO 801)										
10	1,25	35	41	28	32	16	18	5	6	
15	1,53	37	49	28	36	16	20	5	7	
20	1,76	41	63	30	43	16	23	5	8	
25	1,97	49	86	34	57	17	29	5	9	
30	2,16	60	119	40	76	18	35	6	11	
35	2,33	86	162	49	104	20	41	7	13	
40	2,49	118	218	65	140	25	48	8	16	
45	2,65	149	281	80	184	29	58	8	19	
50	2,79	184	335	107	229	39	78	10	24	
55	2,92	210	384	120	283	46	118	10	32	
60	3,05	256	419	159	343	71	189	17	66	
65	3,18	296	455	171	366	74	194	19	81	
70	3,30	328	495	182	389	78	215	18	81	
Fläche 4.3, 23. 7. (ST 831)										
10	1,25	26	46	20	34	11	20	3	7	**
15	1,53	29	58	22	42	11	21	3	7	**
20	1,76	34	65	24	44	11	26	4	9	**
25	1,97	44	97	30	69	13	31	4	10	**
30	2,16	54	98	32	67	13	28	4	12	
35	2,33	101	185	61	129	18	35	5	11	
40	2,49	160	273	105	189	27	55	7	12	
45	2,65	201	329	146	245	46	105	8	20	
50	2,79	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	

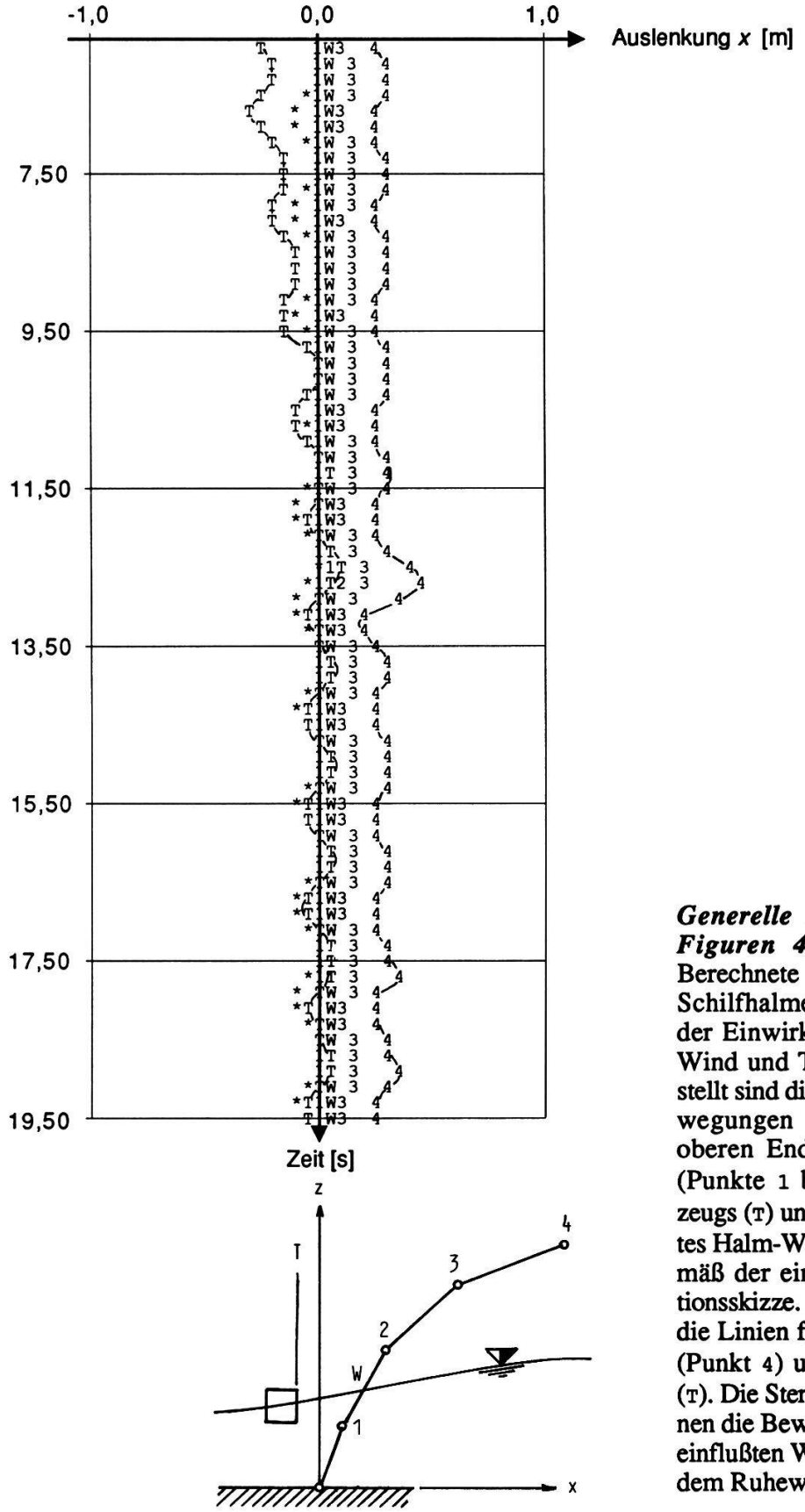
Tab. 4.4. (Fortsetzung)

Fläche 4.3, 23. 7., ohne Treibzeug (SO 821)										
H_w	T_w	M_1		M_2		M_3		M_4		
		σ	*max*	σ	*max*	σ	*max*	σ	*max*	
10	1,25	25	30	19	23	11	13	3	4	
15	1,53	27	37	20	26	11	14	3	5	
20	1,76	30	48	22	33	11	17	3	5	
25	1,97	37	66	25	43	12	20	4	6	
30	2,16	51	92	30	58	13	24	4	8	
35	2,33	68	125	37	78	14	28	4	9	
40	2,49	94	165	49	104	17	33	5	11	
45	2,65	118	209	60	136	21	40	6	13	
50	2,79	146	245	80	167	28	58	7	17	
55	2,92	169	281	90	208	34	88	7	22	
60	3,05	210	306	118	248	51	132	11	47	
65	3,18	241	335	124	265	51	133	14	59	
70	3,30	269	364	135	281	57	150	15	61	

Tab. 4.5. "Zulässige Wellenhöhen" der gerechneten Beispiele.

H_G: in bezug auf das Grenzmoment; H_B: in bezug auf das Bruchmoment; H_{max}: Stabilitätskriterium (vgl. Text)

Beispiel #	Datum	Fläche	"Zulässige Wellenhöhe" H_G/H_B [cm] für			H_{max}
			Fußpunkt	Gelenk 2	Gelenk 3	[cm]
ST 771	13. 6.	1.2	27 / 30	27 / 31	30 / 34	35
SO 761	13. 6.	1.2 $M_T = 0$	31 / 41	33 / 42	35 / 59	>70
ST 791	13. 6.	4.3	26 / 30	26 / 31	27 / >30	30
SO 781	13. 6.	4.3 $M_T = 0$	29 / 42	31 / 44	31 / 61	>70
ST 711	27. 6.	1.2	34 / 43	38 / 44	44 / >45	45
SO 751	27. 6.	1.2 $M_T = 0$	42 / 59	53 / 59	58 / >70	>70
ST 751	27. 6.	1.2 $M_T = 12$ kg	35 / 40	38 / >40	>40 / >40	40
ST 721	27. 6.	1.2 $T = 3$ s	34 / 42	37 / 44	44 / >45	45
ST 731	27. 6.	4.3	33 / 38	34 / 40	>40 / >40	40
SO 731	27. 6.	4.3 $M_T = 0$	38 / 51	45 / 54	57 / 65	>70
ST 741	27. 6.	4.3 $T = 3$ s	33 / 38	34 / 39	>40 / >40	40
ST 811	23. 7.	1.2	36 / 44	40 / 47	>45 / >45	45
SO 801	23. 7.	1.2 $M_T = 0$	42 / 63	55 / 66	>70 / >70	>70
ST 831	23. 7.	4.3	34 / 40	38 / 46	>45 / >45	45
SO821	23. 7.	4.3 $M_T = 0$	39 / 55	55 / 64	>70 / >70	>70



Generelle Legende zu den Figuren 4.13. - 4.25.: Berechnete Schwingung eines Schilfhalmes (Modell) unter der Einwirkung von Wellen, Wind und Treibzeug. Dargestellt sind die waagrechten Bewegungen (x-Richtung) der oberen Enden der Teilstäbe (Punkte 1 bis 4), des Treibzeugs (T) und des Schnittpunktes Halm-Wasserfläche (W) gemäß der eingefügten Definitionsskizze. Nachgezogen sind die Linien für die Halmspitze (Punkt 4) und das Treibzeug (T). Die Sternchen (*) bezeichnen die Bewegung eines unbeeinflußten Wasserteilchens auf dem Ruhewasserspiegel.

Fig. 4.13. Beispiel ST811, Wellenhöhe H = 10 cm, Wellenperiode T = 1,25 s

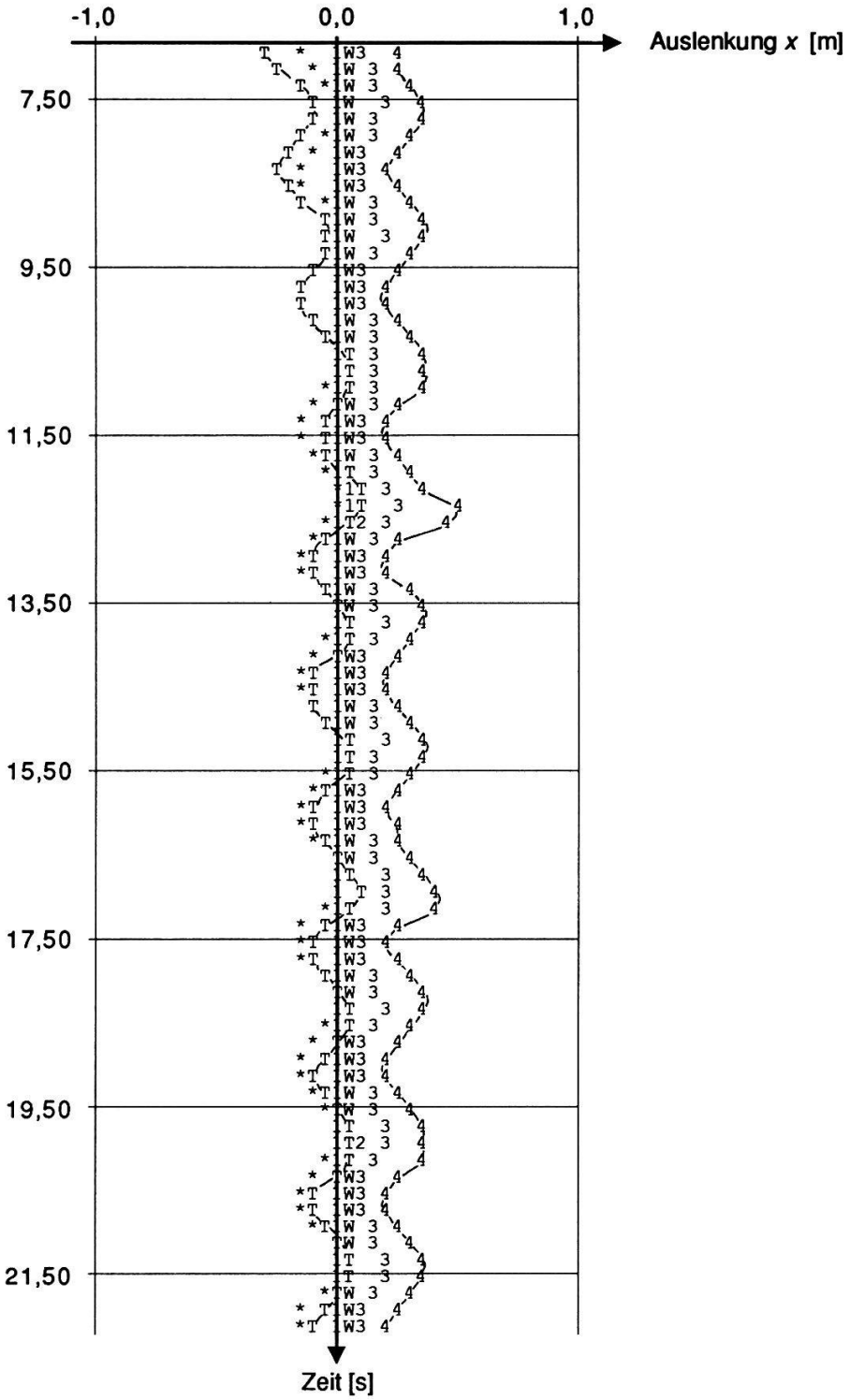


Fig. 4.14. Beispiel ST811, Wellenhöhe H = 15 cm, Wellenperiode T = 1,53 s.
Man beachte, wie das Treibzeug am Anfang den Halm noch nicht berührt; der erste fühlbare Kontakt zwischen Halm und Treibzeug erfolgt ungefähr zur Zeit t = 12 s und hat einen besonders starken Ausschlag zur Folge. (Dies gilt bei diesem Beispiel für alle Fälle mit einer Wellenhöhe von nicht mehr als 25 cm, d.h. auch für die Figuren 4.13., 4.15. und 4.16.
Generelle Legende s. Fig. 4.13.

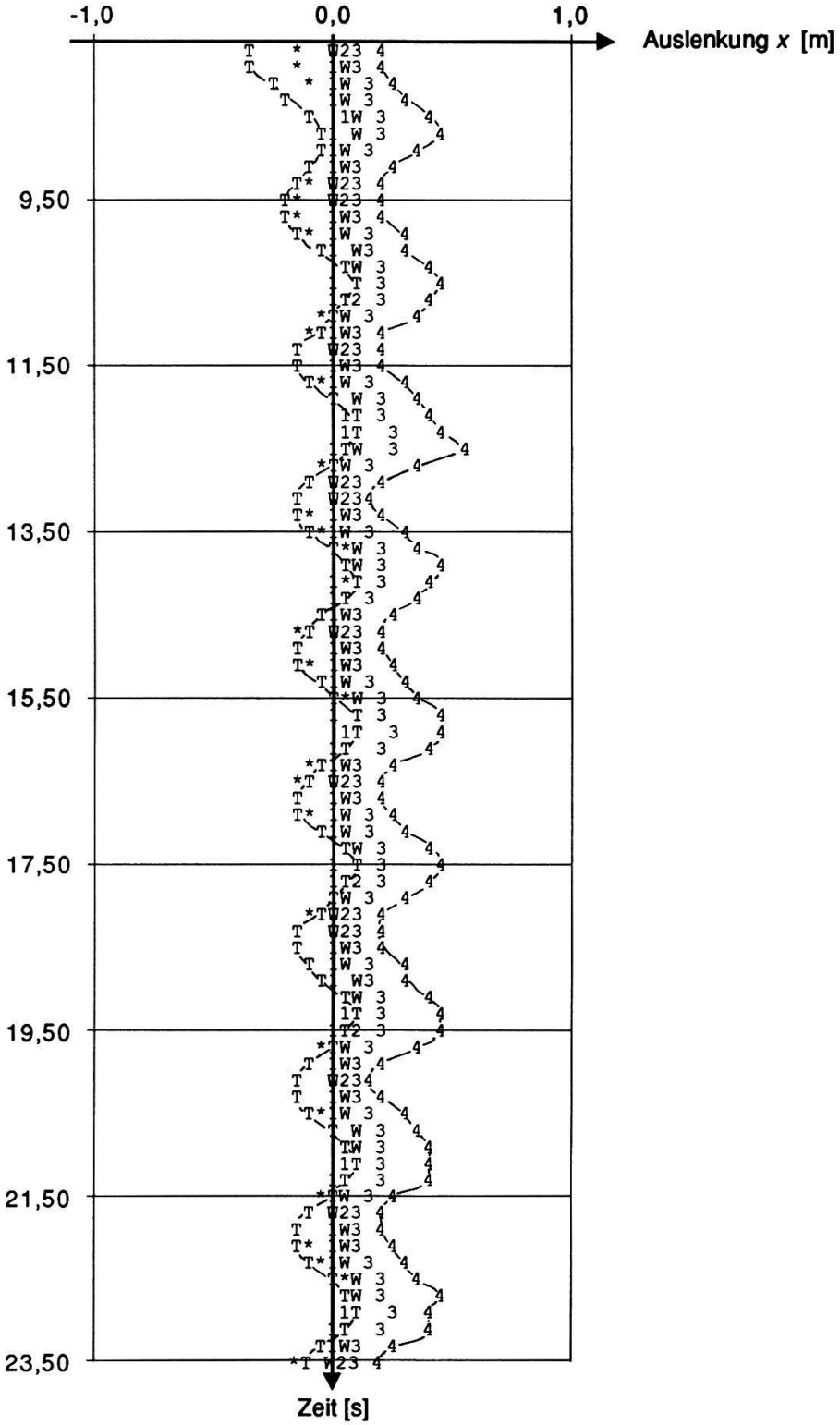


Fig. 4.15. Beispiel ST811, Wellenhöhe H = 20 cm, Wellenperiode T = 1,76 s. Generelle Legende s. Fig. 4.13.

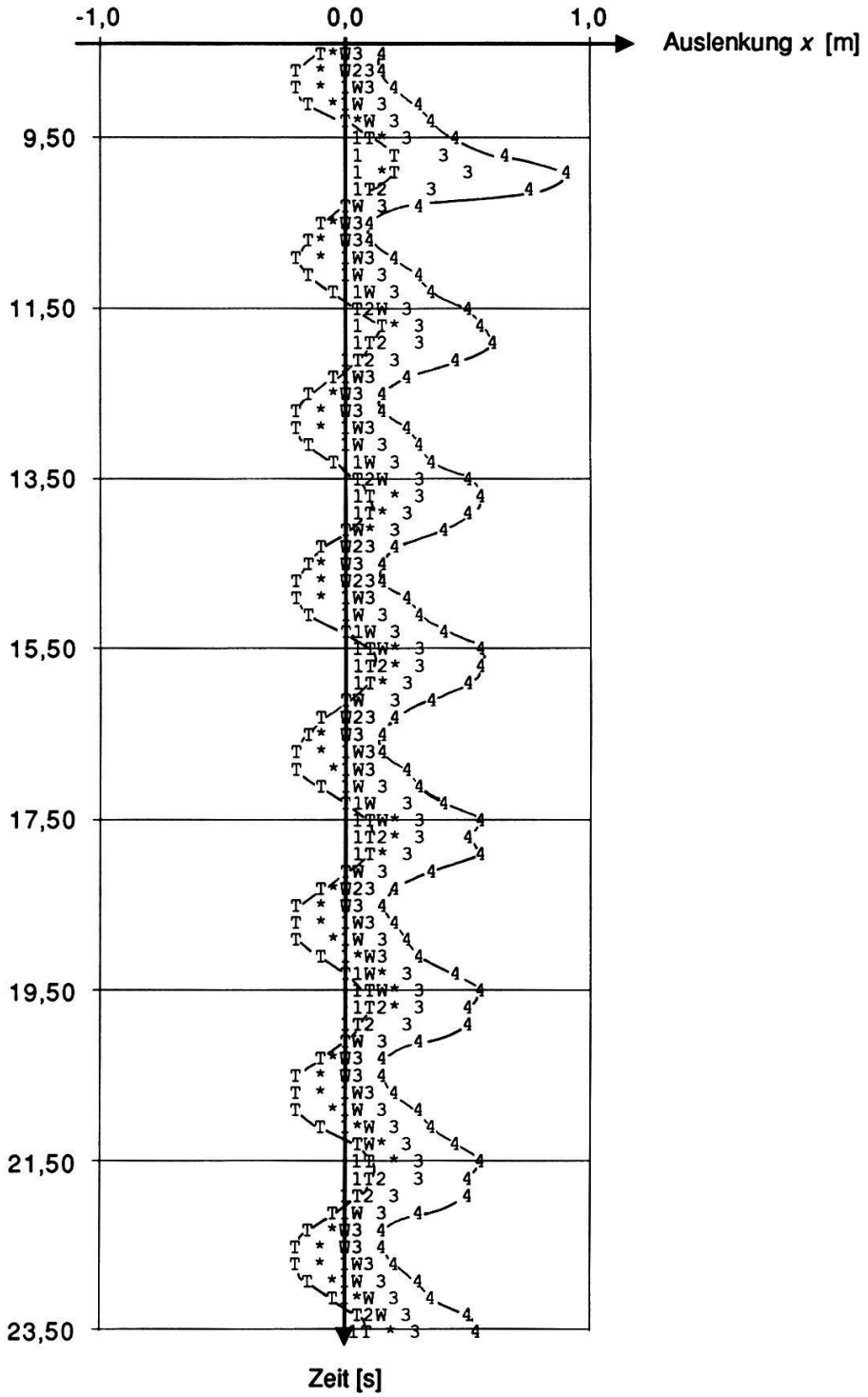


Fig. 4.16. Beispiel ST811, Wellenhöhe H = 25 cm, Wellenperiode T = 1,97 s. Generelle Legende s. Fig. 4.13.

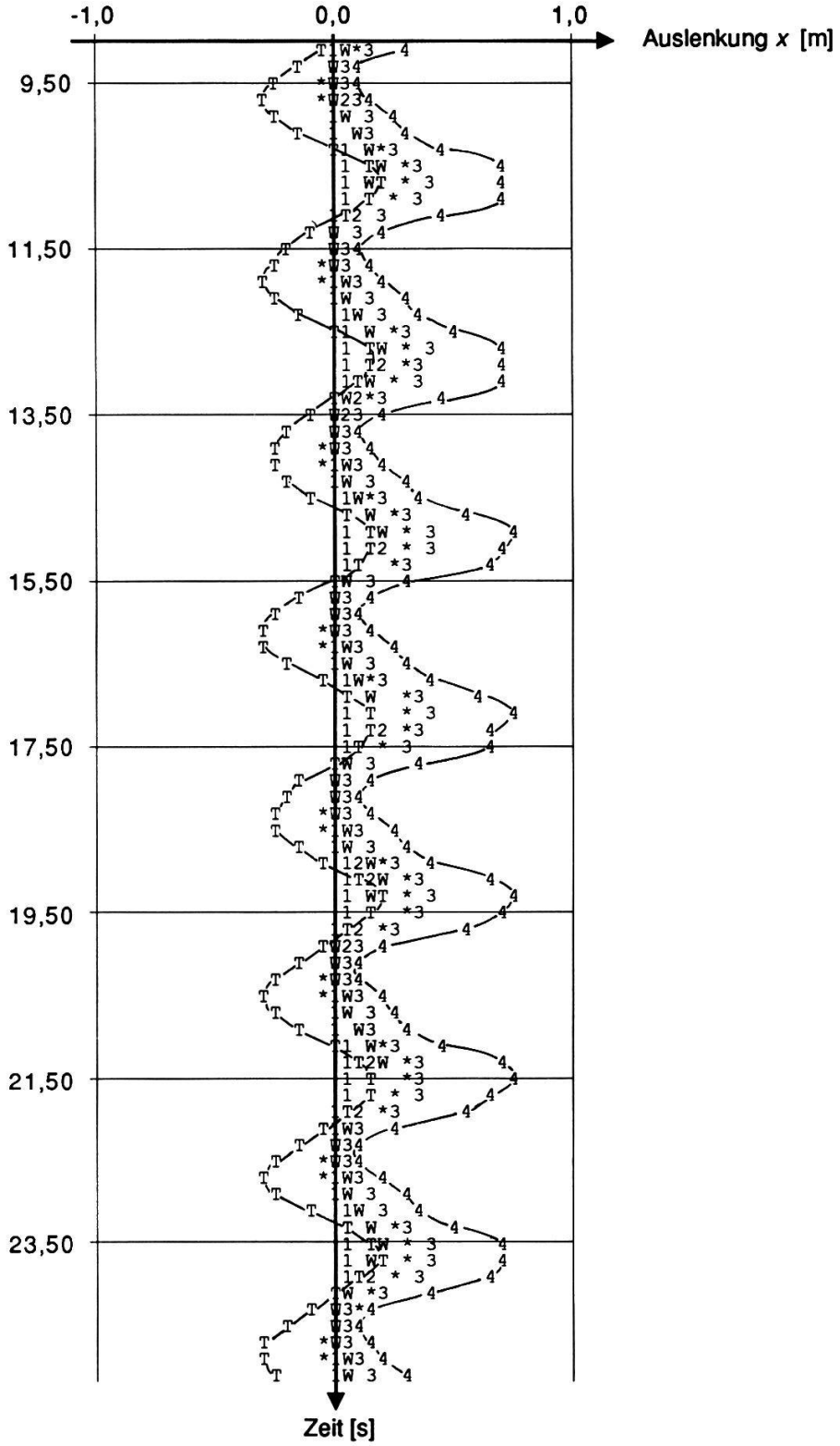


Fig. 4.17. Beispiel ST811, Wellenhöhe H = 30 cm, Wellenperiode T = 2,16 s. Generelle Legende s. Fig. 4.13.

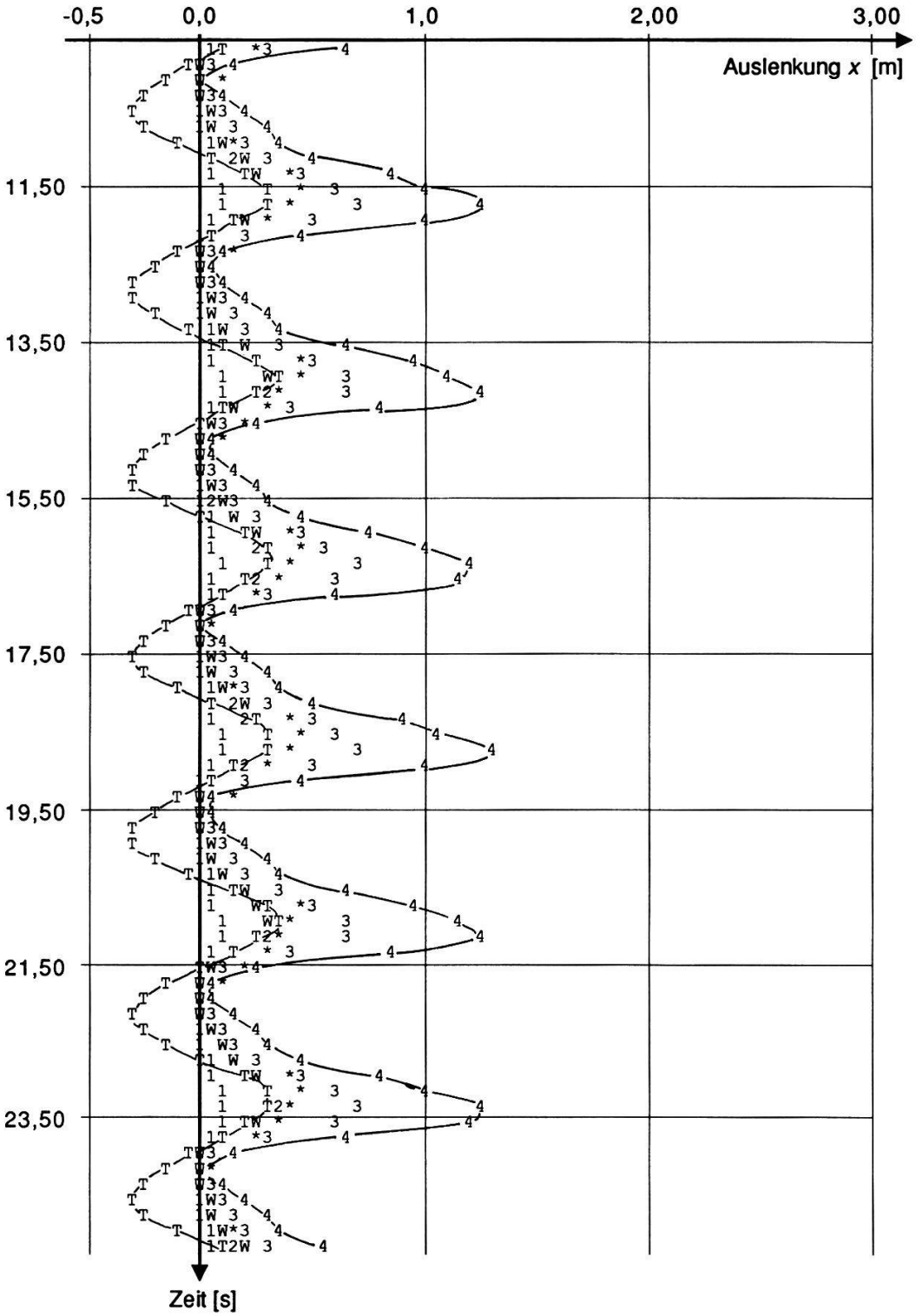


Fig. 4.18. Beispiel ST811, Wellenhöhe H = 35 cm, Wellenperiode T = 2,33 s. Generelle Legende s. Fig. 4.13.

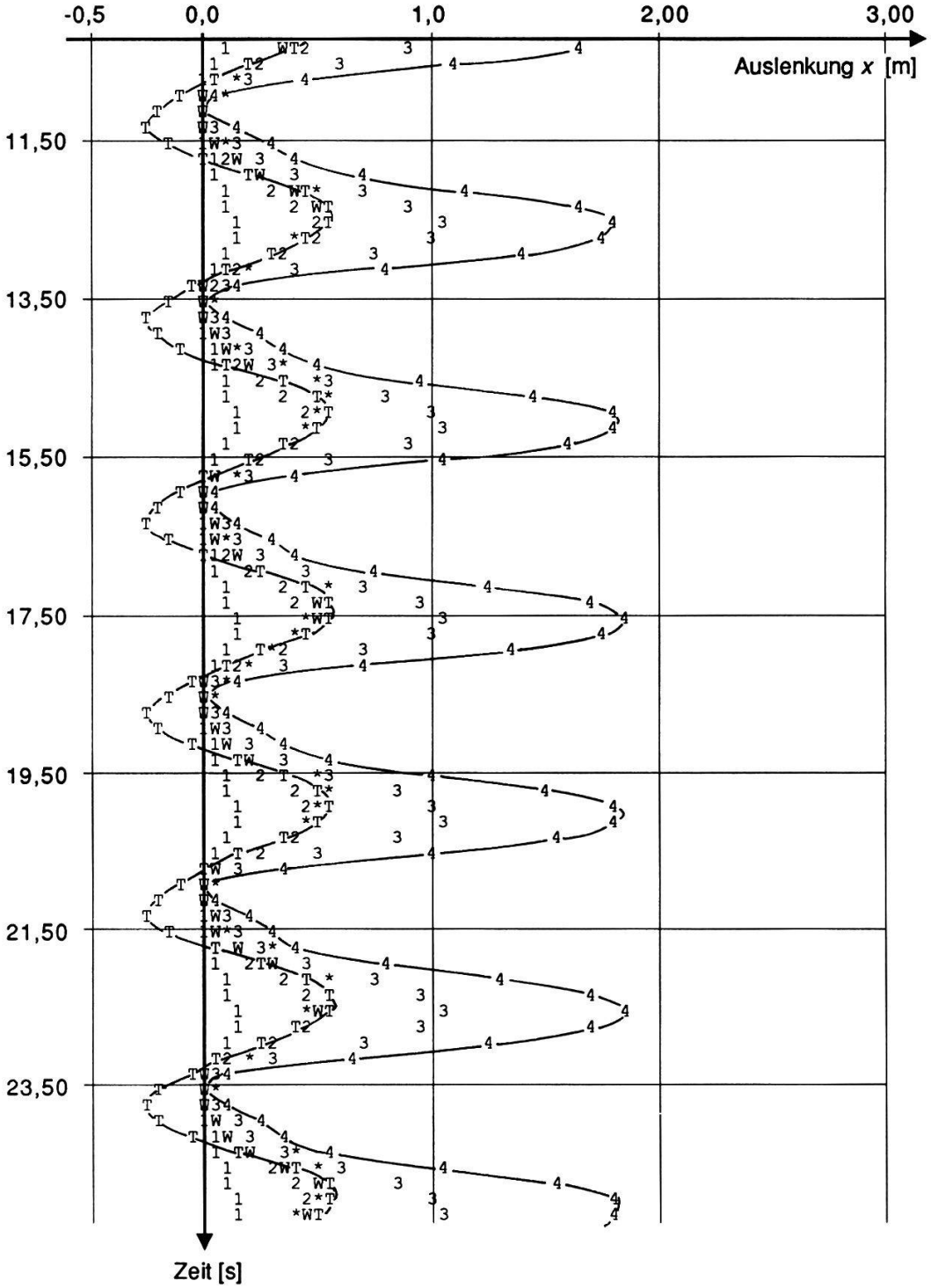


Fig. 4.19. Beispiel ST811, Wellenhöhe H = 40 cm, Wellenperiode T = 2,49 s. Generelle Legende s. Fig. 4.13.

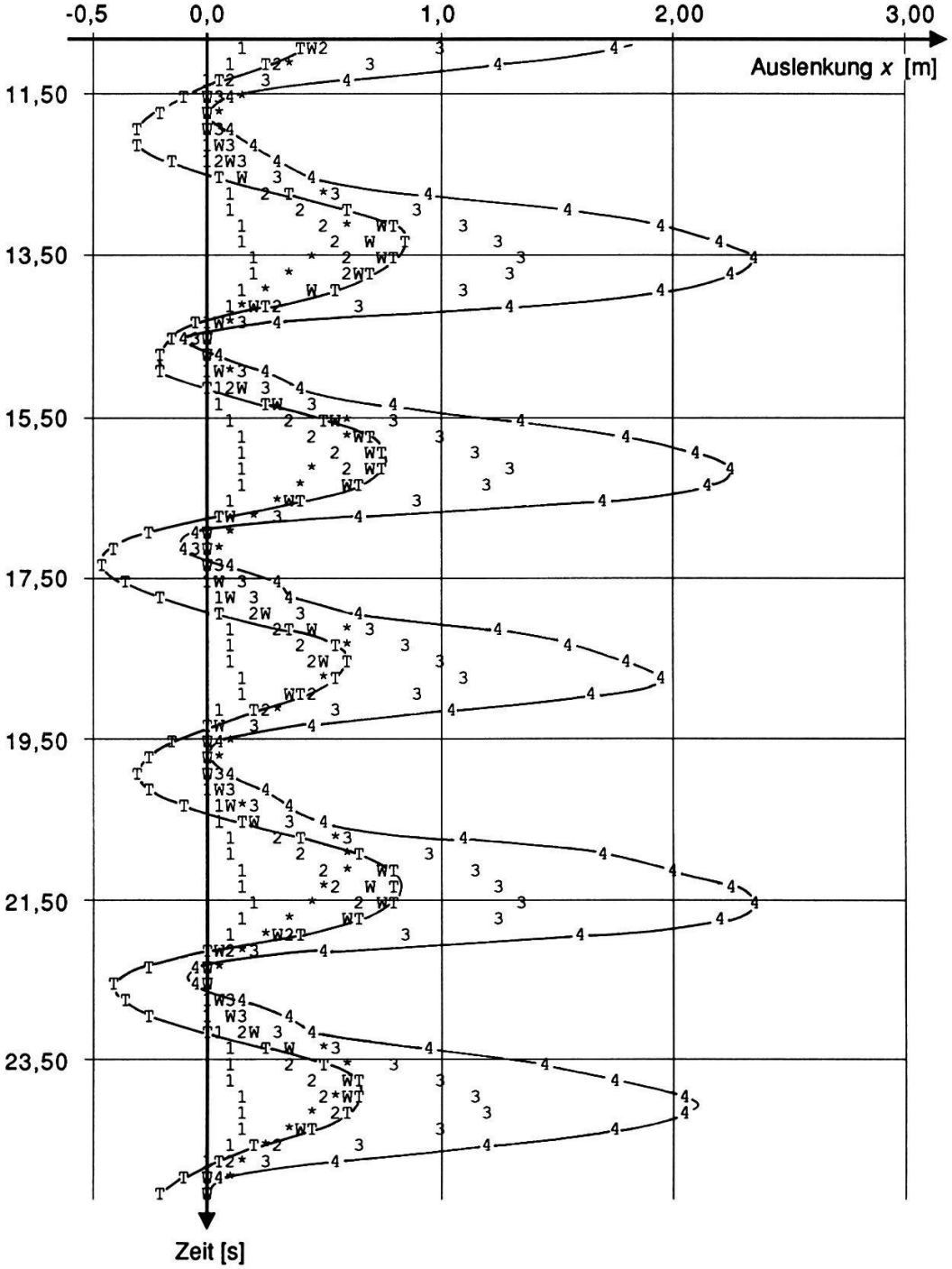


Fig. 4.20. Beispiel ST811, Wellenhöhe H = 45 cm, Wellenperiode T = 2,65 s. Generelle Legende s. Fig. 4.13.

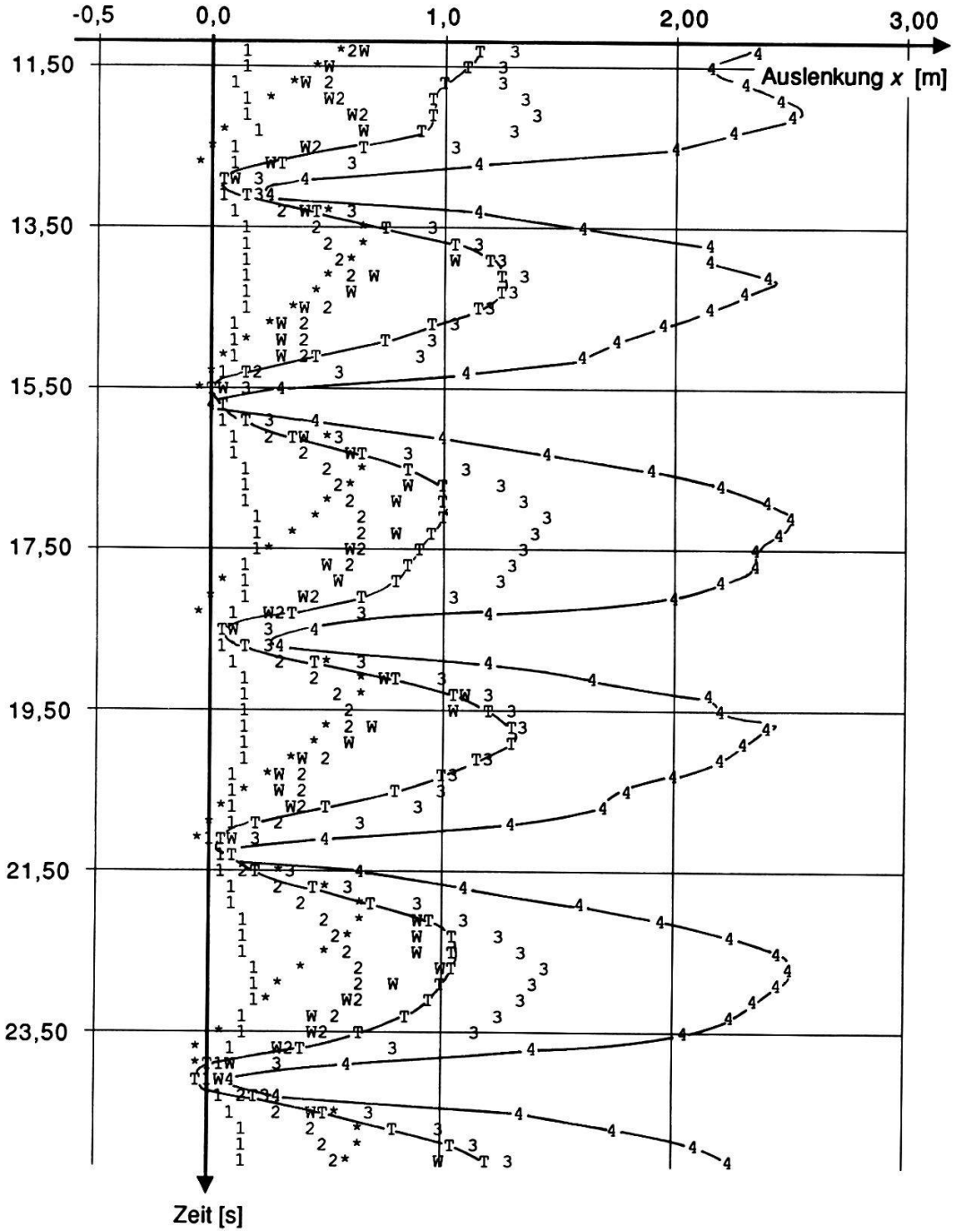


Fig. 4.21. Beispiel ST811, Wellenhöhe H = 50 cm, Wellenperiode T = 2,79 s. Generelle Legende s. Fig. 4.13.

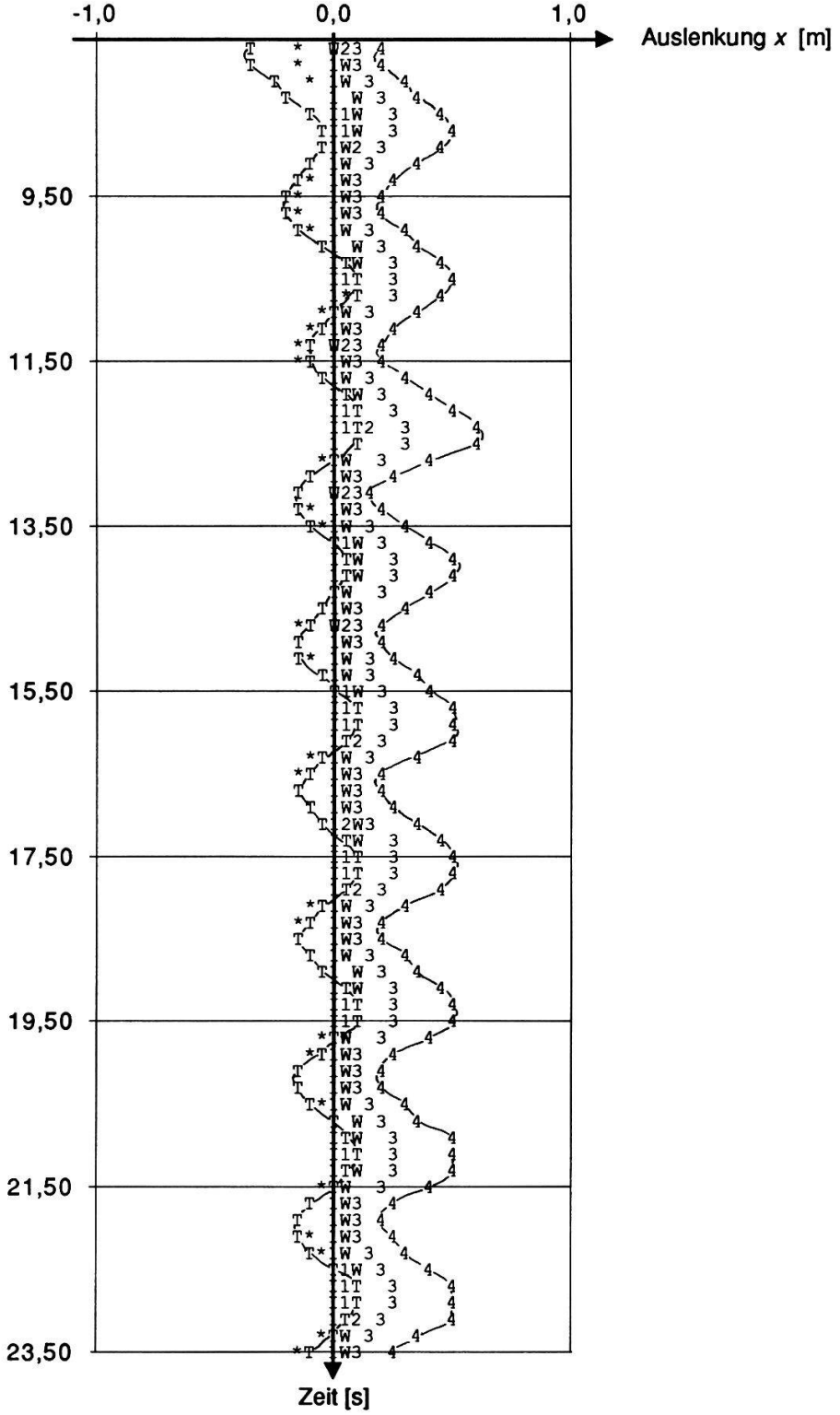


Fig. 4.22. Beispiel ST711, Wellenhöhe H = 20 cm, Wellenperiode T = 1,76 s. Generelle Legende s. Fig. 4.13.

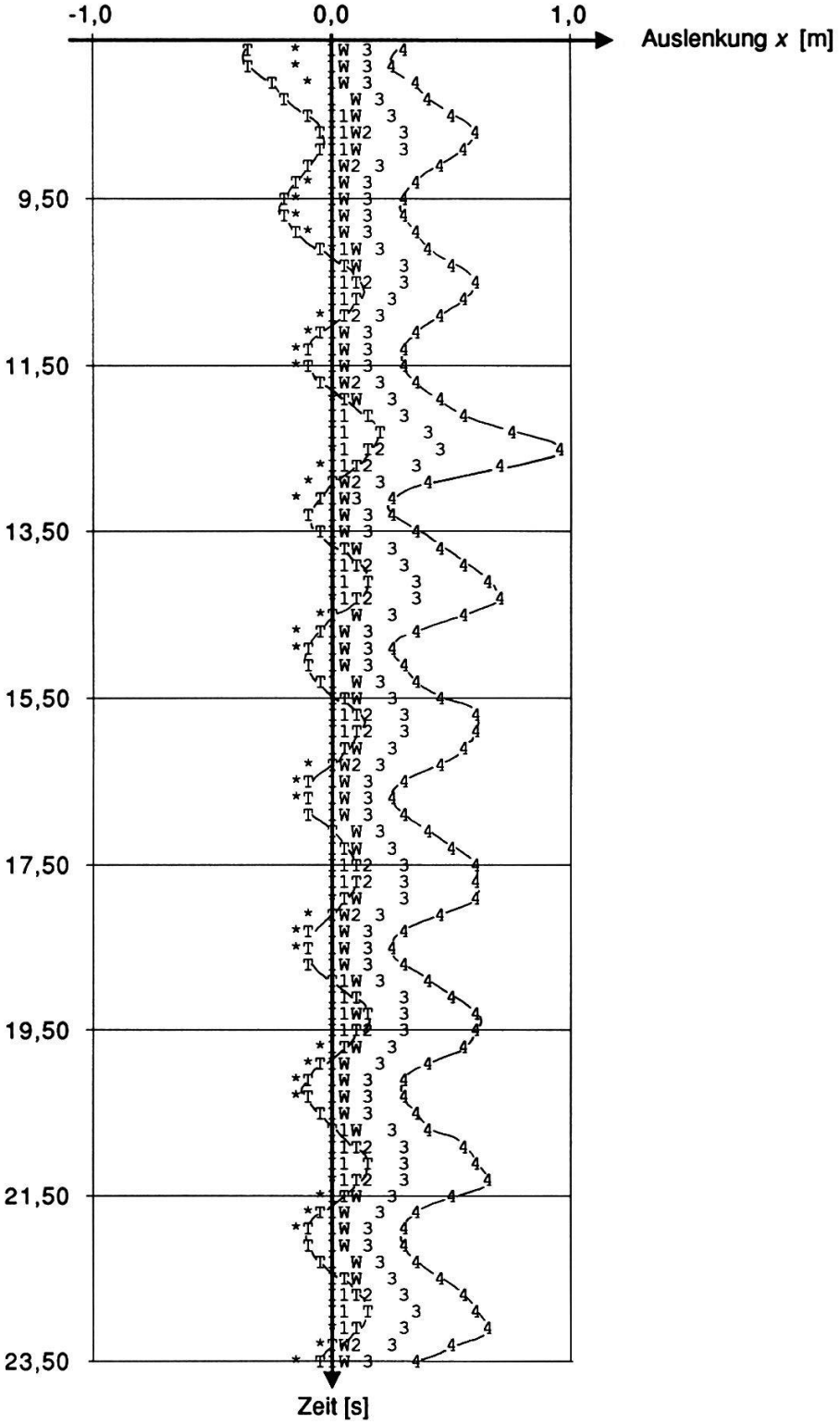


Fig. 4.23. Beispiel ST731, Wellenhöhe H = 20 cm, Wellenperiode T = 1,76 s.
Die gegenüber dem Beispiel ST711 (Fläche 1.2) weicheren Halme der Fläche 4.3 vollführen unter den gleichen äußeren Einwirkungen größere Bewegungen, die daraus resultierenden Beanspruchungen (Biegemoment) sind aber trotzdem kleiner (vgl. Tab. 4.4.)
Generelle Legende s. Fig. 4.13.

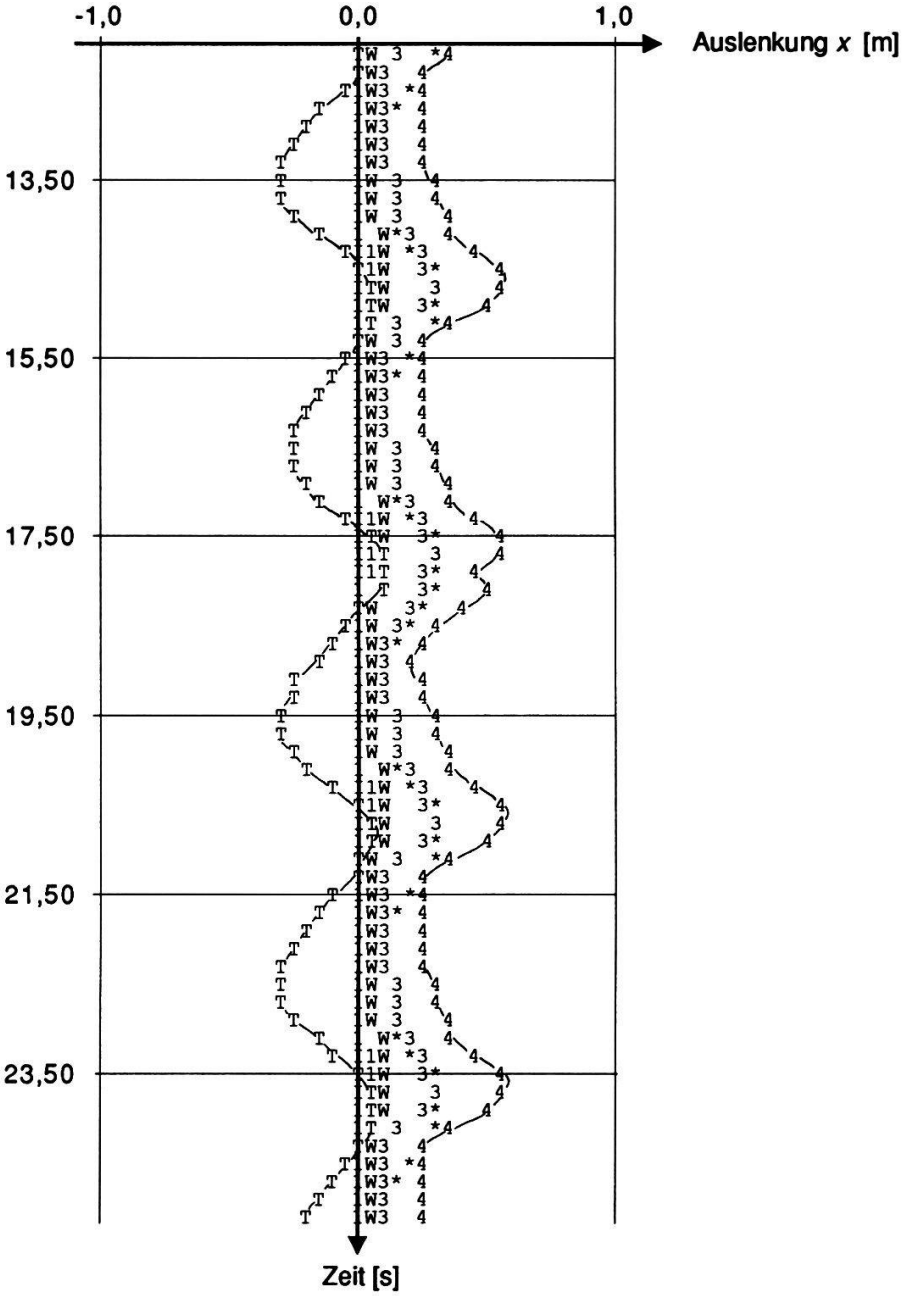


Fig. 4.24. Beispiel ST721, Wellenhöhe H = 20 cm, Wellenperiode T = 3,0 s.
Obwohl die Wellen der Figuren 4.24. und 4.4.25. mit T = 3 s fast doppelt so lange Perioden haben wie jene der Fig. 4.22. und 4.23., sind die Ausschläge fast gleich groß.
Generelle Legende s. Fig. 4.13.

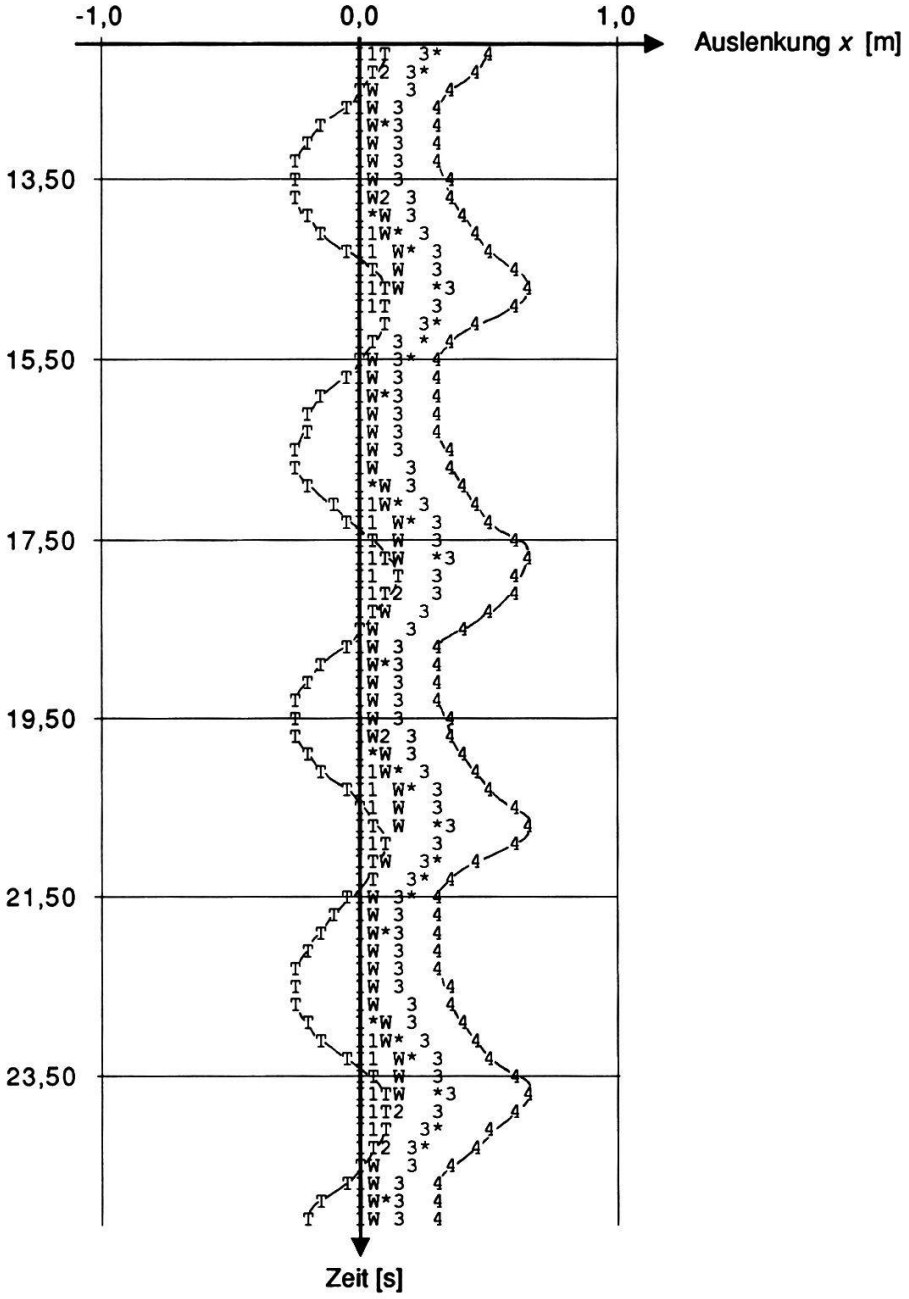


Fig. 4.25. Beispiel ST741, Wellenhöhe H = 20 cm, Wellenperiode T = 3,0 s.
Obwohl die Wellen der Figuren 4.24. und 4.25. mit T = 3 s fast doppelt so lange Perioden haben wie jene der Fig. 4.22. und 4.23., sind die Ausschläge fast gleich groß.
Generelle Legende s. Fig. 4.13.

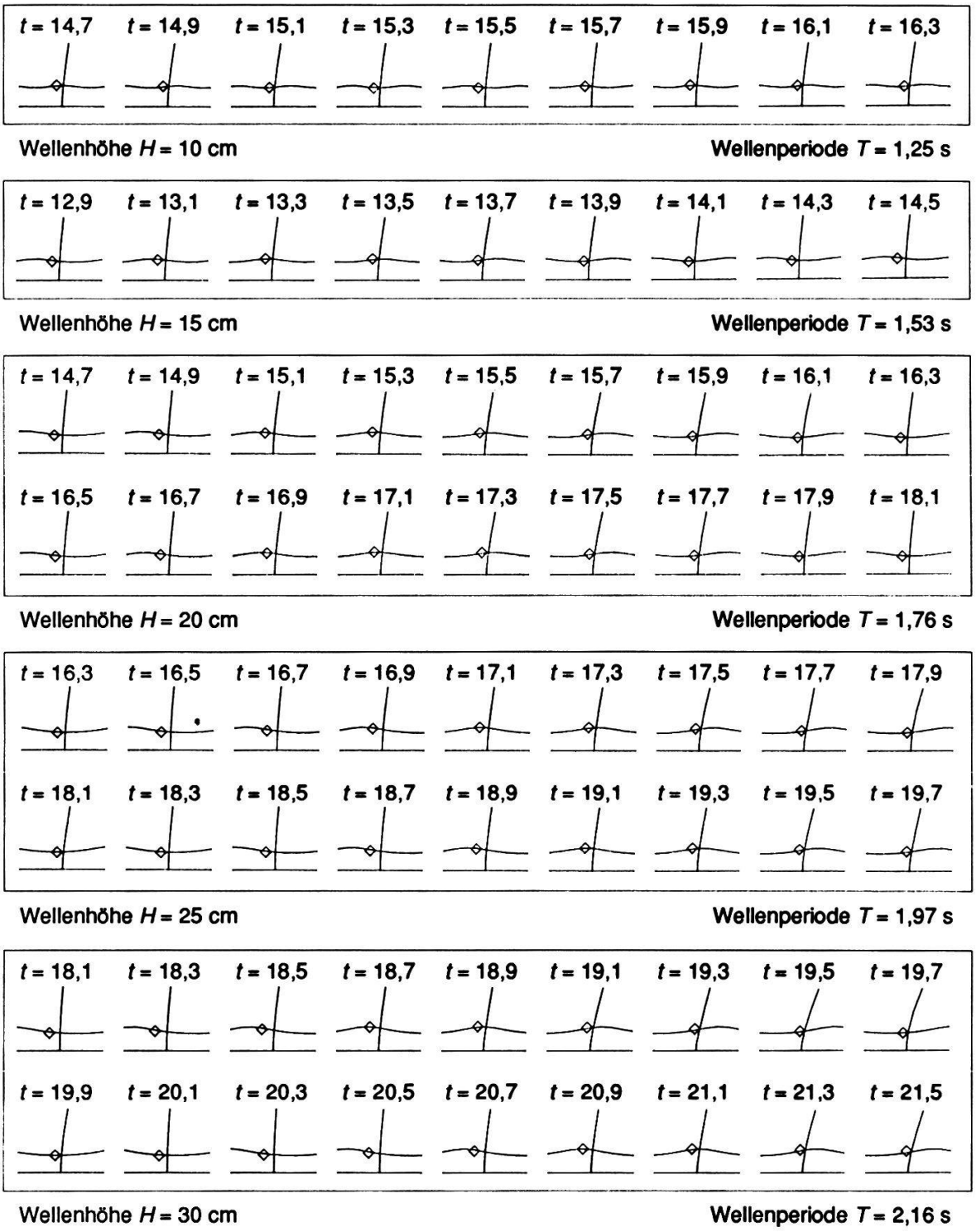
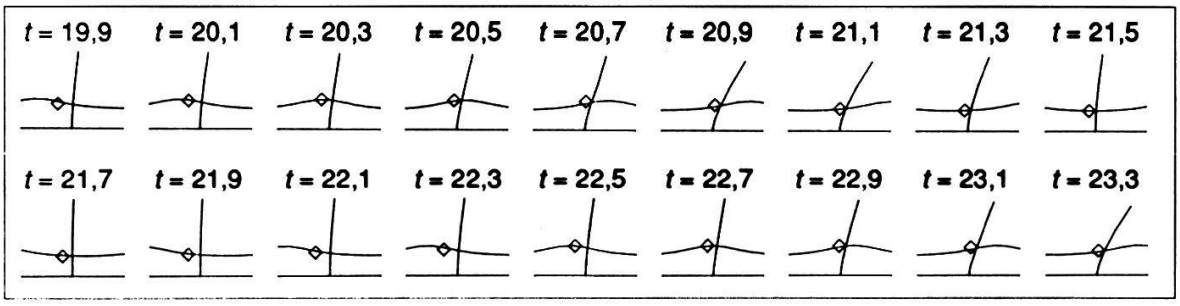
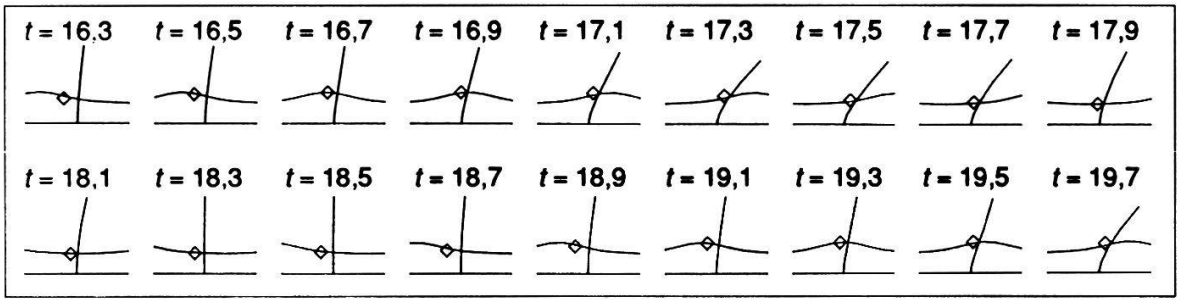


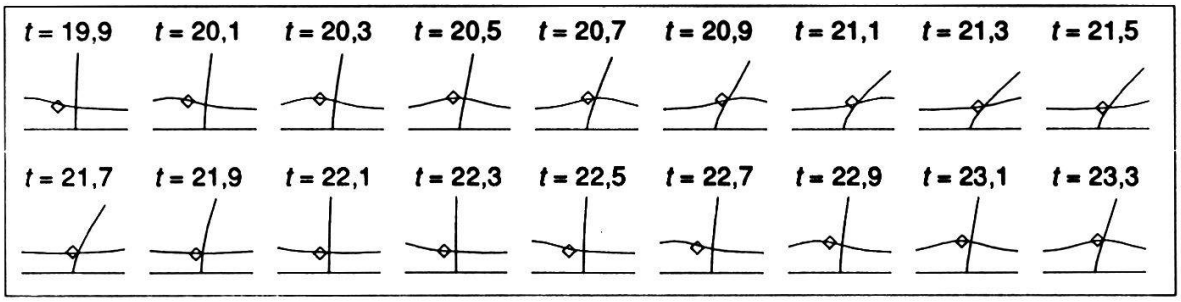
Fig. 4.26. Darstellung der berechneten Halmschwingung in Seitenansicht (entsprechend der Definitionsskizze in Fig. 4.13.) Als Beispiel wurde die gleiche Serie gewählt wie in den Figuren 4.13. - 4.21. (Beispiel ST811). Durch senkrechte gestrichelte Linien sind Zeiträume von ungefähr einer Wellenperiode abgegrenzt.



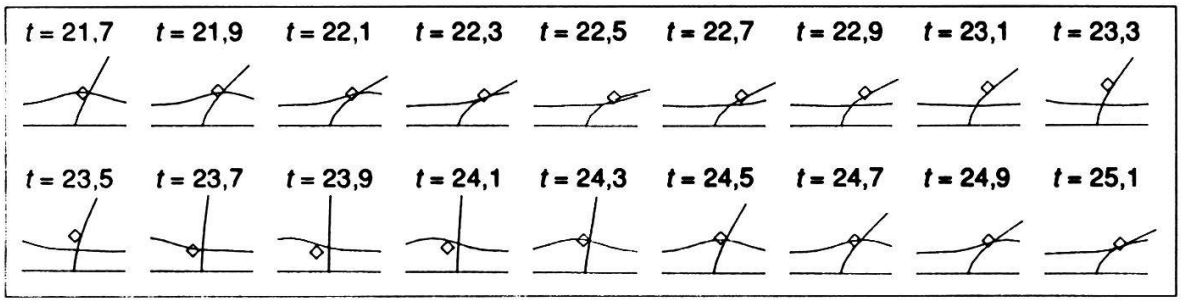
Wellenhöhe H = 35 cm Wellenperiode T = 2,33 s



Wellenhöhe H = 40 cm Wellenperiode T = 2,49 s



Wellenhöhe H = 45 cm Wellenperiode T = 2,65 s



Wellenhöhe H = 50 cm Wellenperiode T = 2,79 s

Fig. 4.26. (Fortsetzung)

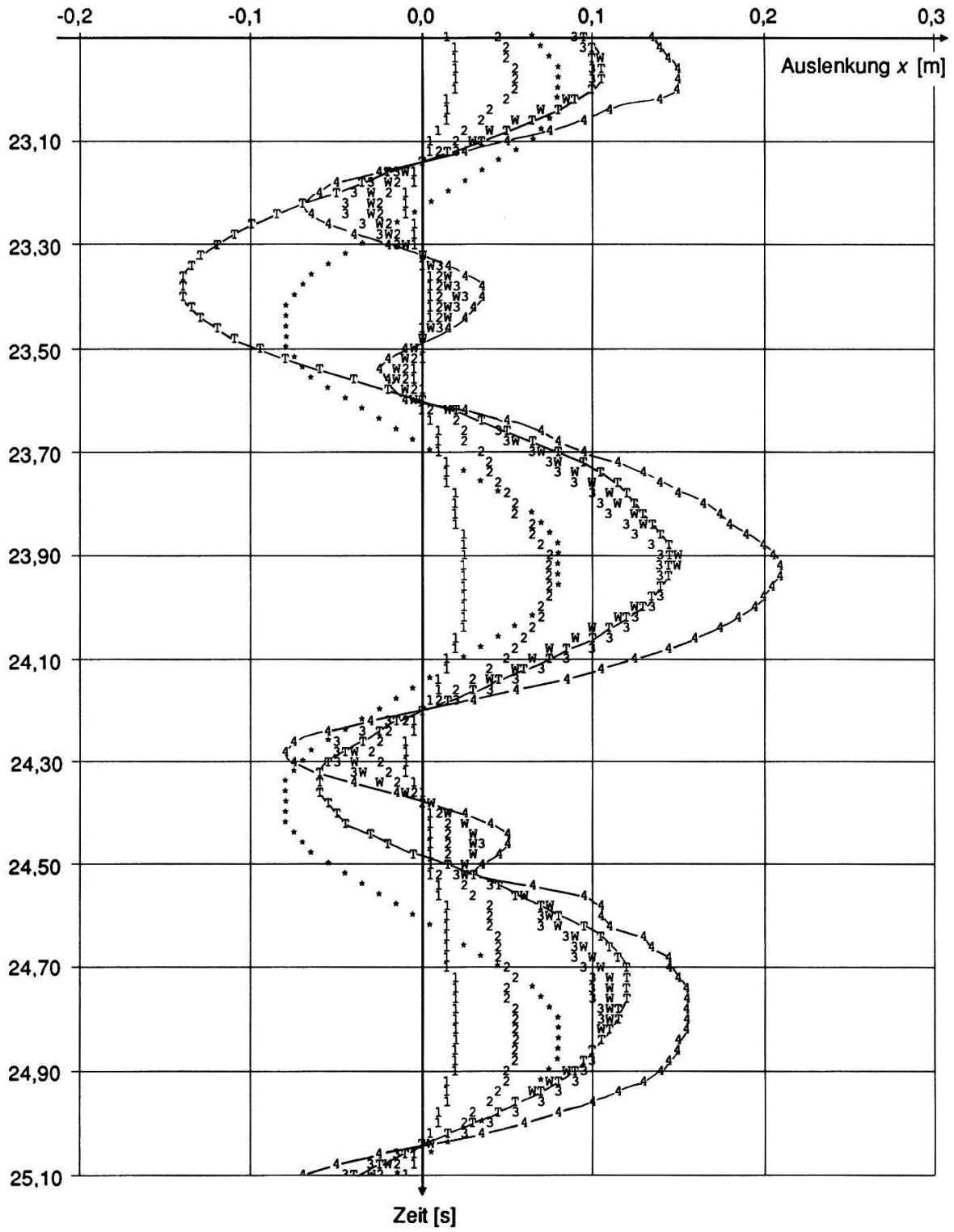


Fig. 4.27. Nachgerechnete Schwingung von Plastikstäben unter der Einwirkung von Wellen und Treibholz (Modellversuche an der Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH, vgl. Kap. 3.3.4.). Die verschiedenen Schwingungsbilder in dieser und den 5 folgenden Figuren resultieren aus der Änderung des jeweils angenommenen Massenkoeffizienten G_m. Der Schubkoeffizient G_d ist bei allen sechs Bildern gleich 1,25, die Masse des Treibholzes beträgt 5,99 kg, die Wellenhöhe H ist 16 cm, die Wellenperiode $T = 0{,}92$ s. $G_m = 1{,}0$.
Die Darstellungsart entspricht den Figuren 4.13. - 4.25..

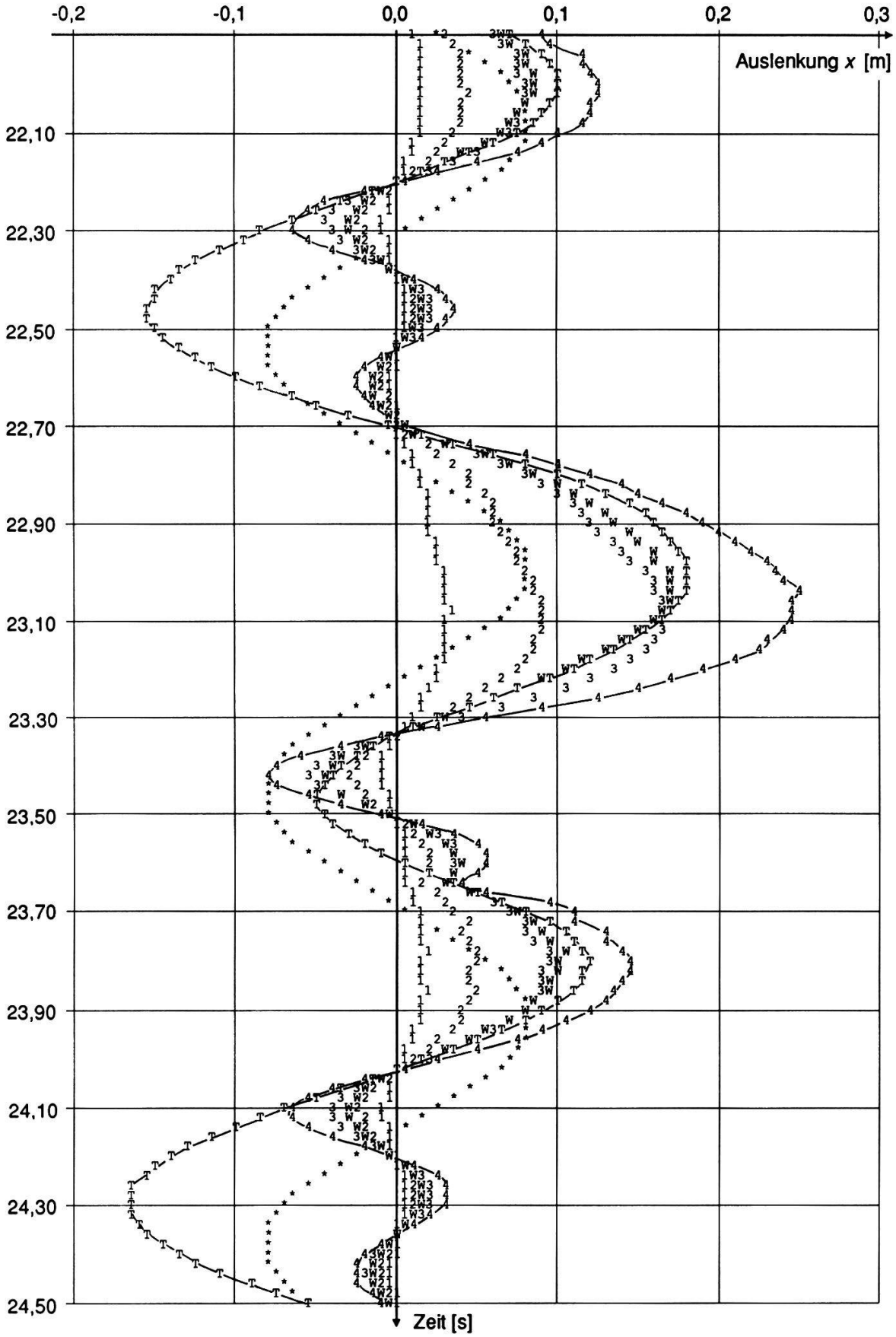


Fig. 4.28. Wie Fig. 4.27.; $G_m = 1{,}25$.

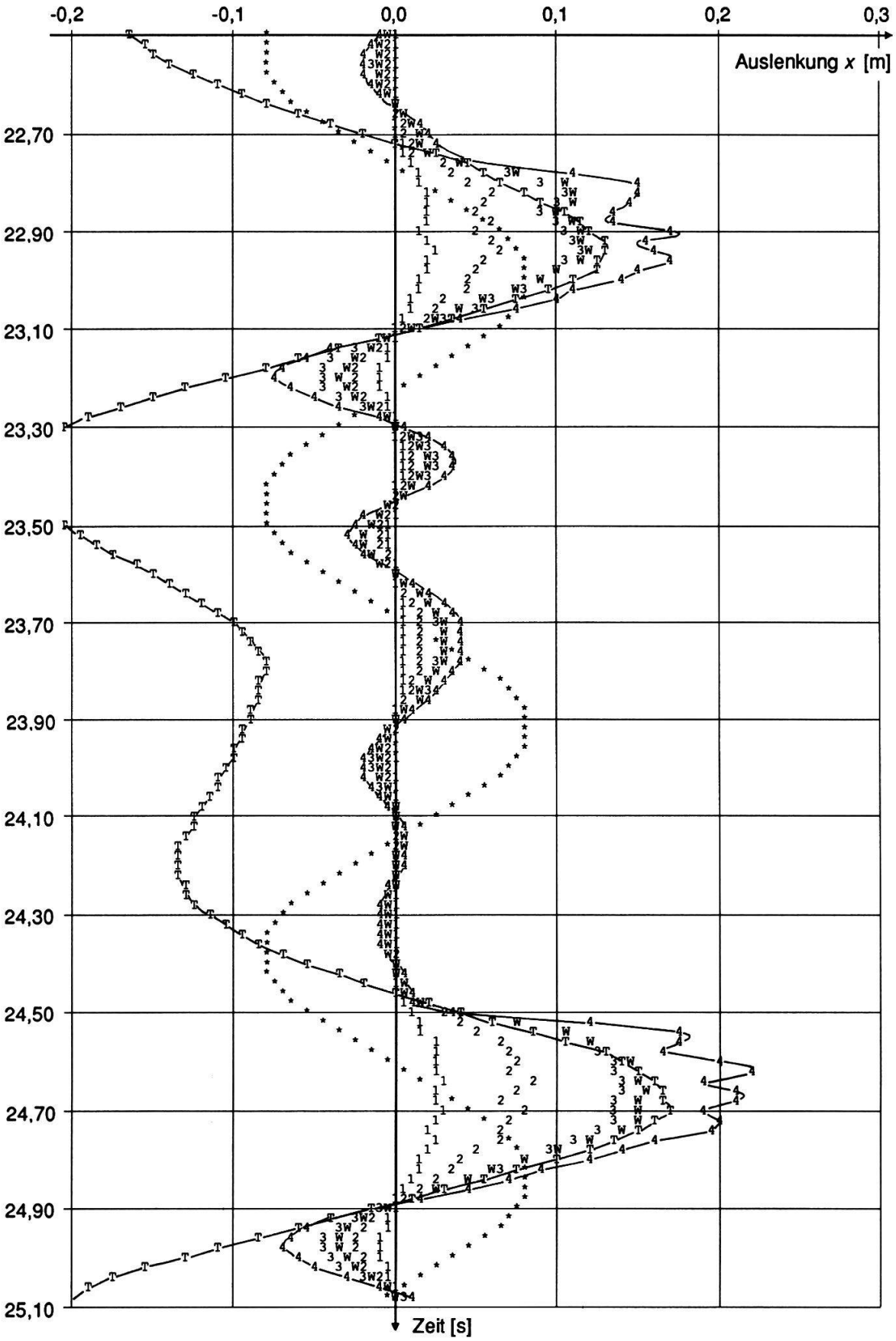


Fig. 4.29. Wie Fig. 4.27.; $G_m = 1{,}5$.

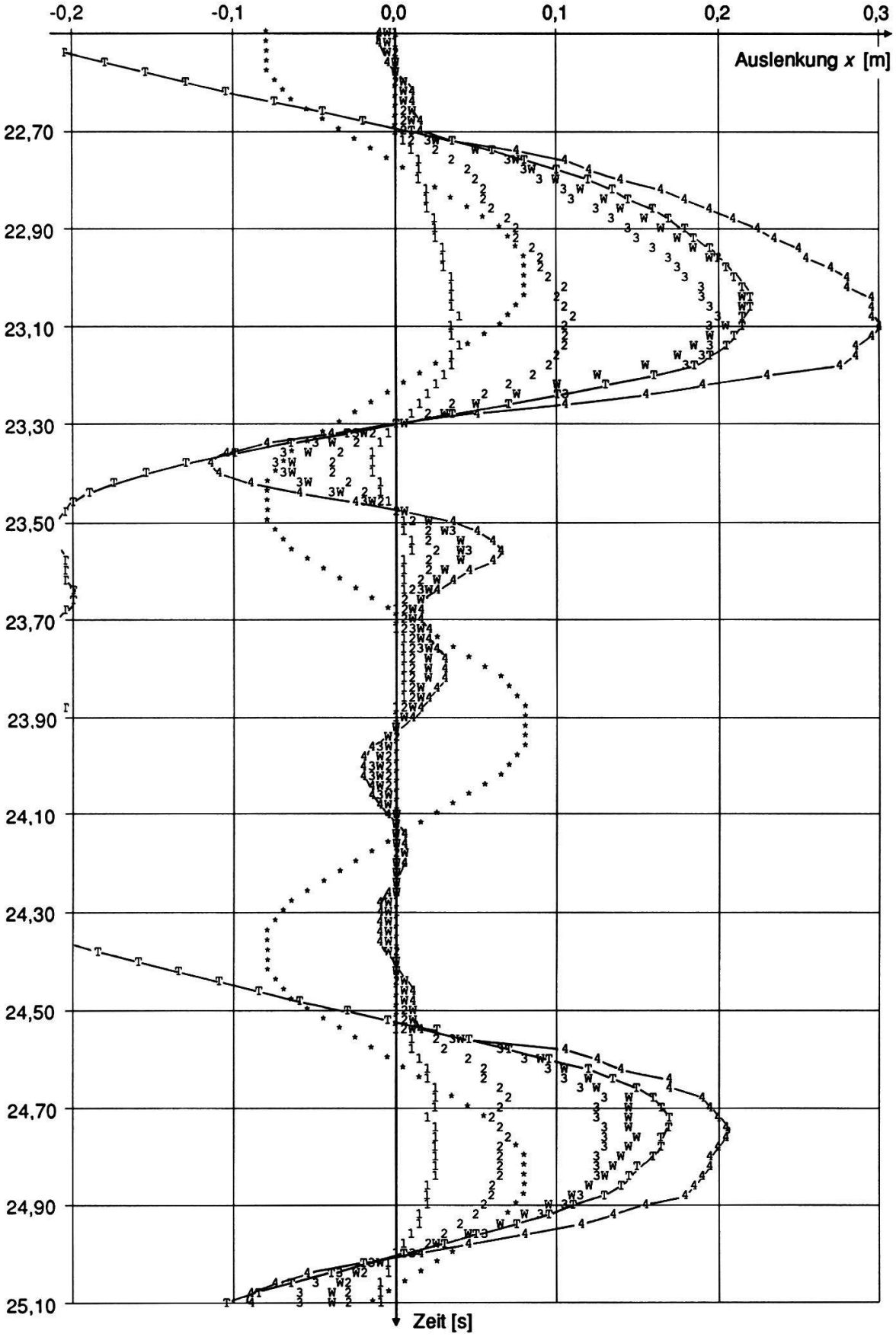


Fig. 4.30. Wie Fig. 4.27.; $G_m = 1{,}75$.

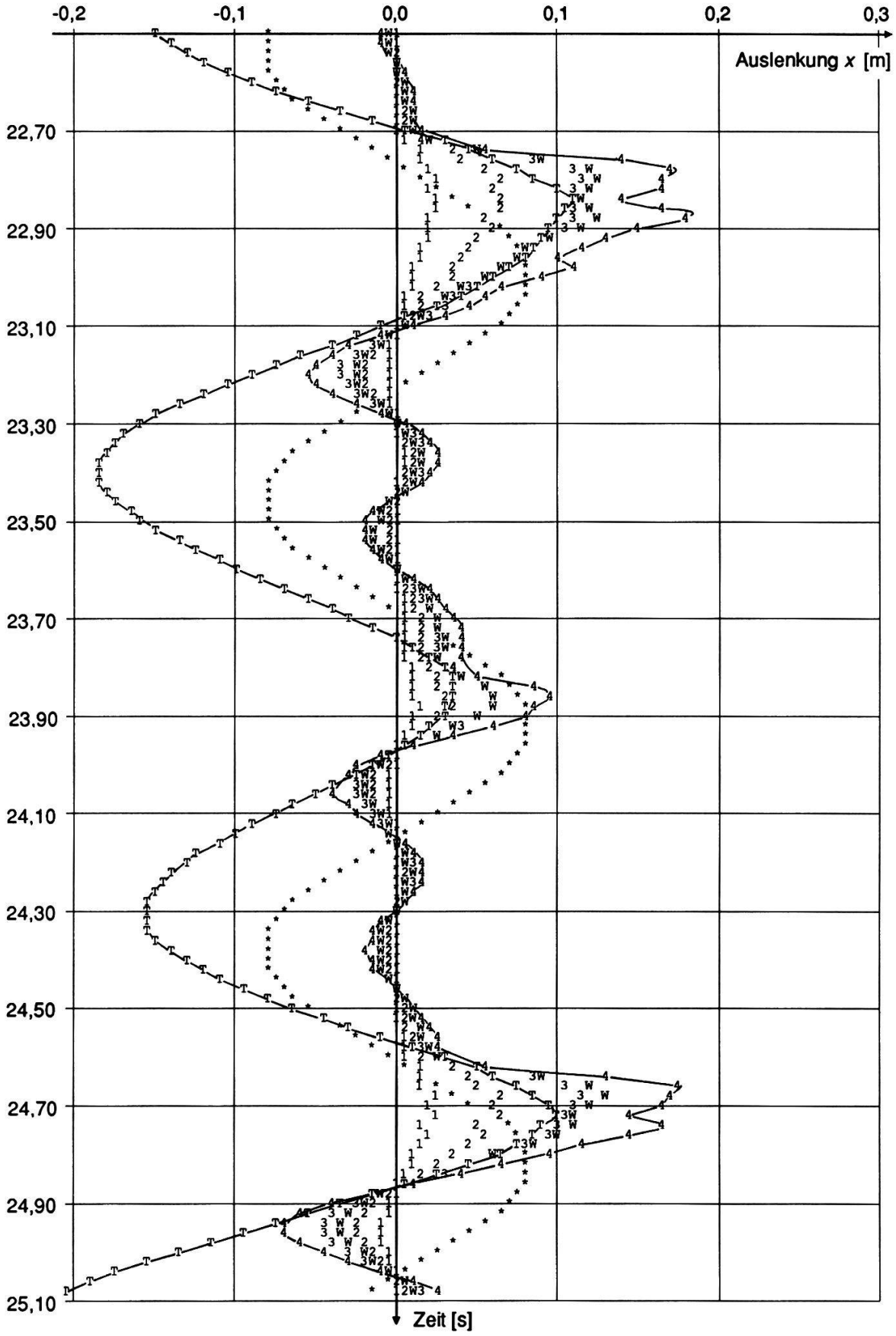


Fig. 4.31. Wie Fig. 4.27.; $G_m = 2{,}0$.

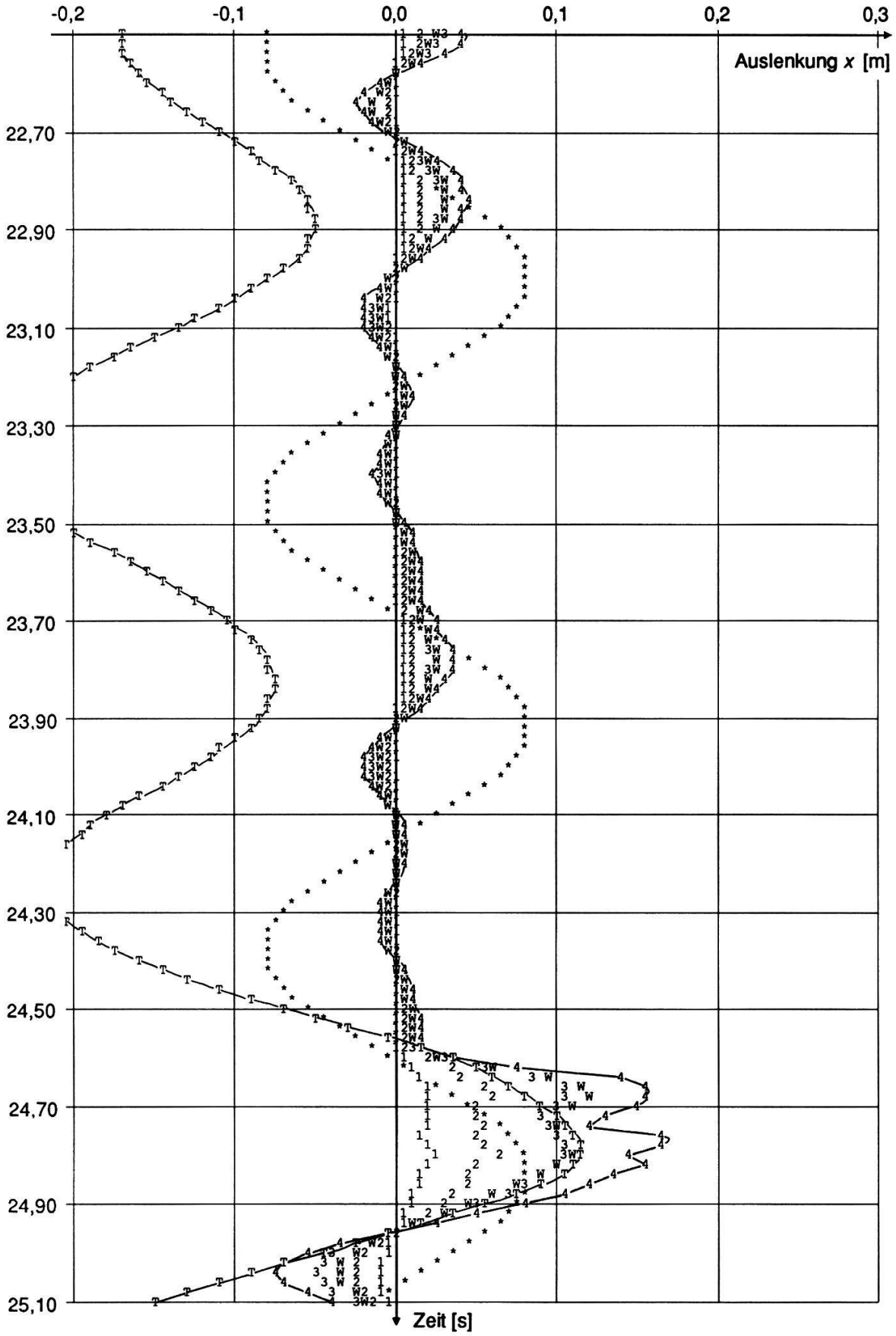
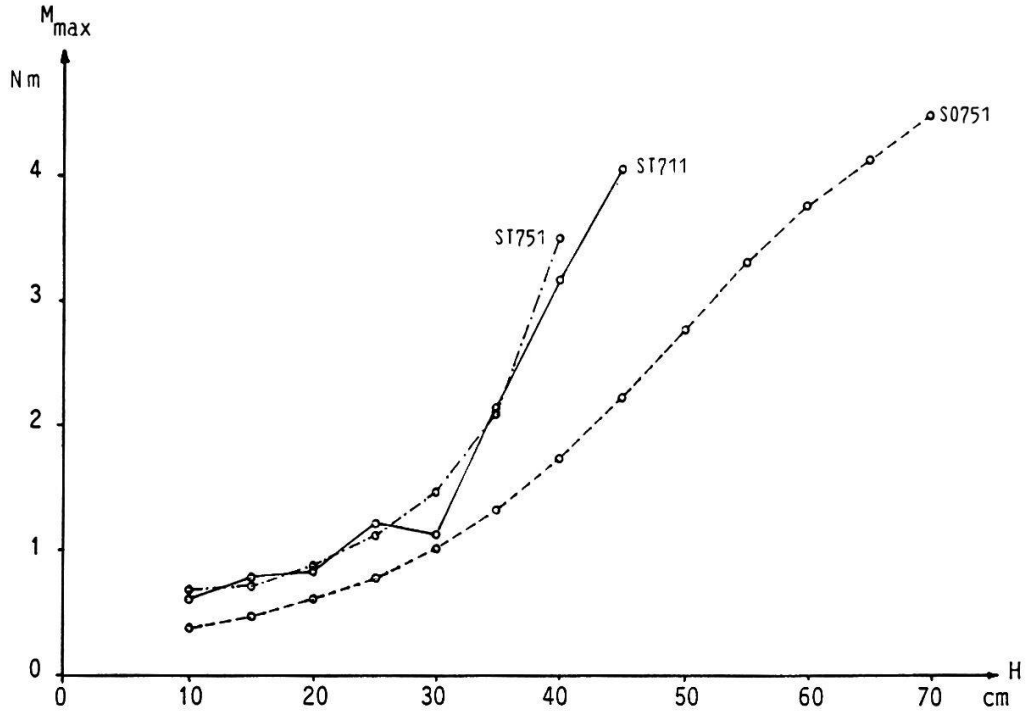


Fig. 4.32. Wie Fig. 4.27.; G_m =2,5.



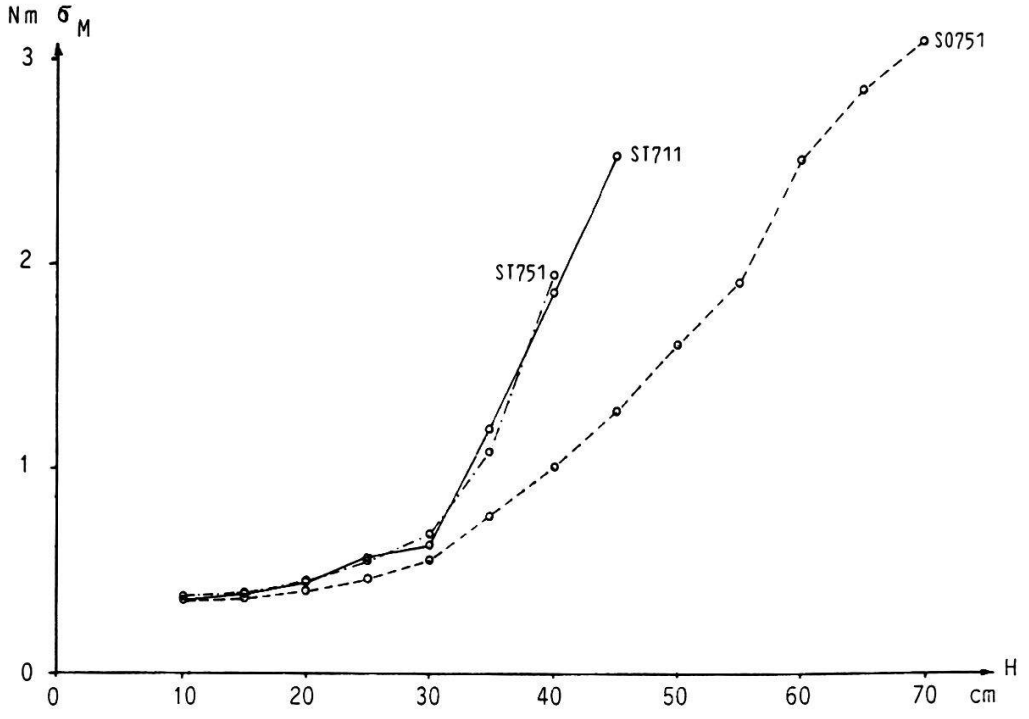
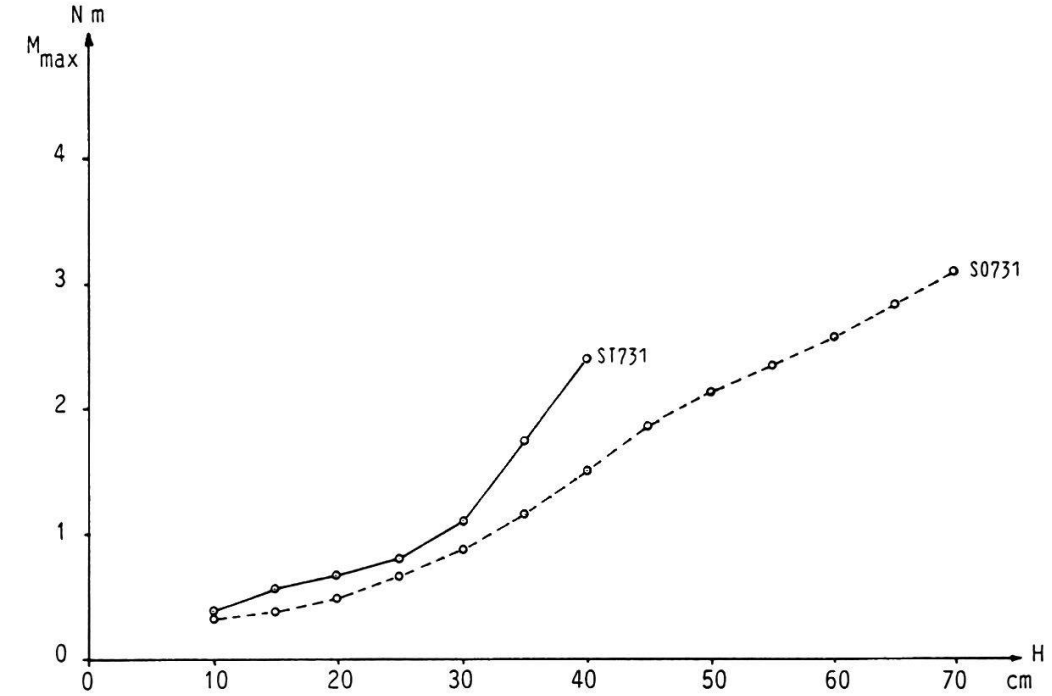


Fig. 4.33. Berechnetes Biegemoment im Fußpunkt der Schilfhalme in Abhängigkeit von der Wellenhöhe H aus den im Text besprochenen Beispielen.
Einfluß des Treibzeugs. Halme vom 27. 6. aus der Fläche 1.2 .
------- (SO751): Ohne Treibzeug
——— (ST711): Mit Treibholz von 6 kg Masse
-·-·-·- (ST751): Mit Treibholz von 12 kg Masse
Oben: Maximalwert M_{max} der Rechnungsperiode Unten: Quadratisches Mittel σ_M



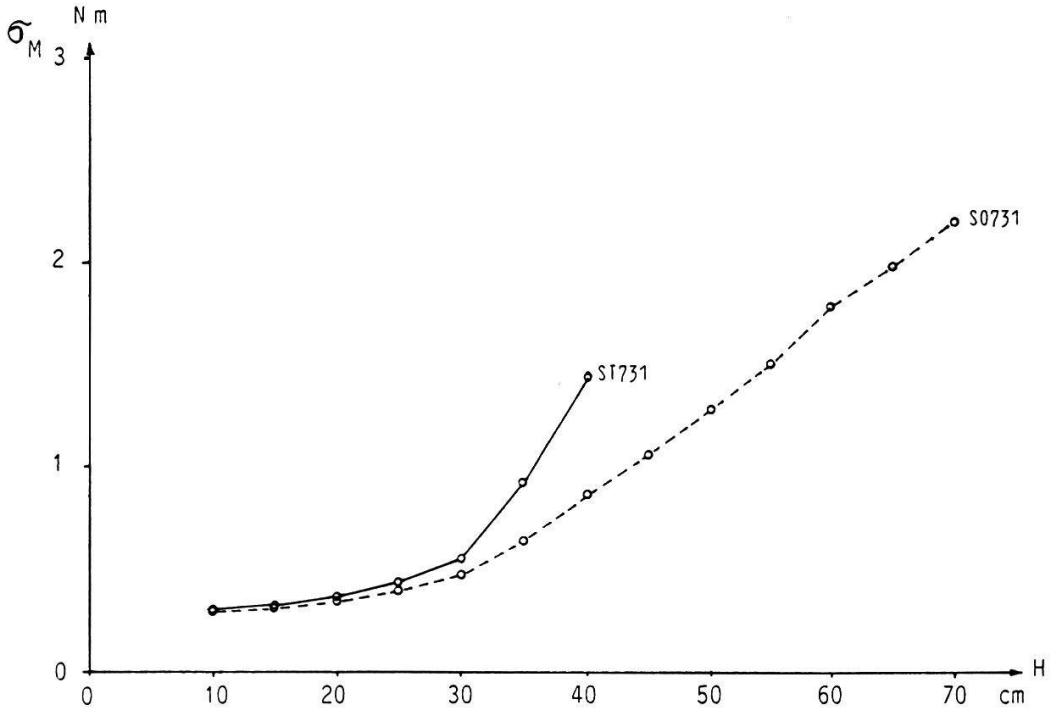


Fig. 4.34. Wie Fig. 4.33.:
Einfluß des (fehlenden) Treibzeugs. Halme vom 27.6. aus der Fläche 4.3 .
------- (SO731): Ohne Treibzeug
——— (ST731): Treibholz von 6 kg Masse

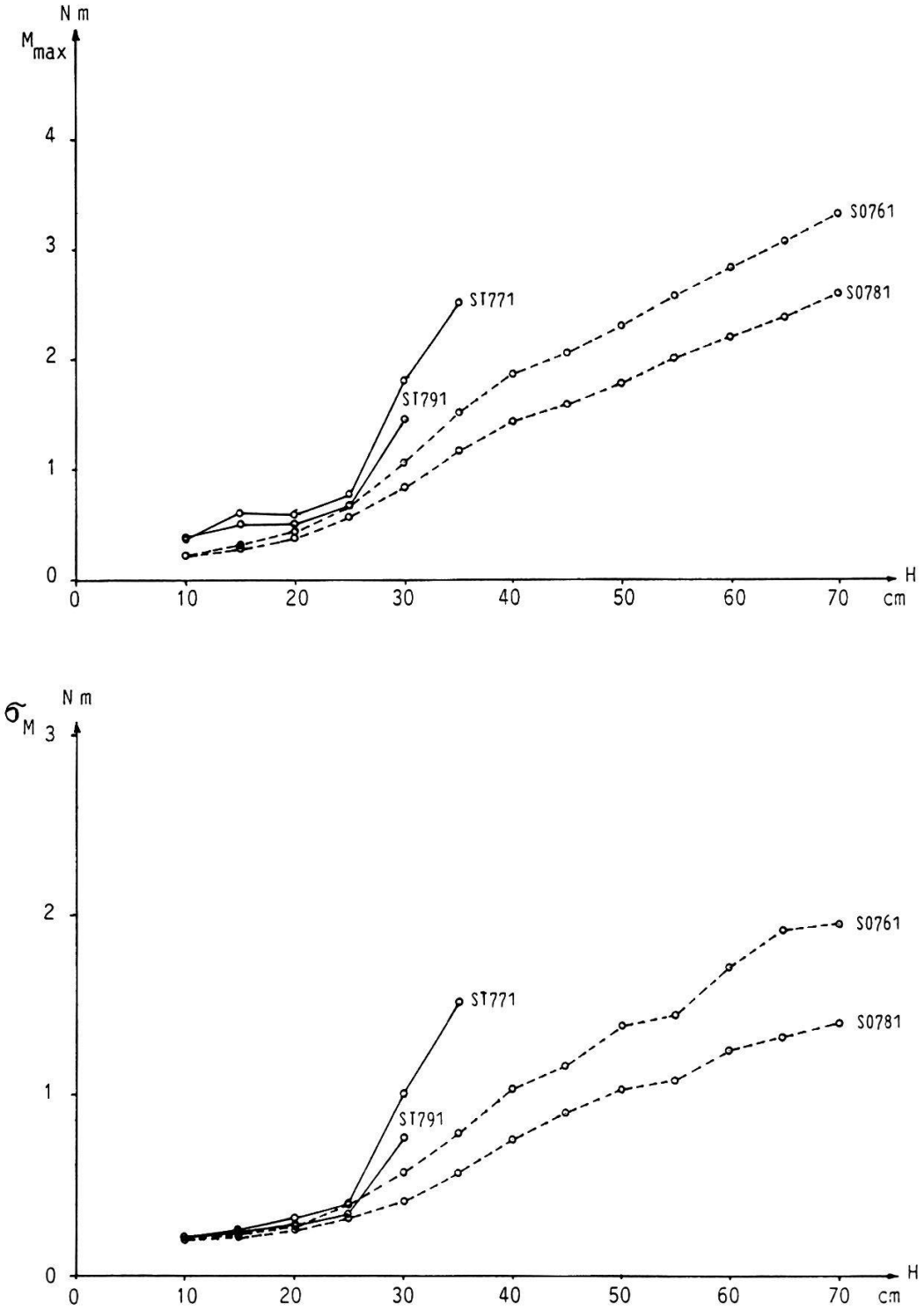
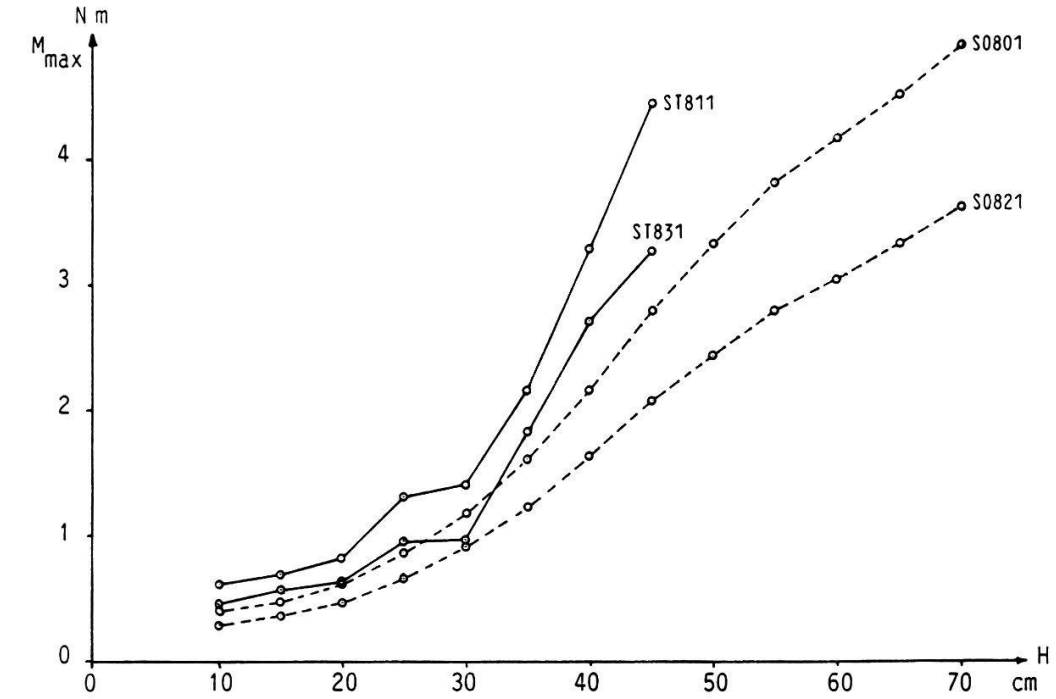


Fig. 4.35. Wie Fig. 4.33.: Einfluß des (fehlenden) Treibzeugs. Halme vom 13.6. aus den Flächen 1.2 (ST771, SO761) und 4.3 (ST791, SO781).
------ (SO761, SO781): Ohne Treibzeug
—— (ST711, ST791): Treibholz von 6 kg Masse



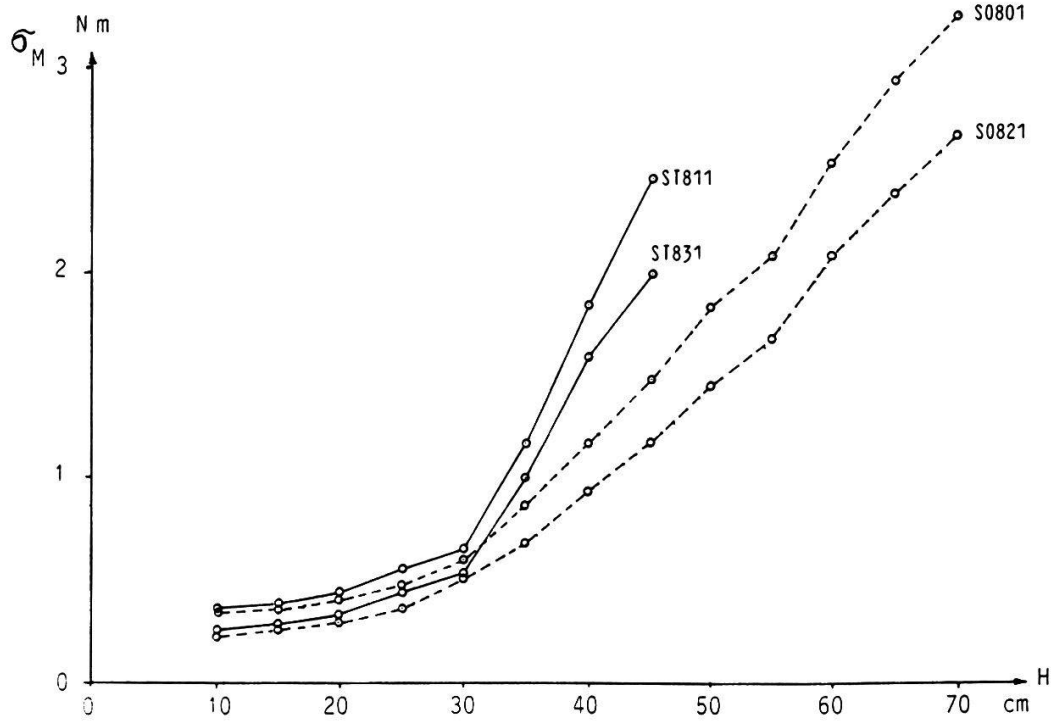
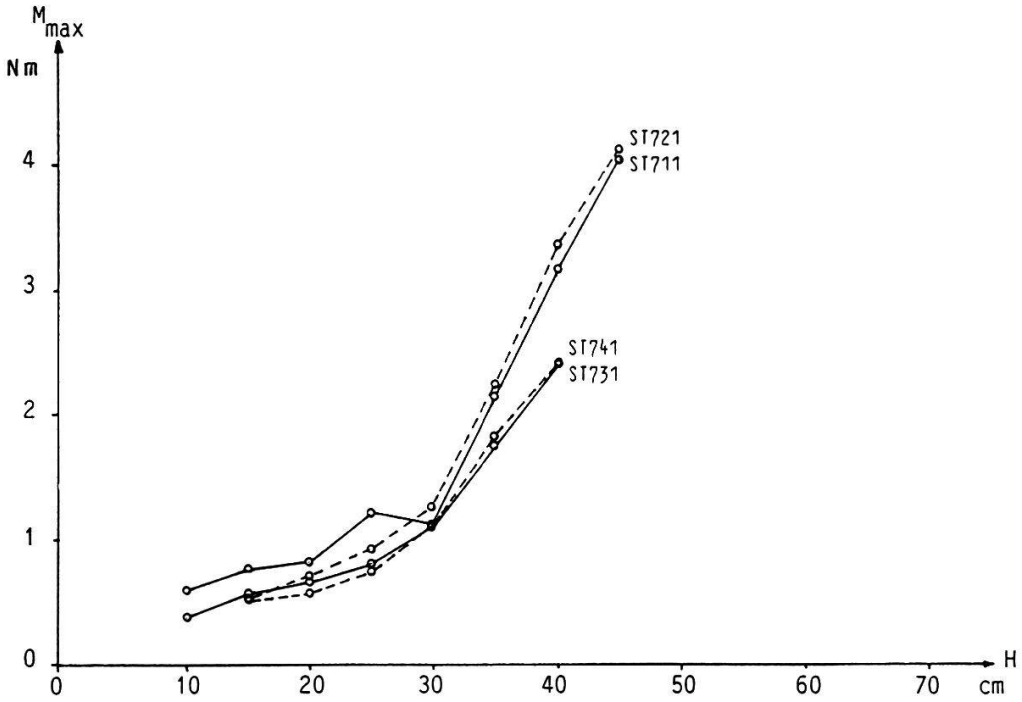


Fig. 4.36. Wie Fig. 4.33.: Einfluß des (fehlenden) Treibzeugs. Halme vom 23.7. aus den Flächen 1.2 (ST811, SO801) und 4.3 (ST831, SO821).
------ (SO801, SO821): Ohne Treibzeug
—— (ST811, ST831): Treibholz von 6 kg Masse



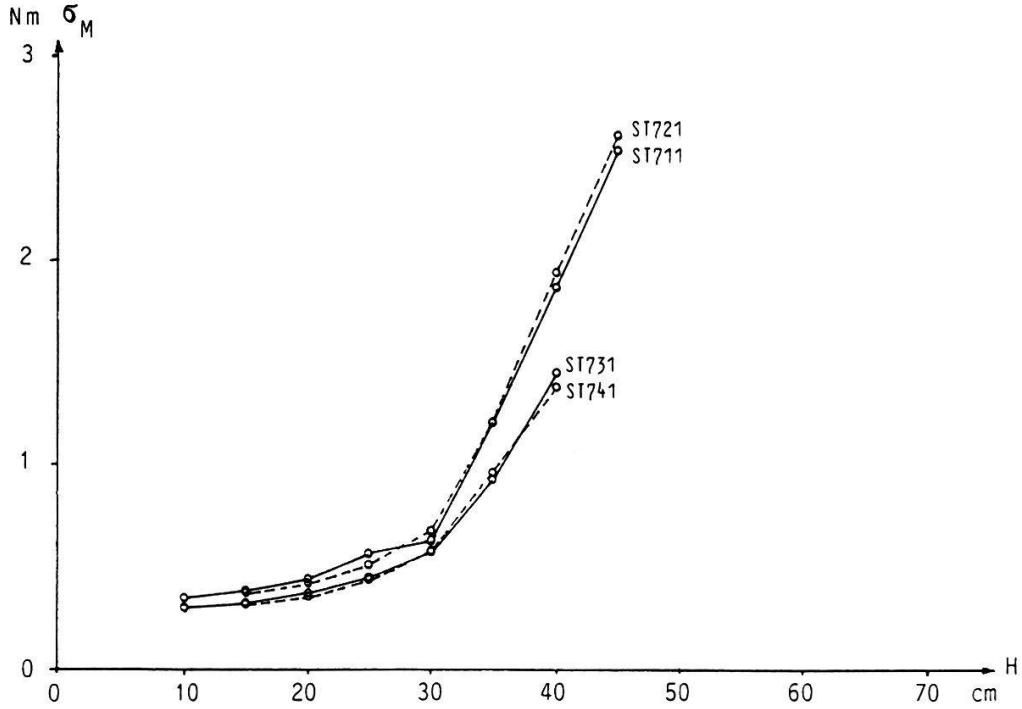
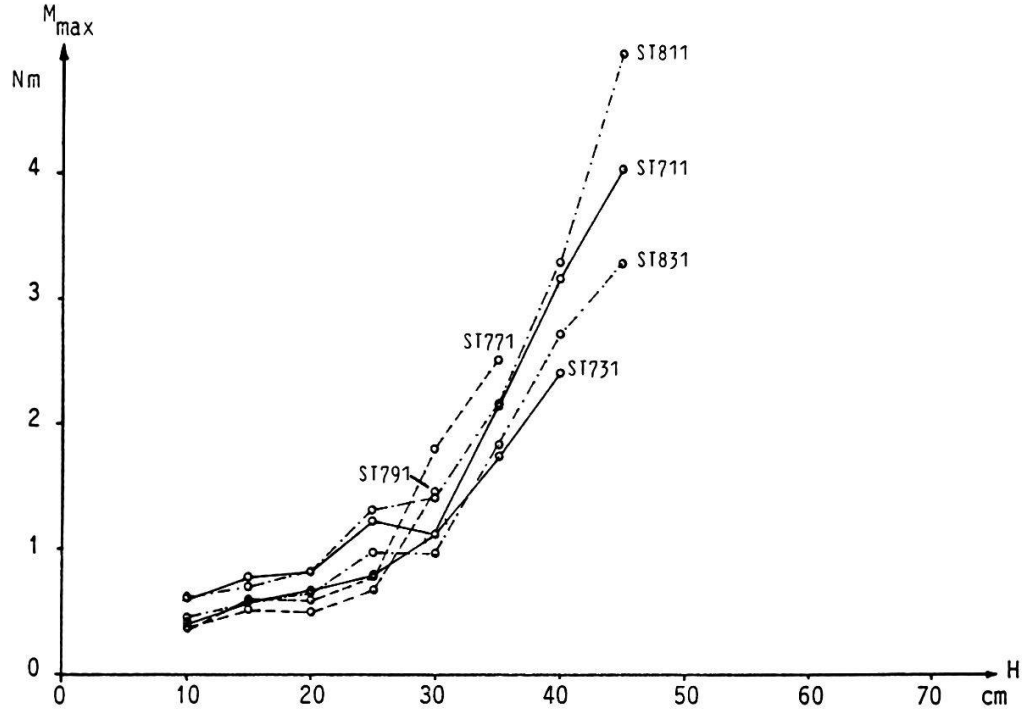


Fig. 4.37. Wie Fig. 4.33.: Einfluß der Wellenperiode *T*. Halme vom 27.6. aus den Flächen 1.2 (ST711, ST721) und 4.3 (ST731, ST741).

—— (ST711, ST731): Wellenperiode zunehmend gemäß Tab. 4.2. von 1,25 s ($H = 10$ cm) bis 2,65 s ($H = 45$ cm)

------ (ST721, ST741): Wellenperiode konstant $T = 3$ s für alle Wellenhöhen



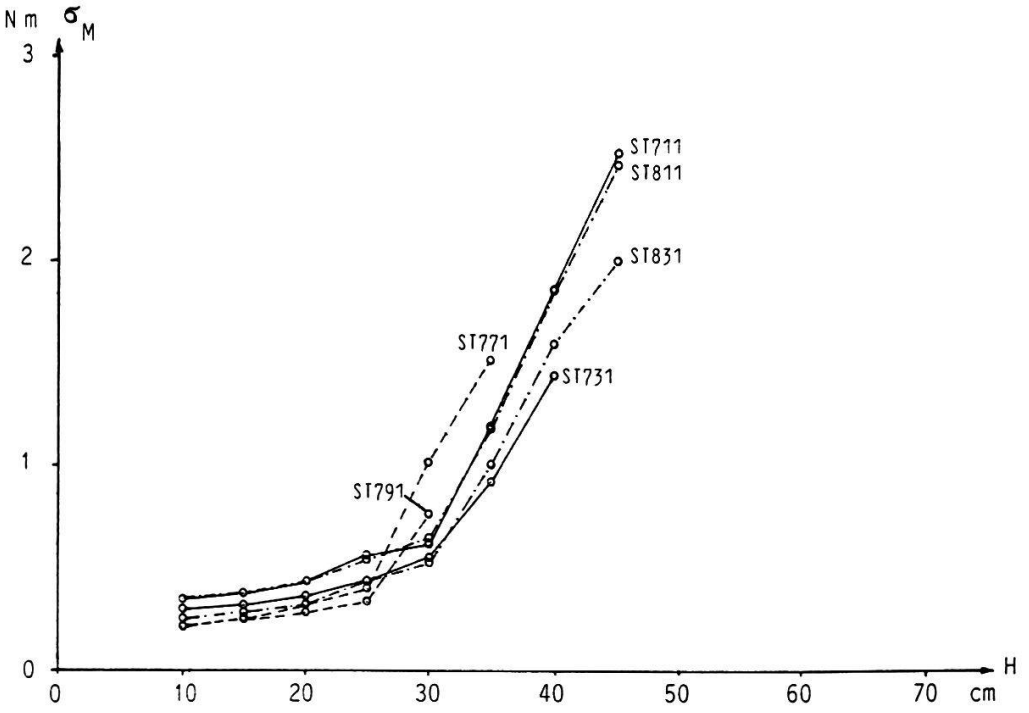
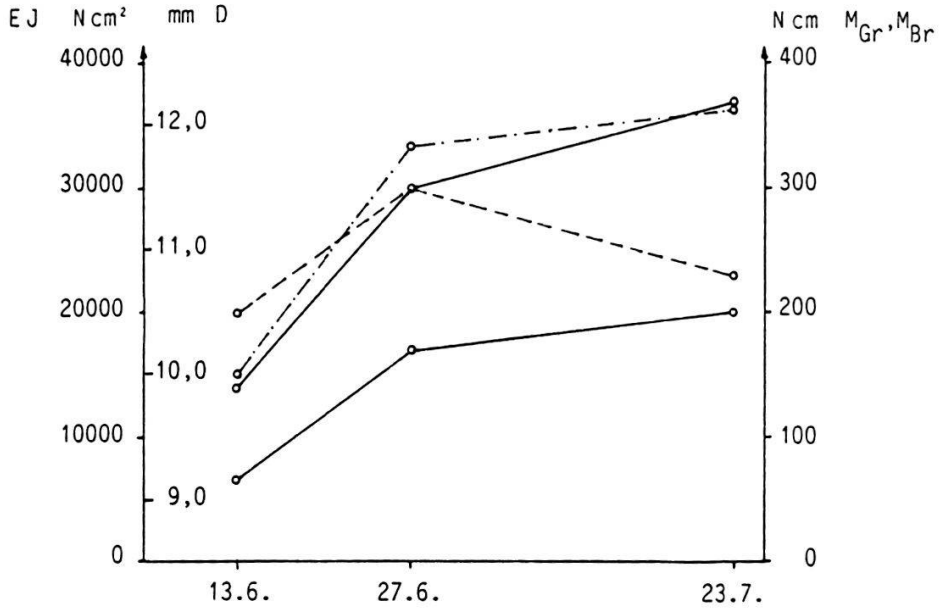


Fig. 4.38. Wie Fig. 4.33.: Einfluß der Biegesteifigkeit bzw. Jahreszeit. Halme aus den Flächen 1.2 (ST711, ST771, ST811) und 4.3 (ST731, ST791, ST831).
------- (ST771, ST791): Halme vom 13.6.
——— (ST711, ST731): Halme vom 27.6.
-·-·-·- (ST811, ST831): Halme vom 23.7.

Fläche 1.2



Fläche 4.3

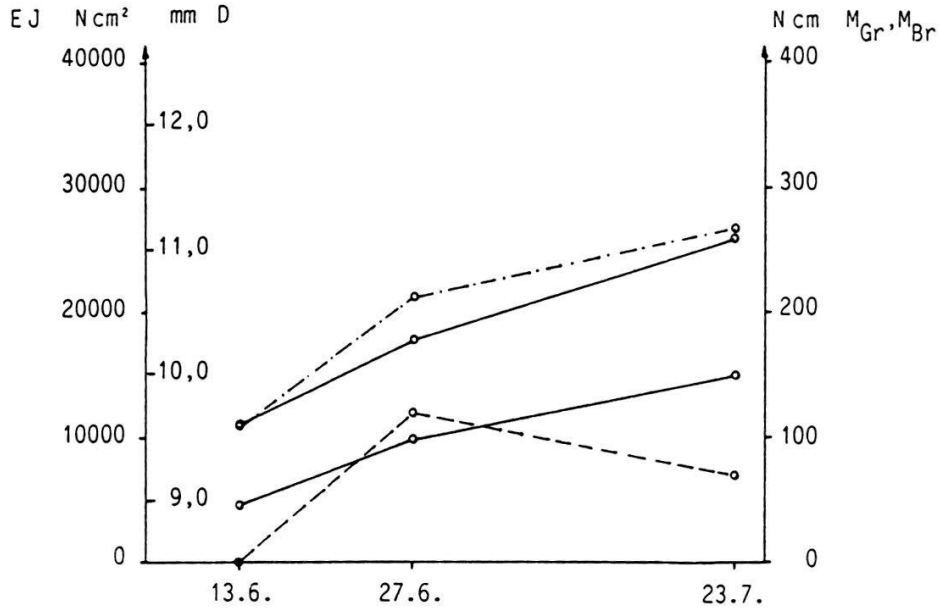


Fig. 4.39. Zeitliche Entwicklung von Durchmesser D, Biegesteifigkeit $E{\cdot}J$, Grenzmoment M_{Gr} und Bruchmoment M_{Br} der in den Beispielen verwendeten Halme.

------- Durchmesser D

-·-·-·- Biegesteifigkeit $E{\cdot}J$

——— Grenzmoment M_{Gr} (untere Linie) und M_{Br} (obere Linie)

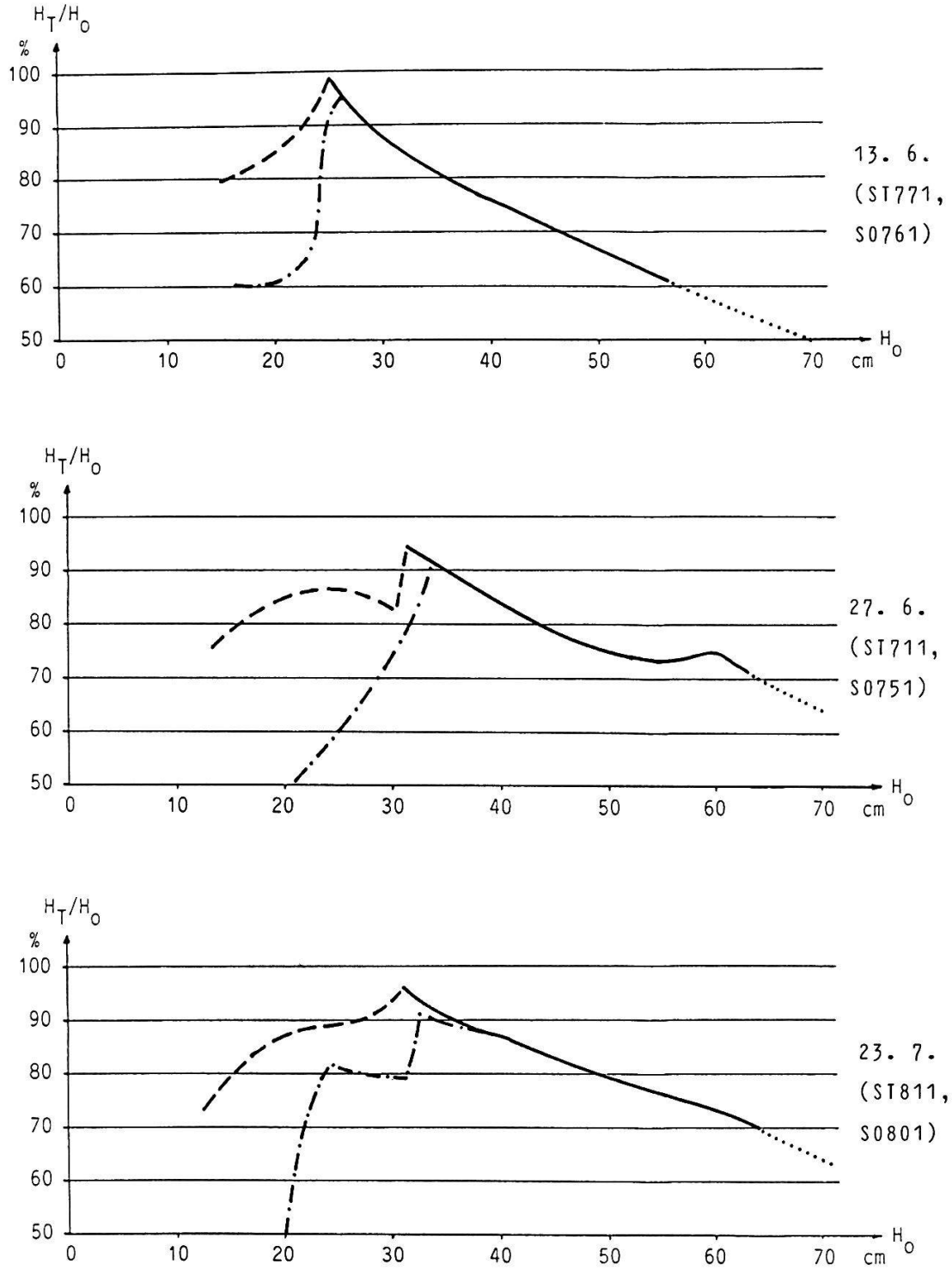


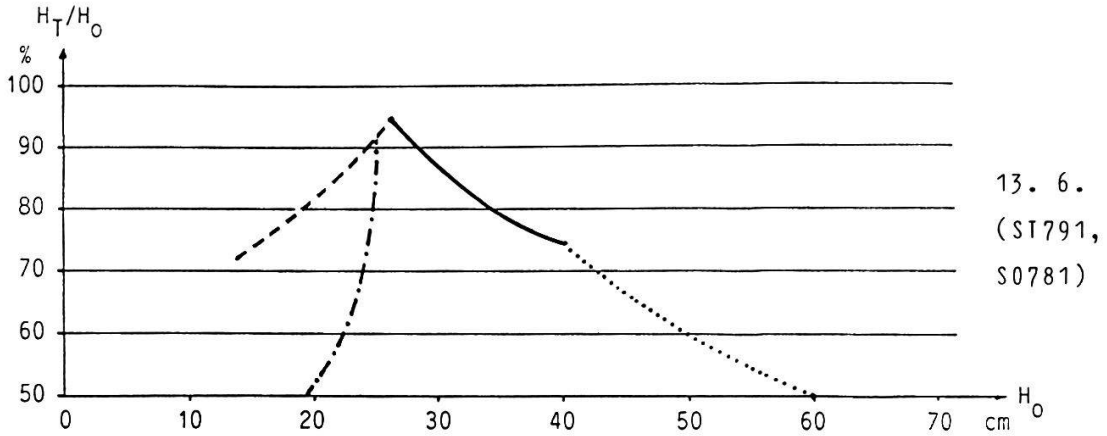
Fig. 4.40. Wellenhöhen, welche einmal ohne (H_0), einmal zusammen mit einem Treibholz von 6 kg Masse (H_T) ein gleich großes Biegemoment im Halmfuß bewirken, dargestellt in Funktion der Wellenhöhe H_0.

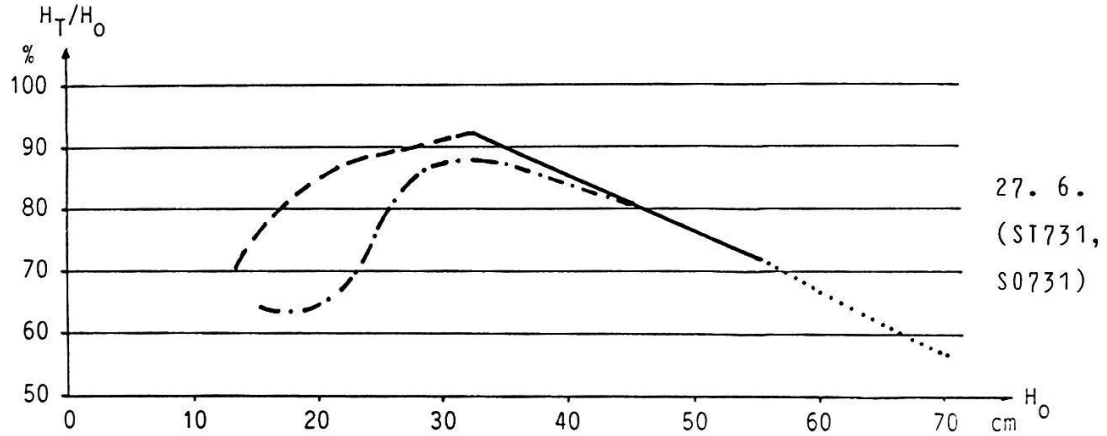
----- Kurve aufgrund des quadratischen Mittels

-·-·- aufgrund des maximalen Momentes

····· In diesem Bereich wird der Halm durch das Treibzeug überrollt

Halme aus der Fläche 1.2 .





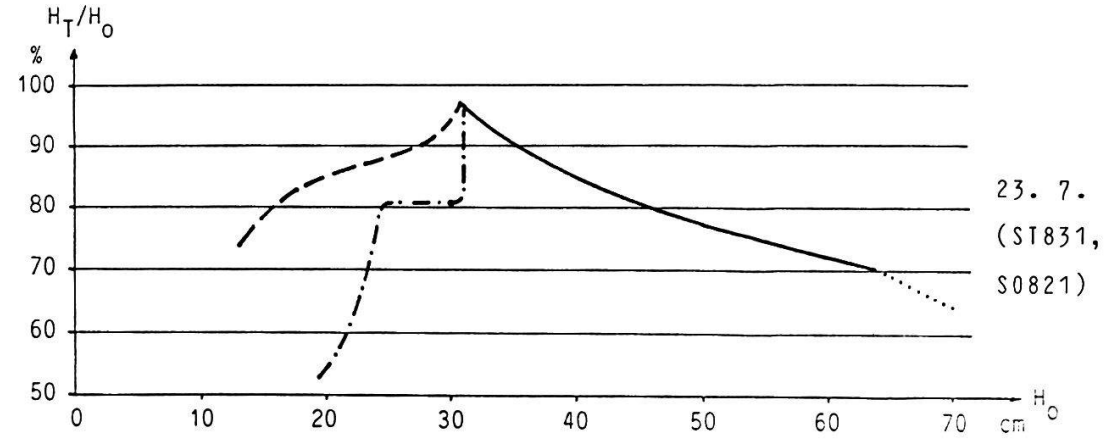


Fig. 4.41. Wie Fig. 4.40.: Halme aus der Fläche 4.3 .

ANHANG zu Teil II: **Tab. 3.4.** Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d (gerechnet in Funktion von d/L_0' und kl).
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}01$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0497	0,252	0,0230	75,640	0,0401	0,2493	0,0939	0,0267	0,0059	0,00611	0,00118
0,0865	0,250	0,0364	76,774	0,0398	0,2512	0,1491	0,0674	0,0238	0,01560	0,00487
0,1195	0,248	0,0461	77,935	0,0395	0,2531	0,1891	0,1086	0,0492	0,02535	0,01017
0,1521	0,246	0,0540	79,125	0,0392	0,2550	0,2222	0,1501	0,0808	0,03538	0,01691
0,1853	0,244	0,0608	80,345	0,0389	0,2570	0,2511	0,1920	0,1183	0,04568	0,02504
0,2195	0,242	0,0669	81,595	0,0386	0,2591	0,2773	0,2343	0,1613	0,05628	0,03455
0,2551	0,240	0,0725	82,877	0,0383	0,2612	0,3013	0,2770	0,2099	0,06718	0,04545
0,2921	0,238	0,0777	84,191	0,0380	0,2633	0,3237	0,3201	0,2638	0,07839	0,05781
0,3307	0,236	0,0825	85,539	0,0377	0,2654	0,3449	0,3637	0,3233	0,08991	0,07166
0,3710	0,234	0,0870	86,922	0,0374	0,2676	0,3650	0,4076	0,3884	0,10177	0,08709
0,4129	0,232	0,0913	88,341	0,0371	0,2698	0,3842	0,4520	0,4591	0,11398	0,10417
0,4567	0,230	0,0953	89,797	0,0367	0,2721	0,4027	0,4969	0,5358	0,12653	0,12298
0,5022	0,228	0,0992	91,292	0,0364	0,2744	0,4205	0,5422	0,6184	0,13946	0,14363
0,5496	0,226	0,1029	92,827	0,0361	0,2768	0,4378	0,5881	0,7072	0,15276	0,16621
0,5990	0,224	0,1064	94,403	0,0358	0,2792	0,4546	0,6344	0,8025	0,16646	0,19086
0,6504	0,222	0,1098	96,023	0,0355	0,2817	0,4710	0,6812	0,9045	0,18056	0,21769
0,7038	0,220	0,1131	97,686	0,0352	0,2842	0,4870	0,7285	1,0134	0,19509	0,24684
0,7592	0,218	0,1163	99,396	0,0349	0,2867	0,5027	0,7763	1,1296	0,21005	0,27846
0,8169	0,216	0,1194	101,154	0,0346	0,2893	0,5181	0,8247	1,2533	0,22546	0,31271
0,8768	0,214	0,1223	102,961	0,0342	0,2920	0,5332	0,8736	1,3848	0,24135	0,34975

$d/L_0' = 0{,}02$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0138	0,362	0,0067	39,426	0,0576	0,3471	0,0396	0,0017	0,0001	0,000247	6,41E-06
0,0694	0,360	0,0326	39,802	0,0573	0,3489	0,1924	0,0401	0,0066	0,005894	0,000751
0,1008	0,358	0,0456	40,184	0,0570	0,3506	0,2697	0,0787	0,0183	0,011664	0,002105
0,1276	0,356	0,0556	40,573	0,0568	0,3524	0,3296	0,1177	0,0337	0,017562	0,003914
0,1524	0,354	0,0641	40,969	0,0565	0,3542	0,3805	0,1569	0,0523	0,023590	0,006133
0,1762	0,352	0,0716	41,371	0,0562	0,3561	0,4257	0,1963	0,0738	0,029751	0,008744
0,1996	0,350	0,0783	41,781	0,0559	0,3579	0,4667	0,2361	0,0980	0,036048	0,011740
0,2227	0,348	0,0845	42,198	0,0556	0,3598	0,5047	0,2762	0,1250	0,042484	0,015121
0,2459	0,346	0,0903	42,622	0,0553	0,3617	0,5403	0,3165	0,1545	0,049062	0,018892
0,2692	0,344	0,0957	43,054	0,0550	0,3637	0,5739	0,3572	0,1866	0,055786	0,023060
0,2927	0,342	0,1008	43,494	0,0547	0,3656	0,6058	0,3981	0,2214	0,062658	0,027635
0,3165	0,340	0,1056	43,942	0,0544	0,3676	0,6364	0,4394	0,2587	0,069682	0,032631
0,3407	0,338	0,1103	44,398	0,0541	0,3697	0,6658	0,4810	0,2986	0,076862	0,038060
0,3652	0,336	0,1147	44,862	0,0538	0,3717	0,6942	0,5228	0,3411	0,084201	0,043940
0,3902	0,334	0,1190	45,334	0,0535	0,3738	0,7216	0,5650	0,3864	0,091704	0,050285
0,4156	0,332	0,1231	45,816	0,0532	0,3759	0,7483	0,6076	0,4343	0,099373	0,057116
0,4415	0,330	0,1270	46,306	0,0529	0,3780	0,7742	0,6504	0,4850	0,107214	0,064453
0,4679	0,328	0,1309	46,806	0,0526	0,3802	0,7996	0,6936	0,5385	0,115229	0,072315
0,4949	0,326	0,1346	47,314	0,0523	0,3824	0,8243	0,7371	0,5949	0,123424	0,080727
0,5224	0,324	0,1382	47,833	0,0520	0,3846	0,8485	0,7810	0,6542	0,131803	0,089713

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}02$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,5505	0,322	0,1417	48,361	0,0517	0,3869	0,8723	0,8252	0,7165	0,14037	0,09930
0,5791	0,320	0,1451	48,899	0,0514	0,3892	0,8956	0,8698	0,7820	0,14913	0,10951
0,6084	0,318	0,1485	49,448	0,0511	0,3915	0,9185	0,9147	0,8506	0,15809	0,12038
0,6383	0,316	0,1517	50,007	0,0508	0,3939	0,9411	0,9601	0,9224	0,16724	0,13193
0,6689	0,314	0,1549	50,577	0,0505	0,3963	0,9634	1,0057	0,9977	0,17661	0,14420
0,7001	0,312	0,1580	51,159	0,0502	0,3987	0,9853	1,0518	1,0763	0,18619	0,15722
0,7320	0,310	0,1610	51,751	0,0498	0,4012	1,0070	1,0983	1,1586	0,19599	0,17102
0,7646	0,308	0,1640	52,356	0,0495	0,4037	1,0285	1,1451	1,2445	0,20601	0,18566
0,7979	0,306	0,1669	52,972	0,0492	0,4063	1,0497	1,1923	1,3341	0,21626	0,20115
0,8319	0,304	0,1697	53,601	0,0489	0,4089	1,0707	1,2400	1,4277	0,22675	0,21755
0,8667	0,302	0,1725	54,243	0,0486	0,4115	1,0915	1,2881	1,5253	0,23748	0,23491
0,9023	0,300	0,1753	54,898	0,0483	0,4141	1,1122	1,3366	1,6270	0,24845	0,25326
0,9387	0,298	0,1780	55,566	0,0480	0,4168	1,1327	1,3855	1,7331	0,25968	0,27265
0,9758	0,296	0,1806	56,247	0,0477	0,4196	1,1530	1,4348	1,8435	0,27117	0,29314
$d/L_0' = 0{,}03$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0260	0,448	0,0125	27,837	0,0713	0,4207	0,0923	0,0051	0,0002	0,000547	1,63E-05
0,0756	0,446	0,0356	28,030	0,0710	0,4223	0,2634	0,0414	0,0053	0,004486	0,000383
0,1059	0,444	0,0488	28,226	0,0708	0,4240	0,3614	0,0779	0,0137	0,008503	0,001006
0,1312	0,442	0,0592	28,424	0,0705	0,4256	0,4386	0,1146	0,0246	0,012601	0,001826
0,1539	0,440	0,0680	28,626	0,0702	0,4273	0,5044	0,1516	0,0376	0,016780	0,002822
0,1753	0,438	0,0757	28,830	0,0699	0,4290	0,5630	0,1888	0,0525	0,021043	0,003987
0,1956	0,436	0,0828	29,037	0,0696	0,4307	0,6164	0,2263	0,0693	0,025390	0,005315
0,2154	0,434	0,0893	29,248	0,0694	0,4325	0,6659	0,2640	0,0878	0,029824	0,006806
0,2348	0,432	0,0953	29,461	0,0691	0,4342	0,7123	0,3019	0,1080	0,034345	0,008460
0,2540	0,430	0,1010	29,678	0,0688	0,4360	0,7561	0,3401	0,1299	0,038957	0,010280
0,2730	0,428	0,1064	29,897	0,0685	0,4378	0,7978	0,3786	0,1534	0,043659	0,012268
0,2919	0,426	0,1116	30,120	0,0682	0,4397	0,8377	0,4172	0,1785	0,048455	0,014429
0,3108	0,424	0,1165	30,347	0,0679	0,4415	0,8761	0,4562	0,2053	0,053345	0,016767
0,3298	0,422	0,1212	30,577	0,0677	0,4434	0,9131	0,4954	0,2337	0,058332	0,019286
0,3488	0,420	0,1258	30,810	0,0674	0,4453	0,9490	0,5348	0,2638	0,063417	0,021992
0,3679	0,418	0,1301	31,046	0,0671	0,4472	0,9837	0,5746	0,2955	0,068603	0,024892
0,3872	0,416	0,1344	31,287	0,0668	0,4491	1,0176	0,6146	0,3288	0,073891	0,027992
0,4066	0,414	0,1385	31,531	0,0665	0,4511	1,0506	0,6548	0,3639	0,079283	0,031298
0,4262	0,412	0,1425	31,778	0,0662	0,4531	1,0829	0,6953	0,4006	0,084781	0,034818
0,4460	0,410	0,1464	32,030	0,0659	0,4551	1,1144	0,7362	0,4391	0,090387	0,038560
0,4659	0,408	0,1501	32,285	0,0656	0,4571	1,1453	0,7772	0,4794	0,096104	0,042531
0,4861	0,406	0,1538	32,544	0,0653	0,4592	1,1757	0,8186	0,5214	0,101933	0,046741
0,5066	0,404	0,1574	32,808	0,0650	0,4613	1,2055	0,8602	0,5652	0,107878	0,051199
0,5273	0,402	0,1609	33,075	0,0647	0,4634	1,2348	0,9022	0,6109	0,113939	0,055913
0,5482	0,400	0,1644	33,347	0,0644	0,4655	1,2637	0,9444	0,6585	0,120119	0,060895

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}03$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,5694	0,398	0,1678	33,623	0,0641	0,4677	1,2921	0,9869	0,7080	0,12642	0,06615
0,5909	0,396	0,1711	33,903	0,0638	0,4699	1,3202	1,0297	0,7595	0,13285	0,07170
0,6127	0,394	0,1743	34,187	0,0635	0,4721	1,3479	1,0729	0,8129	0,13940	0,07755
0,6348	0,392	0,1775	34,476	0,0632	0,4744	1,3753	1,1163	0,8685	0,14608	0,08370
0,6571	0,390	0,1806	34,770	0,0629	0,4766	1,4023	1,1600	0,9261	0,15290	0,09019
0,6798	0,388	0,1837	35,069	0,0626	0,4789	1,4291	1,2041	0,9859	0,15985	0,09701
0,7029	0,386	0,1867	35,372	0,0623	0,4813	1,4557	1,2485	1,0479	0,16693	0,10417
0,7262	0,384	0,1896	35,680	0,0620	0,4836	1,4819	1,2931	1,1121	0,17416	0,11171
0,7499	0,382	0,1925	35,993	0,0617	0,4860	1,5080	1,3382	1,1786	0,18153	0,11962
0,7740	0,380	0,1954	36,312	0,0614	0,4884	1,5338	1,3835	1,2475	0,18904	0,12793
0,7984	0,378	0,1982	36,635	0,0611	0,4909	1,5594	1,4292	1,3189	0,19671	0,13665
0,8232	0,376	0,2010	36,964	0,0608	0,4934	1,5849	1,4752	1,3927	0,20452	0,14580
0,8484	0,374	0,2037	37,298	0,0605	0,4959	1,6101	1,5216	1,4690	0,21250	0,15539
0,8739	0,372	0,2064	37,638	0,0602	0,4984	1,6353	1,5683	1,5480	0,22063	0,16545
0,8998	0,370	0,2091	37,984	0,0599	0,5010	1,6602	1,6153	1,6297	0,22892	0,17599
0,9262	0,368	0,2117	38,335	0,0596	0,5036	1,6850	1,6627	1,7142	0,23738	0,18703
0,9530	0,366	0,2143	38,693	0,0593	0,5062	1,7098	1,7105	1,8014	0,24601	0,19860
0,9801	0,364	0,2169	39,056	0,0590	0,5089	1,7343	1,7587	1,8916	0,25481	0,21071
$d/L_0' = 0{,}04$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0580	0,522	0,0275	22,286	0,0831	0,4813	0,2394	0,0225	0,0018	0,00190	8,52E-05
0,0935	0,520	0,0436	22,402	0,0829	0,4828	0,3806	0,0568	0,0071	0,00482	0,000347
0,1203	0,518	0,0552	22,521	0,0826	0,4843	0,4827	0,0913	0,0145	0,00780	0,000718
0,1433	0,516	0,0648	22,641	0,0823	0,4859	0,5672	0,1261	0,0236	0,01083	0,001182
0,1643	0,514	0,0732	22,762	0,0821	0,4875	0,6412	0,1610	0,0342	0,01392	0,001733
0,1838	0,512	0,0807	22,885	0,0818	0,4891	0,7080	0,1961	0,0461	0,01707	0,002366
0,2024	0,510	0,0876	23,010	0,0815	0,4907	0,7694	0,2315	0,0594	0,02028	0,003080
0,2204	0,508	0,0939	23,136	0,0813	0,4923	0,8267	0,2671	0,0740	0,02355	0,003876
0,2379	0,506	0,0999	23,264	0,0810	0,4939	0,8806	0,3029	0,0898	0,02689	0,004753
0,2550	0,504	0,1056	23,394	0,0807	0,4956	0,9318	0,3389	0,1067	0,03028	0,005712
0,2718	0,502	0,1110	23,525	0,0804	0,4973	0,9807	0,3751	0,1248	0,03374	0,006755
0,2885	0,500	0,1162	23,658	0,0802	0,4990	1,0275	0,4116	0,1441	0,03726	0,007884
0,3050	0,498	0,1211	23,793	0,0799	0,5007	1,0727	0,4482	0,1646	0,04085	0,009100
0,3214	0,496	0,1258	23,930	0,0796	0,5024	1,1163	0,4851	0,1862	0,04451	0,010405
0,3378	0,494	0,1304	24,069	0,0793	0,5042	1,1587	0,5223	0,2090	0,04823	0,011803
0,3541	0,492	0,1349	24,209	0,0791	0,5060	1,1998	0,5596	0,2329	0,05202	0,013296
0,3704	0,490	0,1392	24,351	0,0788	0,5078	1,2398	0,5972	0,2580	0,05588	0,014886
0,3867	0,488	0,1434	24,496	0,0785	0,5096	1,2789	0,6350	0,2842	0,05982	0,016577
0,4031	0,486	0,1474	24,642	0,0782	0,5114	1,3171	0,6731	0,3117	0,06382	0,018372
0,4196	0,484	0,1514	24,790	0,0779	0,5133	1,3545	0,7114	0,3403	0,06791	0,020274

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}04$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,4361	0,482	0,1553	24,940	0,0776	0,5152	1,3912	0,7499	0,3701	0,07206	0,02229
0,4526	0,480	0,1590	25,093	0,0774	0,5170	1,4272	0,7887	0,4012	0,07629	0,02442
0,4693	0,478	0,1627	25,247	0,0771	0,5190	1,4626	0,8277	0,4334	0,08060	0,02666
0,4861	0,476	0,1664	25,403	0,0768	0,5209	1,4974	0,8670	0,4670	0,08499	0,02903
0,5030	0,474	0,1699	25,562	0,0765	0,5229	1,5317	0,9065	0,5018	0,08946	0,03153
0,5200	0,472	0,1734	25,723	0,0762	0,5248	1,5655	0,9463	0,5379	0,09401	0,03415
0,5371	0,470	0,1768	25,886	0,0759	0,5268	1,5989	0,9863	0,5753	0,09864	0,03692
0,5544	0,468	0,1801	26,051	0,0756	0,5289	1,6318	1,0266	0,6140	0,10336	0,03982
0,5719	0,466	0,1834	26,219	0,0753	0,5309	1,6643	1,0672	0,6541	0,10816	0,04287
0,5894	0,464	0,1867	26,389	0,0751	0,5330	1,6964	1,1080	0,6956	0,11306	0,04607
0,6072	0,462	0,1899	26,561	0,0748	0,5351	1,7282	1,1490	0,7384	0,11804	0,04943
0,6251	0,460	0,1930	26,736	0,0745	0,5372	1,7597	1,1904	0,7827	0,12311	0,05295
0,6432	0,458	0,1961	26,913	0,0742	0,5393	1,7909	1,2320	0,8285	0,12827	0,05664
0,6614	0,456	0,1991	27,093	0,0739	0,5415	1,8218	1,2738	0,8757	0,13353	0,06050
0,6799	0,454	0,2021	27,275	0,0736	0,5437	1,8524	1,3160	0,9245	0,13888	0,06455
0,6985	0,452	0,2051	27,460	0,0733	0,5459	1,8827	1,3584	0,9748	0,14433	0,06878
0,7173	0,450	0,2080	27,647	0,0730	0,5481	1,9129	1,4011	1,0267	0,14988	0,07320
0,7363	0,448	0,2109	27,837	0,0727	0,5504	1,9428	1,4441	1,0801	0,15553	0,07782
0,7555	0,446	0,2138	28,030	0,0724	0,5526	1,9724	1,4874	1,1353	0,16129	0,08266
0,7750	0,444	0,2166	28,226	0,0721	0,5549	2,0019	1,5309	1,1921	0,16715	0,08771
0,7946	0,442	0,2193	28,424	0,0718	0,5573	2,0313	1,5748	1,2506	0,17311	0,09298
0,8145	0,440	0,2221	28,626	0,0715	0,5596	2,0604	1,6190	1,3109	0,17918	0,09848
0,8346	0,438	0,2248	28,830	0,0712	0,5620	2,0894	1,6634	1,3730	0,18536	0,10423
0,8549	0,436	0,2275	29,037	0,0709	0,5644	2,1182	1,7082	1,4369	0,19166	0,11023
0,8754	0,434	0,2301	29,248	0,0706	0,5669	2,1469	1,7532	1,5026	0,19807	0,11648
0,8962	0,432	0,2327	29,461	0,0703	0,5693	2,1755	1,7986	1,5703	0,20460	0,12300
0,9172	0,430	0,2353	29,678	0,0700	0,5718	2,2039	1,8443	1,6400	0,21124	0,12980
0,9385	0,428	0,2379	29,897	0,0696	0,5743	2,2322	1,8903	1,7116	0,21801	0,13689
0,9600	0,426	0,2404	30,120	0,0693	0,5769	2,2604	1,9366	1,7853	0,22490	0,14428
0,9818	0,424	0,2429	30,347	0,0690	0,5795	2,2885	1,9832	1,8612	0,23191	0,15198

$d/L_0' = 0{,}05$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0642	0,590	0,0300	19,088	0,0940	0,5322	0,2997	0,0256	0,0019	0,00173	6,19E-05
0,0976	0,588	0,0451	19,164	0,0937	0,5336	0,4510	0,0579	0,0064	0,00394	2,14E-04
0,1233	0,586	0,0564	19,240	0,0934	0,5351	0,5638	0,0904	0,0125	0,00620	4,24E-04
0,1454	0,584	0,0657	19,318	0,0932	0,5365	0,6582	0,1231	0,0199	0,00849	6,83E-04
0,1654	0,582	0,0739	19,397	0,0929	0,5380	0,7412	0,1560	0,0284	0,01083	9,89E-04
0,1840	0,580	0,0814	19,476	0,0927	0,5395	0,8164	0,1890	0,0381	0,01321	0,00134
0,2016	0,578	0,0882	19,557	0,0924	0,5410	0,8857	0,2223	0,0487	0,01563	0,00173
0,2185	0,576	0,0945	19,638	0,0922	0,5425	0,9504	0,2558	0,0603	0,01810	0,00217
0,2348	0,574	0,1005	19,721	0,0919	0,5441	1,0115	0,2894	0,0729	0,02061	0,00265
0,2507	0,572	0,1061	19,805	0,0916	0,5456	1,0695	0,3233	0,0864	0,02317	0,00318

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}05$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,2663	0,570	0,1115	19,890	0,0914	0,5472	1,1249	0,3573	0,1008	0,02578	0,00375
0,2815	0,568	0,1166	19,976	0,0911	0,5488	1,1781	0,3916	0,1160	0,02843	0,00437
0,2966	0,566	0,1216	20,063	0,0908	0,5504	1,2294	0,4260	0,1322	0,03113	0,00503
0,3115	0,564	0,1263	20,151	0,0906	0,5520	1,2790	0,4607	0,1492	0,03388	0,00575
0,3263	0,562	0,1309	20,240	0,0903	0,5537	1,3271	0,4956	0,1671	0,03668	0,00651
0,3410	0,560	0,1354	20,330	0,0900	0,5553	1,3738	0,5306	0,1859	0,03953	0,00732
0,3556	0,558	0,1397	20,422	0,0898	0,5570	1,4194	0,5659	0,2055	0,04243	0,00818
0,3701	0,556	0,1439	20,514	0,0895	0,5587	1,4639	0,6014	0,2260	0,04539	0,00910
0,3846	0,554	0,1480	20,608	0,0892	0,5604	1,5074	0,6371	0,2474	0,04839	0,01007
0,3991	0,552	0,1520	20,703	0,0890	0,5621	1,5500	0,6730	0,2697	0,05145	0,01110
0,4136	0,550	0,1559	20,800	0,0887	0,5638	1,5917	0,7092	0,2928	0,05456	0,01219
0,4281	0,548	0,1598	20,897	0,0884	0,5656	1,6327	0,7455	0,3169	0,05773	0,01334
0,4427	0,546	0,1635	20,996	0,0881	0,5673	1,6730	0,7821	0,3418	0,06095	0,01455
0,4572	0,544	0,1672	21,096	0,0879	0,5691	1,7127	0,8188	0,3677	0,06423	0,01583
0,4718	0,542	0,1708	21,197	0,0876	0,5709	1,7518	0,8559	0,3945	0,06757	0,01717
0,4864	0,540	0,1743	21,300	0,0873	0,5727	1,7902	0,8931	0,4223	0,07097	0,01858
0,5011	0,538	0,1778	21,404	0,0870	0,5746	1,8282	0,9305	0,4509	0,07443	0,02006
0,5159	0,536	0,1812	21,509	0,0867	0,5764	1,8657	0,9682	0,4806	0,07794	0,02162
0,5307	0,534	0,1845	21,616	0,0865	0,5783	1,9027	1,0061	0,5112	0,08152	0,02325
0,5456	0,532	0,1878	21,724	0,0862	0,5802	1,9394	1,0443	0,5428	0,08516	0,02496
0,5606	0,530	0,1911	21,833	0,0859	0,5821	1,9756	1,0826	0,5754	0,08887	0,02675
0,5757	0,528	0,1943	21,944	0,0856	0,5841	2,0114	1,1212	0,6091	0,09264	0,02862
0,5909	0,526	0,1975	22,057	0,0853	0,5860	2,0469	1,1601	0,6437	0,09647	0,03058
0,6061	0,524	0,2006	22,170	0,0850	0,5880	2,0820	1,1991	0,6794	0,10037	0,03264
0,6215	0,522	0,2037	22,286	0,0847	0,5900	2,1168	1,2385	0,7162	0,10434	0,03478
0,6370	0,520	0,2067	22,402	0,0845	0,5920	2,1514	1,2780	0,7541	0,10838	0,03702
0,6525	0,518	0,2097	22,521	0,0842	0,5940	2,1856	1,3178	0,7930	0,11248	0,03936
0,6682	0,516	0,2127	22,641	0,0839	0,5961	2,2196	1,3579	0,8331	0,11666	0,04180
0,6840	0,514	0,2156	22,762	0,0836	0,5982	2,2534	1,3982	0,8743	0,12091	0,04434
0,7000	0,512	0,2185	22,885	0,0833	0,6003	2,2869	1,4387	0,9167	0,12523	0,04700
0,7160	0,510	0,2213	23,010	0,0830	0,6024	2,3202	1,4795	0,9603	0,12963	0,04977
0,7322	0,508	0,2242	23,136	0,0827	0,6045	2,3533	1,5206	1,0051	0,13410	0,05265
0,7485	0,506	0,2270	23,264	0,0824	0,6067	2,3862	1,5619	1,0511	0,13865	0,05566
0,7650	0,504	0,2297	23,394	0,0821	0,6089	2,4189	1,6035	1,0983	0,14328	0,05879
0,7815	0,502	0,2325	23,525	0,0818	0,6111	2,4514	1,6453	1,1468	0,14799	0,06205
0,7983	0,500	0,2352	23,658	0,0815	0,6133	2,4838	1,6874	1,1966	0,15277	0,06545
0,8151	0,498	0,2379	23,793	0,0812	0,6155	2,5160	1,7297	1,2478	0,15764	0,06898
0,8322	0,496	0,2405	23,930	0,0809	0,6178	2,5480	1,7724	1,3003	0,16260	0,07266
0,8493	0,494	0,2432	24,069	0,0806	0,6201	2,5799	1,8153	1,3541	0,16763	0,07648
0,8666	0,492	0,2458	24,209	0,0803	0,6224	2,6117	1,8584	1,4094	0,17276	0,08046
0,8841	0,490	0,2484	24,351	0,0800	0,6248	2,6434	1,9019	1,4661	0,17797	0,08460
0,9018	0,488	0,2509	24,496	0,0797	0,6271	2,6749	1,9456	1,5242	0,18327	0,08890
0,9196	0,486	0,2535	24,642	0,0794	0,6295	2,7064	1,9896	1,5839	0,18866	0,09337
0,9376	0,484	0,2560	24,790	0,0791	0,6320	2,7377	2,0339	1,6451	0,19414	0,09801
0,9557	0,482	0,2585	24,940	0,0788	0,6344	2,7690	2,0785	1,7078	0,19972	0,10284

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}06$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0585	0,654	0,0271	17,110	0,1041	0,5762	0,3036	0,0203	0,0012	0,001120	2,71E-05
0,0933	0,652	0,0428	17,161	0,1039	0,5775	0,4798	0,0506	0,0047	0,002812	0,000108
0,1191	0,650	0,0542	17,211	0,1036	0,5789	0,6078	0,0811	0,0095	0,004535	0,000223
0,1410	0,648	0,0636	17,263	0,1034	0,5803	0,7139	0,1118	0,0155	0,006290	0,000367
0,1606	0,646	0,0718	17,315	0,1032	0,5817	0,8068	0,1427	0,0224	0,008077	0,000536
0,1787	0,644	0,0792	17,368	0,1029	0,5831	0,8907	0,1737	0,0302	0,009896	0,000732
0,1957	0,642	0,0860	17,422	0,1027	0,5845	0,9680	0,2049	0,0388	0,011749	0,000951
0,2120	0,640	0,0923	17,476	0,1024	0,5859	1,0400	0,2363	0,0482	0,013635	0,001196
0,2276	0,638	0,0982	17,531	0,1021	0,5874	1,1079	0,2679	0,0583	0,015555	0,001465
0,2426	0,636	0,1039	17,587	0,1019	0,5888	1,1724	0,2996	0,0692	0,017510	0,001759
0,2573	0,634	0,1092	17,644	0,1016	0,5903	1,2339	0,3316	0,0808	0,019500	0,002079
0,2717	0,632	0,1143	17,701	0,1014	0,5918	1,2930	0,3637	0,0931	0,021526	0,002424
0,2858	0,630	0,1193	17,759	0,1011	0,5933	1,3499	0,3960	0,1061	0,023587	0,002795
0,2997	0,628	0,1240	17,818	0,1009	0,5948	1,4049	0,4285	0,1198	0,025686	0,003194
0,3135	0,626	0,1286	17,877	0,1006	0,5963	1,4583	0,4611	0,1342	0,027821	0,003620
0,3270	0,624	0,1330	17,937	0,1004	0,5979	1,5102	0,4940	0,1493	0,029994	0,004074
0,3405	0,622	0,1374	17,998	0,1001	0,5994	1,5607	0,5271	0,1650	0,032206	0,004557
0,3539	0,620	0,1416	18,060	0,0998	0,6010	1,6100	0,5603	0,1815	0,034456	0,005070
0,3671	0,618	0,1457	18,123	0,0996	0,6026	1,6582	0,5938	0,1986	0,036745	0,005614
0,3803	0,616	0,1497	18,186	0,0993	0,6042	1,7055	0,6274	0,2164	0,039075	0,006189
0,3935	0,614	0,1536	18,250	0,0990	0,6058	1,7517	0,6612	0,2349	0,041445	0,006797
0,4067	0,612	0,1574	18,315	0,0988	0,6074	1,7972	0,6952	0,2541	0,043856	0,007439
0,4198	0,610	0,1612	18,381	0,0985	0,6091	1,8419	0,7295	0,2740	0,046309	0,008115
0,4329	0,608	0,1648	18,448	0,0982	0,6107	1,8858	0,7639	0,2946	0,048805	0,008827
0,4460	0,606	0,1684	18,516	0,0980	0,6124	1,9291	0,7985	0,3159	0,051343	0,009575
0,4591	0,604	0,1720	18,584	0,0977	0,6141	1,9717	0,8333	0,3379	0,053925	0,010362
0,4722	0,602	0,1755	18,653	0,0974	0,6158	2,0138	0,8684	0,3606	0,056551	0,011188
0,4853	0,600	0,1789	18,723	0,0972	0,6175	2,0553	0,9036	0,3841	0,059222	0,012055
0,4985	0,598	0,1823	18,794	0,0969	0,6192	2,0964	0,9390	0,4083	0,061939	0,012963
0,5117	0,596	0,1856	18,866	0,0966	0,6210	2,1369	0,9747	0,4333	0,064702	0,013914
0,5249	0,594	0,1889	18,939	0,0963	0,6228	2,1770	1,0105	0,4590	0,067512	0,014910
0,5382	0,592	0,1921	19,013	0,0961	0,6245	2,2167	1,0466	0,4855	0,070370	0,015952
0,5515	0,590	0,1953	19,088	0,0958	0,6263	2,2560	1,0829	0,5127	0,073276	0,017041
0,5648	0,588	0,1985	19,164	0,0955	0,6282	2,2949	1,1194	0,5407	0,076231	0,018180
0,5783	0,586	0,2016	19,240	0,0952	0,6300	2,3334	1,1561	0,5696	0,079236	0,019369
0,5917	0,584	0,2046	19,318	0,0950	0,6319	2,3716	1,1930	0,5992	0,082291	0,020610
0,6053	0,582	0,2077	19,397	0,0947	0,6337	2,4095	1,2301	0,6297	0,085398	0,021905
0,6189	0,580	0,2107	19,476	0,0944	0,6356	2,4472	1,2675	0,6610	0,088557	0,023256
0,6326	0,578	0,2136	19,557	0,0941	0,6375	2,4845	1,3051	0,6931	0,091768	0,024664
0,6463	0,576	0,2166	19,638	0,0938	0,6394	2,5216	1,3429	0,7261	0,095034	0,026132
0,6601	0,574	0,2195	19,721	0,0935	0,6414	2,5584	1,3809	0,7599	0,098354	0,027661
0,6740	0,572	0,2223	19,805	0,0933	0,6433	2,5949	1,4192	0,7946	0,101729	0,029254
0,6880	0,570	0,2252	19,890	0,0930	0,6453	2,6313	1,4576	0,8303	0,105160	0,030912
0,7021	0,568	0,2280	19,976	0,0927	0,6473	2,6674	1,4964	0,8668	0,108648	0,032637
0,7162	0,566	0,2308	20,063	0,0924	0,6493	2,7033	1,5353	0,9043	0,112194	0,034432

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}06$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,7304	0,564	0,2336	20,151	0,0921	0,6513	2,7391	1,5745	0,9427	0,11580	0,03630
0,7448	0,562	0,2363	20,240	0,0918	0,6534	2,7746	1,6139	0,9820	0,11946	0,03824
0,7592	0,560	0,2390	20,330	0,0915	0,6555	2,8100	1,6535	1,0223	0,12319	0,04026
0,7737	0,558	0,2417	20,422	0,0912	0,6575	2,8452	1,6934	1,0637	0,12697	0,04236
0,7883	0,556	0,2444	20,514	0,0910	0,6597	2,8803	1,7335	1,1060	0,13082	0,04454
0,8031	0,554	0,2470	20,608	0,0907	0,6618	2,9152	1,7739	1,1493	0,13473	0,04680
0,8179	0,552	0,2496	20,703	0,0904	0,6639	2,9500	1,8145	1,1937	0,13871	0,04915
0,8328	0,550	0,2522	20,800	0,0901	0,6661	2,9847	1,8554	1,2392	0,14275	0,05159
0,8478	0,548	0,2548	20,897	0,0898	0,6683	3,0192	1,8965	1,2857	0,14686	0,05413
0,8630	0,546	0,2574	20,996	0,0895	0,6705	3,0536	1,9378	1,3333	0,15103	0,05676
0,8782	0,544	0,2599	21,096	0,0892	0,6727	3,0879	1,9795	1,3820	0,15528	0,05948
0,8936	0,542	0,2624	21,197	0,0889	0,6750	3,1221	2,0213	1,4319	0,15959	0,06231
0,9091	0,540	0,2649	21,300	0,0886	0,6773	3,1562	2,0634	1,4830	0,16397	0,06525
0,9247	0,538	0,2674	21,404	0,0883	0,6796	3,1902	2,1058	1,5352	0,16843	0,06830
0,9405	0,536	0,2699	21,509	0,0880	0,6819	3,2241	2,1485	1,5886	0,17296	0,07146

$d/L_0' = 0{,}08$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0171	0,774	0,0078	15,090	0,1232	0,6494	0,1053	0,0016	0,0000	6,19E-05	2,50E-07
0,0714	0,772	0,0322	15,111	0,1230	0,6506	0,4372	0,0282	0,0017	0,001071	1,81E-05
0,1002	0,770	0,0449	15,131	0,1227	0,6519	0,6105	0,0550	0,0046	0,002098	5,00E-05
0,1230	0,768	0,0548	15,152	0,1225	0,6531	0,7454	0,0819	0,0084	0,003145	9,24E-05
0,1428	0,766	0,0632	15,174	0,1223	0,6544	0,8603	0,1089	0,0129	0,004210	0,000144
0,1606	0,764	0,0706	15,196	0,1220	0,6556	0,9624	0,1361	0,0180	0,005295	0,000204
0,1770	0,762	0,0774	15,218	0,1218	0,6569	1,0553	0,1635	0,0238	0,006400	0,000273
0,1925	0,760	0,0837	15,240	0,1215	0,6582	1,1414	0,1910	0,0301	0,007524	0,000350
0,2072	0,758	0,0895	15,263	0,1213	0,6595	1,2220	0,2186	0,0369	0,008669	0,000436
0,2213	0,756	0,0951	15,287	0,1211	0,6608	1,2982	0,2464	0,0443	0,009834	0,000529
0,2349	0,754	0,1003	15,311	0,1208	0,6621	1,3708	0,2744	0,0522	0,011020	0,000632
0,2481	0,752	0,1053	15,335	0,1206	0,6634	1,4402	0,3025	0,0605	0,012227	0,000743
0,2610	0,750	0,1101	15,360	0,1203	0,6647	1,5070	0,3308	0,0693	0,013456	0,000862
0,2735	0,748	0,1148	15,385	0,1201	0,6661	1,5715	0,3592	0,0786	0,014706	0,000991
0,2859	0,746	0,1193	15,410	0,1199	0,6674	1,6339	0,3878	0,0884	0,015978	0,001129
0,2980	0,744	0,1236	15,436	0,1196	0,6688	1,6944	0,4166	0,0986	0,017272	0,001276
0,3100	0,742	0,1278	15,462	0,1194	0,6702	1,7534	0,4455	0,1093	0,018589	0,001433
0,3218	0,740	0,1319	15,489	0,1191	0,6716	1,8109	0,4745	0,1205	0,019929	0,001600
0,3335	0,738	0,1359	15,517	0,1189	0,6730	1,8670	0,5038	0,1320	0,021292	0,001777
0,3450	0,736	0,1399	15,544	0,1186	0,6744	1,9219	0,5332	0,1441	0,022679	0,001965
0,3565	0,734	0,1437	15,572	0,1184	0,6758	1,9758	0,5628	0,1566	0,024089	0,002164
0,3679	0,732	0,1474	15,601	0,1181	0,6772	2,0286	0,5925	0,1695	0,025524	0,002374
0,3792	0,730	0,1511	15,630	0,1179	0,6786	2,0805	0,6224	0,1830	0,026983	0,002595
0,3904	0,728	0,1547	15,659	0,1176	0,6801	2,1315	0,6524	0,1968	0,028467	0,002828
0,4016	0,726	0,1582	15,689	0,1174	0,6816	2,1817	0,6827	0,2111	0,029976	0,003073

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}08$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,4128	0,724	0,1617	15,720	0,1171	0,6830	2,2312	0,7131	0,2259	0,03151	0,00333
0,4239	0,722	0,1651	15,750	0,1169	0,6845	2,2800	0,7437	0,2412	0,03307	0,00360
0,4350	0,720	0,1685	15,782	0,1166	0,6860	2,3281	0,7744	0,2569	0,03466	0,00389
0,4461	0,718	0,1718	15,814	0,1164	0,6875	2,3757	0,8053	0,2731	0,03627	0,00418
0,4571	0,716	0,1751	15,846	0,1161	0,6890	2,4226	0,8364	0,2897	0,03791	0,00450
0,4682	0,714	0,1783	15,879	0,1158	0,6906	2,4691	0,8677	0,3068	0,03958	0,00482
0,4792	0,712	0,1815	15,912	0,1156	0,6921	2,5150	0,8991	0,3244	0,04128	0,00517
0,4902	0,710	0,1847	15,946	0,1153	0,6937	2,5604	0,9307	0,3425	0,04300	0,00553
0,5013	0,708	0,1878	15,980	0,1151	0,6953	2,6055	0,9625	0,3611	0,04475	0,00590
0,5123	0,706	0,1908	16,015	0,1148	0,6968	2,6501	0,9945	0,3802	0,04654	0,00629
0,5234	0,704	0,1939	16,050	0,1145	0,6984	2,6943	1,0267	0,3998	0,04835	0,00670
0,5344	0,702	0,1969	16,086	0,1143	0,7000	2,7381	1,0590	0,4198	0,05019	0,00712
0,5455	0,700	0,1999	16,122	0,1140	0,7017	2,7816	1,0915	0,4404	0,05206	0,00757
0,5566	0,698	0,2028	16,159	0,1138	0,7033	2,8247	1,1242	0,4615	0,05396	0,00803
0,5677	0,696	0,2057	16,196	0,1135	0,7049	2,8676	1,1571	0,4831	0,05589	0,00851
0,5789	0,694	0,2086	16,234	0,1132	0,7066	2,9101	1,1902	0,5053	0,05785	0,00902
0,5901	0,692	0,2115	16,272	0,1130	0,7083	2,9523	1,2234	0,5279	0,05985	0,00954
0,6013	0,690	0,2143	16,311	0,1127	0,7100	2,9943	1,2569	0,5511	0,06188	0,01009
0,6125	0,688	0,2171	16,350	0,1124	0,7117	3,0360	1,2905	0,5749	0,06394	0,01065
0,6238	0,686	0,2199	16,390	0,1121	0,7134	3,0775	1,3243	0,5992	0,06603	0,01124
0,6351	0,684	0,2227	16,431	0,1119	0,7151	3,1187	1,3583	0,6241	0,06816	0,01185
0,6464	0,682	0,2254	16,472	0,1116	0,7168	3,1597	1,3925	0,6495	0,07032	0,01249
0,6578	0,680	0,2281	16,514	0,1113	0,7186	3,2006	1,4269	0,6755	0,07252	0,01315
0,6692	0,678	0,2308	16,556	0,1111	0,7204	3,2412	1,4615	0,7021	0,07475	0,01384
0,6807	0,676	0,2335	16,599	0,1108	0,7222	3,2816	1,4963	0,7293	0,07702	0,01456
0,6922	0,674	0,2362	16,642	0,1105	0,7240	3,3218	1,5313	0,7571	0,07932	0,01530
0,7038	0,672	0,2388	16,686	0,1102	0,7258	3,3619	1,5665	0,7854	0,08166	0,01607
0,7154	0,670	0,2414	16,731	0,1100	0,7276	3,4018	1,6019	0,8144	0,08403	0,01687
0,7271	0,668	0,2440	16,776	0,1097	0,7294	3,4415	1,6375	0,8440	0,08645	0,01769
0,7388	0,666	0,2466	16,822	0,1094	0,7313	3,4811	1,6733	0,8743	0,08890	0,01855
0,7506	0,664	0,2492	16,869	0,1091	0,7332	3,5206	1,7093	0,9052	0,09139	0,01944
0,7624	0,662	0,2518	16,916	0,1088	0,7351	3,5599	1,7455	0,9367	0,09392	0,02037
0,7743	0,660	0,2543	16,963	0,1086	0,7370	3,5991	1,7819	0,9689	0,09649	0,02133
0,7862	0,658	0,2568	17,012	0,1083	0,7389	3,6382	1,8185	1,0017	0,09910	0,02232
0,7982	0,656	0,2593	17,061	0,1080	0,7408	3,6771	1,8553	1,0353	0,10175	0,02335
0,8103	0,654	0,2618	17,110	0,1077	0,7428	3,7160	1,8923	1,0695	0,10444	0,02441
0,8224	0,652	0,2643	17,161	0,1074	0,7448	3,7547	1,9296	1,1044	0,10718	0,02551
0,8345	0,650	0,2668	17,211	0,1071	0,7467	3,7934	1,9670	1,1400	0,10995	0,02666
0,8468	0,648	0,2692	17,263	0,1068	0,7487	3,8319	2,0047	1,1764	0,11277	0,02784
0,8591	0,646	0,2717	17,315	0,1066	0,7508	3,8704	2,0426	1,2135	0,11564	0,02906
0,8715	0,644	0,2741	17,368	0,1063	0,7528	3,9088	2,0807	1,2513	0,11855	0,03033
0,8839	0,642	0,2765	17,422	0,1060	0,7548	3,9471	2,1190	1,2898	0,12150	0,03164
0,8964	0,640	0,2789	17,476	0,1057	0,7569	3,9854	2,1575	1,3292	0,12450	0,03300
0,9090	0,638	0,2813	17,531	0,1054	0,7590	4,0236	2,1963	1,3693	0,12754	0,03440
0,9217	0,636	0,2837	17,587	0,1051	0,7611	4,0617	2,2353	1,4102	0,13064	0,03585

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}10$										
$\frac{H}{L_0'}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,06243	0,884	0,0274	14,497	0,1408	0,7103	0,4384	0,0211	0,0010	0,000558	4,71E-06
0,09116	0,882	0,0398	14,499	0,1406	0,7115	0,6376	0,0446	0,0031	0,001185	1,47E-05
0,11328	0,880	0,0492	14,502	0,1403	0,7126	0,7891	0,0681	0,0058	0,001825	2,83E-05
0,13215	0,878	0,0572	14,505	0,1401	0,7138	0,9168	0,0919	0,0091	0,002476	4,50E-05
0,14901	0,876	0,0642	14,509	0,1399	0,7149	1,0297	0,1157	0,0128	0,003139	6,47E-05
0,16450	0,874	0,0706	14,512	0,1396	0,7161	1,1322	0,1397	0,0171	0,003814	8,73E-05
0,17897	0,872	0,0764	14,516	0,1394	0,7173	1,2269	0,1638	0,0217	0,004501	0,000113
0,19266	0,870	0,0819	14,521	0,1392	0,7185	1,3154	0,1880	0,0267	0,005201	0,000141
0,20572	0,868	0,0871	14,525	0,1390	0,7197	1,3991	0,2124	0,0321	0,005913	0,000172
0,21828	0,866	0,0920	14,530	0,1387	0,7209	1,4786	0,2369	0,0379	0,006638	0,000206
0,23042	0,864	0,0967	14,535	0,1385	0,7221	1,5547	0,2615	0,0440	0,007376	0,000243
0,24220	0,862	0,1013	14,541	0,1383	0,7233	1,6278	0,2863	0,0505	0,008127	0,000283
0,25368	0,860	0,1056	14,546	0,1380	0,7245	1,6983	0,3112	0,0573	0,008891	0,000327
0,26491	0,858	0,1098	14,552	0,1378	0,7257	1,7666	0,3362	0,0644	0,009669	0,000373
0,27591	0,856	0,1139	14,559	0,1376	0,7270	1,8328	0,3614	0,0719	0,010461	0,000423
0,28672	0,854	0,1179	14,565	0,1373	0,7282	1,8973	0,3867	0,0797	0,011266	0,000476
0,29736	0,852	0,1217	14,572	0,1371	0,7295	1,9601	0,4121	0,0879	0,012085	0,000532
0,30785	0,850	0,1255	14,579	0,1368	0,7307	2,0215	0,4377	0,0963	0,012919	0,000592
0,31821	0,848	0,1292	14,587	0,1366	0,7320	2,0815	0,4635	0,1051	0,013766	0,000656
0,32845	0,846	0,1328	14,594	0,1364	0,7333	2,1403	0,4893	0,1142	0,014629	0,000723
0,33859	0,844	0,1363	14,603	0,1361	0,7346	2,1980	0,5153	0,1236	0,015506	0,000795
0,34864	0,842	0,1397	14,611	0,1359	0,7359	2,2547	0,5415	0,1333	0,016398	0,000870
0,35861	0,840	0,1431	14,620	0,1357	0,7372	2,3104	0,5677	0,1434	0,017306	0,000950
0,36851	0,838	0,1465	14,629	0,1354	0,7385	2,3652	0,5942	0,1538	0,018229	0,001034
0,37835	0,836	0,1498	14,638	0,1352	0,7398	2,4192	0,6208	0,1645	0,019167	0,001122
0,38813	0,834	0,1530	14,648	0,1349	0,7411	2,4725	0,6475	0,1755	0,020122	0,001215
0,39787	0,832	0,1562	14,657	0,1347	0,7425	2,5251	0,6743	0,1868	0,021092	0,001313
0,40756	0,830	0,1593	14,668	0,1344	0,7438	2,5770	0,7013	0,1985	0,022079	0,001415
0,41722	0,828	0,1624	14,678	0,1342	0,7452	2,6282	0,7285	0,2105	0,023082	0,001523
0,42684	0,826	0,1655	14,689	0,1340	0,7465	2,6789	0,7558	0,2228	0,024102	0,001635
0,43644	0,824	0,1685	14,700	0,1337	0,7479	2,7291	0,7833	0,2354	0,025139	0,001753
0,44601	0,822	0,1715	14,712	0,1335	0,7493	2,7787	0,8109	0,2484	0,026193	0,001877
0,45557	0,820	0,1745	14,724	0,1332	0,7507	2,8279	0,8386	0,2617	0,027264	0,002006
0,46511	0,818	0,1774	14,736	0,1330	0,7521	2,8765	0,8665	0,2754	0,028353	0,002142
0,47464	0,816	0,1803	14,748	0,1327	0,7535	2,9248	0,8946	0,2894	0,029460	0,002283
0,48416	0,814	0,1831	14,761	0,1325	0,7549	2,9727	0,9228	0,3037	0,030585	0,002430
0,49368	0,812	0,1860	14,774	0,1322	0,7564	3,0201	0,9511	0,3183	0,031729	0,002584
0,50320	0,810	0,1888	14,788	0,1320	0,7578	3,0672	0,9797	0,3333	0,032891	0,002745
0,51271	0,808	0,1916	14,802	0,1317	0,7593	3,1140	1,0083	0,3487	0,034071	0,002913
0,52223	0,806	0,1943	14,816	0,1315	0,7607	3,1604	1,0372	0,3644	0,035271	0,003088
0,53175	0,804	0,1971	14,830	0,1312	0,7622	3,2065	1,0661	0,3805	0,036491	0,003270
0,54128	0,802	0,1998	14,845	0,1309	0,7637	3,2523	1,0953	0,3969	0,037730	0,003459
0,55082	0,800	0,2025	14,860	0,1307	0,7652	3,2979	1,1246	0,4137	0,038988	0,003657
0,56037	0,798	0,2052	14,876	0,1304	0,7667	3,3431	1,1541	0,4308	0,040267	0,003862
0,56994	0,796	0,2078	14,892	0,1302	0,7682	3,3881	1,1837	0,4484	0,041567	0,004076

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}10$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,5795	0,794	0,2105	14,908	0,1299	0,7697	3,4329	1,2135	0,4663	0,04289	0,00430
0,5891	0,792	0,2131	14,925	0,1297	0,7713	3,4775	1,2434	0,4845	0,04423	0,00453
0,5987	0,790	0,2157	14,941	0,1294	0,7728	3,5218	1,2735	0,5032	0,04559	0,00477
0,6084	0,788	0,2183	14,959	0,1291	0,7744	3,5659	1,3038	0,5222	0,04697	0,00502
0,6180	0,786	0,2208	14,976	0,1289	0,7759	3,6098	1,3343	0,5417	0,04838	0,00528
0,6277	0,784	0,2234	14,995	0,1286	0,7775	3,6535	1,3649	0,5615	0,04981	0,00555
0,6374	0,782	0,2259	15,013	0,1284	0,7791	3,6971	1,3956	0,5817	0,05126	0,00583
0,6471	0,780	0,2284	15,032	0,1281	0,7807	3,7405	1,4266	0,6023	0,05273	0,00612
0,6568	0,778	0,2309	15,051	0,1278	0,7823	3,7837	1,4577	0,6233	0,05423	0,00642
0,6666	0,776	0,2334	15,070	0,1276	0,7839	3,8267	1,4890	0,6448	0,05575	0,00673
0,6764	0,774	0,2359	15,090	0,1273	0,7856	3,8696	1,5205	0,6666	0,05729	0,00705
0,6863	0,772	0,2384	15,111	0,1270	0,7872	3,9124	1,5521	0,6889	0,05886	0,00739
0,6961	0,770	0,2408	15,131	0,1268	0,7889	3,9550	1,5839	0,7116	0,06045	0,00774
0,7060	0,768	0,2433	15,152	0,1265	0,7906	3,9976	1,6159	0,7348	0,06206	0,00810
0,7160	0,766	0,2457	15,174	0,1262	0,7922	4,0399	1,6480	0,7583	0,06370	0,00847
0,7259	0,764	0,2481	15,196	0,1260	0,7939	4,0822	1,6804	0,7824	0,06537	0,00886
0,7359	0,762	0,2506	15,218	0,1257	0,7956	4,1244	1,7129	0,8068	0,06706	0,00926
0,7460	0,760	0,2530	15,240	0,1254	0,7974	4,1664	1,7455	0,8318	0,06878	0,00968
0,7560	0,758	0,2553	15,263	0,1251	0,7991	4,2084	1,7784	0,8571	0,07052	0,01011
0,7661	0,756	0,2577	15,287	0,1249	0,8008	4,2503	1,8115	0,8830	0,07229	0,01055
0,7763	0,754	0,2601	15,311	0,1246	0,8026	4,2921	1,8447	0,9093	0,07409	0,01101
0,7865	0,752	0,2624	15,335	0,1243	0,8044	4,3338	1,8781	0,9361	0,07591	0,01149
0,7967	0,750	0,2648	15,360	0,1240	0,8062	4,3754	1,9117	0,9634	0,07777	0,01198
0,8070	0,748	0,2671	15,385	0,1238	0,8079	4,4169	1,9455	0,9912	0,07965	0,01249
0,8173	0,746	0,2695	15,410	0,1235	0,8098	4,4584	1,9794	1,0194	0,08155	0,01302
0,8276	0,744	0,2718	15,436	0,1232	0,8116	4,4998	2,0136	1,0482	0,08349	0,01356
0,8380	0,742	0,2741	15,462	0,1229	0,8134	4,5412	2,0479	1,0775	0,08546	0,01413
0,8485	0,740	0,2764	15,489	0,1227	0,8153	4,5825	2,0825	1,1073	0,08746	0,01471
0,8590	0,738	0,2787	15,517	0,1224	0,8171	4,6237	2,1172	1,1376	0,08948	0,01531
0,8695	0,736	0,2810	15,544	0,1221	0,8190	4,6649	2,1521	1,1685	0,09154	0,01594

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}12$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0542	0,992	0,0231	14,737	0,1580	0,7597	0,4278	0,0159	0,0006	0,000295	1,13E-06
0,0825	0,990	0,0350	14,726	0,1577	0,7608	0,6483	0,0365	0,0021	0,000681	4,00E-06
0,1036	0,988	0,0438	14,715	0,1575	0,7618	0,8121	0,0572	0,0042	0,001074	8,01E-06
0,1215	0,986	0,0512	14,705	0,1573	0,7629	0,9490	0,0780	0,0067	0,001475	1,30E-05
0,1374	0,984	0,0576	14,695	0,1571	0,7640	1,0695	0,0989	0,0095	0,001882	1,90E-05
0,1518	0,982	0,0635	14,685	0,1568	0,7651	1,1785	0,1200	0,0127	0,002298	2,58E-05
0,1653	0,980	0,0689	14,675	0,1566	0,7662	1,2791	0,1411	0,0162	0,002720	3,36E-05
0,1780	0,978	0,0740	14,666	0,1564	0,7673	1,3730	0,1623	0,0201	0,003151	4,23E-05
0,1901	0,976	0,0788	14,656	0,1562	0,7684	1,4617	0,1837	0,0242	0,003589	5,20E-05
0,2017	0,974	0,0833	14,647	0,1559	0,7695	1,5459	0,2052	0,0286	0,004035	6,26E-05
0,2129	0,972	0,0876	14,639	0,1557	0,7706	1,6264	0,2267	0,0332	0,004489	7,42E-05
0,2237	0,970	0,0918	14,630	0,1555	0,7718	1,7037	0,2484	0,0381	0,004951	8,68E-05
0,2342	0,968	0,0958	14,622	0,1553	0,7729	1,7782	0,2702	0,0433	0,005421	0,000100
0,2445	0,966	0,0996	14,614	0,1550	0,7740	1,8503	0,2921	0,0487	0,005900	0,000115
0,2545	0,964	0,1034	14,606	0,1548	0,7752	1,9203	0,3142	0,0544	0,006387	0,000131
0,2643	0,962	0,1070	14,598	0,1546	0,7763	1,9883	0,3363	0,0603	0,006883	0,000148
0,2740	0,960	0,1106	14,591	0,1543	0,7775	2,0546	0,3586	0,0665	0,007387	0,000166
0,2835	0,958	0,1141	14,584	0,1541	0,7786	2,1194	0,3810	0,0729	0,007900	0,000185
0,2928	0,956	0,1175	14,577	0,1539	0,7798	2,1827	0,4035	0,0795	0,008422	0,000206
0,3021	0,954	0,1208	14,570	0,1537	0,7810	2,2447	0,4261	0,0864	0,008953	0,000227
0,3112	0,952	0,1240	14,564	0,1534	0,7822	2,3056	0,4488	0,0935	0,009493	0,000251
0,3202	0,950	0,1272	14,558	0,1532	0,7834	2,3653	0,4717	0,1008	0,010043	0,000275
0,3292	0,948	0,1304	14,552	0,1530	0,7846	2,4241	0,4947	0,1084	0,010602	0,000301
0,3381	0,946	0,1335	14,546	0,1527	0,7858	2,4819	0,5178	0,1162	0,011170	0,000329
0,3468	0,944	0,1365	14,541	0,1525	0,7870	2,5388	0,5410	0,1243	0,011748	0,000357
0,3556	0,942	0,1395	14,536	0,1522	0,7882	2,5950	0,5643	0,1325	0,012336	0,000388
0,3643	0,940	0,1424	14,531	0,1520	0,7894	2,6503	0,5878	0,1410	0,012934	0,000420
0,3729	0,938	0,1454	14,526	0,1518	0,7906	2,7050	0,6114	0,1498	0,013541	0,000454
0,3815	0,936	0,1482	14,522	0,1515	0,7919	2,7591	0,6351	0,1588	0,014159	0,000490
0,3900	0,934	0,1511	14,518	0,1513	0,7931	2,8125	0,6589	0,1680	0,014788	0,000527
0,3985	0,932	0,1539	14,514	0,1511	0,7944	2,8653	0,6829	0,1775	0,015427	0,000566
0,4070	0,930	0,1567	14,510	0,1508	0,7956	2,9176	0,7069	0,1871	0,016076	0,000608
0,4154	0,928	0,1594	14,507	0,1506	0,7969	2,9694	0,7311	0,1971	0,016736	0,000651
0,4238	0,926	0,1621	14,503	0,1503	0,7982	3,0206	0,7555	0,2073	0,017407	0,000696
0,4322	0,924	0,1648	14,501	0,1501	0,7994	3,0715	0,7800	0,2177	0,018089	0,000744
0,4406	0,922	0,1675	14,498	0,1499	0,8007	3,1219	0,8046	0,2283	0,018782	0,000793
0,4489	0,920	0,1701	14,495	0,1496	0,8020	3,1719	0,8293	0,2392	0,019487	0,000845
0,4573	0,918	0,1727	14,493	0,1494	0,8033	3,2215	0,8541	0,2504	0,020203	0,000900
0,4656	0,916	0,1753	14,491	0,1491	0,8046	3,2707	0,8791	0,2618	0,020931	0,000956
0,4739	0,914	0,1779	14,490	0,1489	0,8060	3,3196	0,9042	0,2734	0,021670	0,001016
0,4823	0,912	0,1805	14,488	0,1486	0,8073	3,3681	0,9295	0,2853	0,022422	0,001078
0,4906	0,910	0,1830	14,487	0,1484	0,8086	3,4164	0,9549	0,2974	0,023185	0,001142
0,4989	0,908	0,1855	14,486	0,1482	0,8100	3,4643	0,9804	0,3098	0,023961	0,001209
0,5072	0,906	0,1880	14,486	0,1479	0,8113	3,5120	1,0061	0,3225	0,024750	0,001280
0,5155	0,904	0,1905	14,485	0,1477	0,8127	3,5594	1,0318	0,3354	0,025550	0,001353

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}12$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,5238	0,902	0,1930	14,485	0,1474	0,8140	3,6065	1,0578	0,3486	0,026364	0,001429
0,5321	0,900	0,1955	14,485	0,1472	0,8154	3,6534	1,0838	0,3620	0,027191	0,001508
0,5404	0,898	0,1979	14,486	0,1469	0,8168	3,7001	1,1100	0,3757	0,028030	0,001591
0,5488	0,896	0,2003	14,487	0,1467	0,8182	3,7465	1,1364	0,3897	0,028883	0,001677
0,5571	0,894	0,2027	14,488	0,1464	0,8196	3,7927	1,1629	0,4040	0,029750	0,001766
0,5654	0,892	0,2051	14,489	0,1462	0,8210	3,8388	1,1895	0,4185	0,030630	0,001859
0,5738	0,890	0,2075	14,490	0,1459	0,8224	3,8846	1,2162	0,4333	0,031524	0,001956
0,5822	0,888	0,2099	14,492	0,1457	0,8238	3,9303	1,2431	0,4483	0,032432	0,002056
0,5905	0,886	0,2123	14,494	0,1454	0,8252	3,9758	1,2702	0,4637	0,033354	0,002161
0,5989	0,884	0,2146	14,497	0,1452	0,8267	4,0211	1,2974	0,4793	0,034290	0,002269
0,6073	0,882	0,2170	14,499	0,1449	0,8281	4,0663	1,3247	0,4952	0,035241	0,002382
0,6158	0,880	0,2193	14,502	0,1447	0,8296	4,1113	1,3522	0,5114	0,036207	0,002499
0,6242	0,878	0,2216	14,505	0,1444	0,8310	4,1562	1,3798	0,5279	0,037188	0,002620
0,6327	0,876	0,2239	14,509	0,1441	0,8325	4,2009	1,4076	0,5447	0,038184	0,002746
0,6411	0,874	0,2262	14,512	0,1439	0,8340	4,2455	1,4355	0,5618	0,039195	0,002876
0,6496	0,872	0,2285	14,516	0,1436	0,8355	4,2900	1,4636	0,5792	0,040222	0,003012
0,6582	0,870	0,2308	14,521	0,1434	0,8370	4,3344	1,4918	0,5969	0,041264	0,003152
0,6667	0,868	0,2331	14,525	0,1431	0,8385	4,3787	1,5202	0,6149	0,042322	0,003298
0,6752	0,866	0,2353	14,530	0,1429	0,8400	4,4228	1,5487	0,6332	0,043397	0,003448
0,6838	0,864	0,2376	14,535	0,1426	0,8416	4,4669	1,5773	0,6518	0,044488	0,003605
0,6924	0,862	0,2399	14,541	0,1423	0,8431	4,5109	1,6062	0,6708	0,045595	0,003767
0,7011	0,860	0,2421	14,546	0,1421	0,8447	4,5547	1,6351	0,6901	0,046720	0,003934
0,7097	0,858	0,2443	14,552	0,1418	0,8462	4,5985	1,6643	0,7096	0,047861	0,004108
0,7184	0,856	0,2466	14,559	0,1415	0,8478	4,6423	1,6935	0,7296	0,049020	0,004288
0,7271	0,854	0,2488	14,565	0,1413	0,8494	4,6859	1,7230	0,7498	0,050196	0,004474
0,7358	0,852	0,2510	14,572	0,1410	0,8510	4,7295	1,7526	0,7704	0,051389	0,004666
0,7446	0,850	0,2532	14,579	0,1408	0,8526	4,7730	1,7823	0,7913	0,052601	0,004866
0,7534	0,848	0,2554	14,587	0,1405	0,8542	4,8165	1,8122	0,8126	0,053831	0,005072
0,7622	0,846	0,2576	14,594	0,1402	0,8558	4,8599	1,8423	0,8342	0,055079	0,005285
0,7710	0,844	0,2598	14,603	0,1400	0,8574	4,9032	1,8726	0,8562	0,056346	0,005506
0,7799	0,842	0,2620	14,611	0,1397	0,8591	4,9465	1,9029	0,8785	0,057632	0,005734
0,7888	0,840	0,2642	14,620	0,1394	0,8607	4,9897	1,9335	0,9012	0,058936	0,005970
0,7978	0,838	0,2663	14,629	0,1392	0,8624	5,0329	1,9642	0,9243	0,060261	0,006214
0,8067	0,836	0,2685	14,638	0,1389	0,8641	5,0761	1,9951	0,9477	0,061604	0,006466
0,8157	0,834	0,2707	14,648	0,1386	0,8657	5,1192	2,0262	0,9715	0,062968	0,006726
0,8248	0,832	0,2728	14,657	0,1383	0,8674	5,1623	2,0574	0,9956	0,064352	0,006995
0,8338	0,830	0,2750	14,668	0,1381	0,8691	5,2054	2,0888	1,0202	0,065756	0,007273
0,8429	0,828	0,2771	14,678	0,1378	0,8709	5,2484	2,1203	1,0451	0,067181	0,007561
0,8521	0,826	0,2793	14,689	0,1375	0,8726	5,2914	2,1520	1,0705	0,068626	0,007857
0,8612	0,824	0,2814	14,700	0,1372	0,8743	5,3344	2,1839	1,0962	0,070093	0,008164

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}15$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0511	1,150	0,0206	16,304	0,1831	0,8192	0,4674	0,0146	0,0005	0,000158	9,35E-08
0,0755	1,148	0,0304	16,275	0,1829	0,8202	0,6888	0,0316	0,0016	0,000345	3,15E-07
0,0940	1,146	0,0378	16,247	0,1827	0,8212	0,8559	0,0487	0,0031	0,000536	6,36E-07
0,1097	1,144	0,0440	16,219	0,1824	0,8222	0,9963	0,0659	0,0049	0,000730	1,05E-06
0,1237	1,142	0,0495	16,191	0,1822	0,8232	1,1202	0,0832	0,0069	0,000928	1,57E-06
0,1364	1,140	0,0545	16,164	0,1820	0,8242	1,2325	0,1005	0,0092	0,001129	2,19E-06
0,1482	1,138	0,0590	16,136	0,1818	0,8252	1,3362	0,1180	0,0117	0,001334	2,91E-06
0,1594	1,136	0,0633	16,109	0,1816	0,8262	1,4331	0,1355	0,0144	0,001543	3,75E-06
0,1700	1,134	0,0674	16,082	0,1813	0,8272	1,5246	0,1531	0,0173	0,001755	4,71E-06
0,1801	1,132	0,0713	16,055	0,1811	0,8282	1,6116	0,1708	0,0204	0,001972	5,80E-06
0,1898	1,130	0,0749	16,029	0,1809	0,8293	1,6947	0,1886	0,0236	0,002192	7,01E-06
0,1993	1,128	0,0785	16,003	0,1807	0,8303	1,7746	0,2065	0,0271	0,002416	8,37E-06
0,2084	1,126	0,0819	15,977	0,1804	0,8313	1,8516	0,2244	0,0307	0,002644	9,88E-06
0,2173	1,124	0,0852	15,951	0,1802	0,8324	1,9261	0,2425	0,0345	0,002877	1,15E-05
0,2260	1,122	0,0884	15,925	0,1800	0,8334	1,9984	0,2606	0,0385	0,003113	1,34E-05
0,2345	1,120	0,0916	15,900	0,1798	0,8345	2,0687	0,2788	0,0426	0,003354	1,54E-05
0,2428	1,118	0,0946	15,875	0,1795	0,8355	2,1373	0,2971	0,0469	0,003598	1,75E-05
0,2510	1,116	0,0976	15,850	0,1793	0,8366	2,2042	0,3155	0,0514	0,003847	1,99E-05
0,2591	1,114	0,1005	15,825	0,1791	0,8377	2,2696	0,3340	0,0560	0,004101	2,25E-05
0,2670	1,112	0,1034	15,801	0,1788	0,8387	2,3337	0,3526	0,0608	0,004358	2,52E-05
0,2749	1,110	0,1062	15,776	0,1786	0,8398	2,3966	0,3712	0,0657	0,004621	2,82E-05
0,2826	1,108	0,1089	15,752	0,1784	0,8409	2,4583	0,3900	0,0708	0,004887	3,14E-05
0,2902	1,106	0,1116	15,728	0,1782	0,8420	2,5190	0,4088	0,0760	0,005159	3,49E-05
0,2978	1,104	0,1143	15,705	0,1779	0,8430	2,5787	0,4278	0,0814	0,005434	3,86E-05
0,3053	1,102	0,1169	15,681	0,1777	0,8441	2,6376	0,4468	0,0870	0,005715	4,26E-05
0,3127	1,100	0,1195	15,658	0,1775	0,8452	2,6956	0,4659	0,0927	0,006000	4,68E-05
0,3201	1,098	0,1220	15,635	0,1772	0,8463	2,7528	0,4852	0,0986	0,006291	5,13E-05
0,3274	1,096	0,1245	15,613	0,1770	0,8474	2,8092	0,5045	0,1046	0,006586	5,62E-05
0,3347	1,094	0,1270	15,590	0,1768	0,8485	2,8650	0,5239	0,1107	0,006886	6,13E-05
0,3419	1,092	0,1295	15,568	0,1765	0,8497	2,9202	0,5434	0,1171	0,007191	6,67E-05
0,3491	1,090	0,1319	15,546	0,1763	0,8508	2,9747	0,5630	0,1235	0,007501	7,25E-05
0,3562	1,088	0,1343	15,524	0,1761	0,8519	3,0287	0,5827	0,1302	0,007817	7,87E-05
0,3633	1,086	0,1367	15,502	0,1758	0,8530	3,0821	0,6025	0,1369	0,008137	8,52E-05
0,3704	1,084	0,1391	15,481	0,1756	0,8542	3,1351	0,6224	0,1439	0,008463	9,21E-05
0,3775	1,082	0,1414	15,460	0,1754	0,8553	3,1876	0,6424	0,1510	0,008795	9,93E-05
0,3845	1,080	0,1437	15,439	0,1751	0,8564	3,2396	0,6625	0,1582	0,009131	0,000107
0,3915	1,078	0,1460	15,418	0,1749	0,8576	3,2911	0,6826	0,1656	0,009474	0,000115
0,3984	1,076	0,1483	15,398	0,1747	0,8587	3,3423	0,7029	0,1732	0,009822	0,000124
0,4054	1,074	0,1506	15,377	0,1744	0,8599	3,3931	0,7233	0,1809	0,010175	0,000133
0,4123	1,072	0,1528	15,357	0,1742	0,8611	3,4436	0,7438	0,1888	0,010535	0,000142
0,4193	1,070	0,1551	15,337	0,1740	0,8622	3,4937	0,7644	0,1968	0,010900	0,000152
0,4262	1,068	0,1573	15,318	0,1737	0,8634	3,5434	0,7851	0,2050	0,011271	0,000163
0,4331	1,066	0,1595	15,298	0,1735	0,8646	3,5929	0,8059	0,2134	0,011648	0,000174
0,4400	1,064	0,1617	15,279	0,1733	0,8658	3,6420	0,8268	0,2219	0,012031	0,000185
0,4469	1,062	0,1638	15,260	0,1730	0,8670	3,6909	0,8478	0,2306	0,012420	0,000197

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}15$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,4537	1,060	0,1660	15,241	0,1728	0,8682	3,7395	0,8689	0,2395	0,01282	0,000210
0,4606	1,058	0,1682	15,223	0,1725	0,8694	3,7879	0,8901	0,2485	0,01322	0,000224
0,4675	1,056	0,1703	15,205	0,1723	0,8706	3,8360	0,9114	0,2576	0,01363	0,000237
0,4743	1,054	0,1724	15,186	0,1721	0,8718	3,8839	0,9328	0,2670	0,01404	0,000252
0,4812	1,052	0,1746	15,169	0,1718	0,8730	3,9315	0,9544	0,2765	0,01446	0,000267
0,4880	1,050	0,1767	15,151	0,1716	0,8742	3,9790	0,9760	0,2862	0,01489	0,000284
0,4949	1,048	0,1788	15,134	0,1713	0,8755	4,0262	0,9977	0,2960	0,01532	0,000300
0,5018	1,046	0,1809	15,116	0,1711	0,8767	4,0733	1,0196	0,3061	0,01577	0,000318
0,5086	1,044	0,1829	15,099	0,1709	0,8779	4,1201	1,0415	0,3163	0,01621	0,000336
0,5155	1,042	0,1850	15,083	0,1706	0,8792	4,1669	1,0636	0,3266	0,01667	0,000355
0,5224	1,040	0,1871	15,066	0,1704	0,8804	4,2134	1,0858	0,3372	0,01713	0,000375
0,5293	1,038	0,1891	15,050	0,1701	0,8817	4,2598	1,1081	0,3479	0,01760	0,000396
0,5361	1,036	0,1912	15,034	0,1699	0,8830	4,3060	1,1305	0,3588	0,01808	0,000418
0,5430	1,034	0,1932	15,018	0,1696	0,8842	4,3521	1,1530	0,3699	0,01856	0,000440
0,5499	1,032	0,1953	15,002	0,1694	0,8855	4,3981	1,1756	0,3812	0,01905	0,000464
0,5568	1,030	0,1973	14,987	0,1691	0,8868	4,4439	1,1984	0,3926	0,01955	0,000489
0,5637	1,028	0,1993	14,972	0,1689	0,8881	4,4896	1,2212	0,4042	0,02006	0,000514
0,5707	1,026	0,2014	14,957	0,1687	0,8894	4,5352	1,2442	0,4160	0,02058	0,000541
0,5776	1,024	0,2034	14,942	0,1684	0,8907	4,5807	1,2673	0,4280	0,02110	0,000569
0,5846	1,022	0,2054	14,927	0,1682	0,8920	4,6261	1,2905	0,4402	0,02163	0,000598
0,5915	1,020	0,2074	14,913	0,1679	0,8933	4,6714	1,3138	0,4526	0,02217	0,000628
0,5985	1,018	0,2094	14,899	0,1677	0,8946	4,7165	1,3372	0,4652	0,02271	0,000659
0,6055	1,016	0,2114	14,885	0,1674	0,8960	4,7616	1,3608	0,4780	0,02327	0,000692
0,6125	1,014	0,2134	14,872	0,1672	0,8973	4,8067	1,3845	0,4909	0,02383	0,000725
0,6195	1,012	0,2154	14,858	0,1669	0,8986	4,8516	1,4082	0,5041	0,02441	0,000760
0,6265	1,010	0,2173	14,845	0,1667	0,9000	4,8965	1,4322	0,5175	0,02499	0,000797
0,6335	1,008	0,2193	14,832	0,1664	0,9014	4,9412	1,4562	0,5310	0,02558	0,000835
0,6406	1,006	0,2213	14,819	0,1662	0,9027	4,9860	1,4803	0,5448	0,02617	0,000874
0,6476	1,004	0,2232	14,807	0,1659	0,9041	5,0306	1,5046	0,5588	0,02678	0,000915
0,6547	1,002	0,2252	14,795	0,1657	0,9055	5,0752	1,5290	0,5729	0,02740	0,000957
0,6618	1,000	0,2272	14,783	0,1654	0,9068	5,1198	1,5535	0,5873	0,02802	0,001001
0,6689	0,998	0,2291	14,771	0,1652	0,9082	5,1643	1,5782	0,6019	0,02866	0,001047
0,6761	0,996	0,2311	14,759	0,1649	0,9096	5,2088	1,6029	0,6168	0,02930	0,001094
0,6832	0,994	0,2330	14,748	0,1646	0,9110	5,2532	1,6278	0,6318	0,02996	0,001143
0,6904	0,992	0,2350	14,737	0,1644	0,9124	5,2976	1,6528	0,6470	0,03062	0,001194
0,6976	0,990	0,2369	14,726	0,1641	0,9139	5,3419	1,6780	0,6625	0,03129	0,001247
0,7048	0,988	0,2389	14,715	0,1639	0,9153	5,3862	1,7033	0,6782	0,03198	0,001301
0,7120	0,986	0,2408	14,705	0,1636	0,9167	5,4305	1,7287	0,6941	0,03267	0,001358
0,7193	0,984	0,2427	14,695	0,1634	0,9182	5,4747	1,7542	0,7102	0,03337	0,001416
0,7265	0,982	0,2447	14,685	0,1631	0,9196	5,5189	1,7798	0,7266	0,03409	0,001477
0,7338	0,980	0,2466	14,675	0,1629	0,9211	5,5631	1,8056	0,7432	0,03481	0,001540
0,7411	0,978	0,2485	14,666	0,1626	0,9225	5,6073	1,8316	0,7600	0,03555	0,001605
0,7485	0,976	0,2504	14,656	0,1623	0,9240	5,6515	1,8576	0,7771	0,03629	0,001672
0,7558	0,974	0,2524	14,647	0,1621	0,9255	5,6957	1,8838	0,7944	0,03705	0,001742
0,7632	0,972	0,2543	14,639	0,1618	0,9270	5,7398	1,9101	0,8119	0,03782	0,001814

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}15$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,7706	0,970	0,2562	14,630	0,1616	0,9285	5,7839	1,9366	0,8297	0,038595	0,001888
0,7780	0,968	0,2581	14,622	0,1613	0,9300	5,8281	1,9631	0,8478	0,039385	0,001965
0,7855	0,966	0,2600	14,614	0,1610	0,9315	5,8722	1,9899	0,8661	0,040186	0,002045
0,7929	0,964	0,2620	14,606	0,1608	0,9330	5,9163	2,0167	0,8846	0,040999	0,002128
0,8004	0,962	0,2639	14,598	0,1605	0,9345	5,9605	2,0437	0,9034	0,041824	0,002213
0,8080	0,960	0,2658	14,591	0,1602	0,9361	6,0046	2,0708	0,9224	0,042660	0,002301
0,8155	0,958	0,2677	14,584	0,1600	0,9376	6,0487	2,0981	0,9417	0,043508	0,002392
0,8231	0,956	0,2696	14,577	0,1597	0,9392	6,0929	2,1255	0,9613	0,044369	0,002486
0,8307	0,954	0,2715	14,570	0,1595	0,9407	6,1370	2,1531	0,9811	0,045242	0,002583
0,8383	0,952	0,2734	14,564	0,1592	0,9423	6,1812	2,1808	1,0012	0,046127	0,002684

$d/L_0' = 0{,}20$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0497	1,412	0,0181	22,111	0,2248	0,8895	0,5587	0,0154	0,0005	6,63E-05	-1,2E-07
0,0814	1,408	0,0296	21,988	0,2244	0,8913	0,9109	0,0409	0,0023	0,000178	-5,2E-07
0,1044	1,404	0,0379	21,867	0,2239	0,8932	1,1639	0,0665	0,0047	0,000294	-1,1E-06
0,1236	1,400	0,0448	21,746	0,2235	0,8950	1,3738	0,0924	0,0077	0,000415	-1,8E-06
0,1407	1,396	0,0508	21,627	0,2230	0,8968	1,5581	0,1184	0,0112	0,000539	-2,6E-06
0,1563	1,392	0,0563	21,509	0,2225	0,8987	1,7251	0,1447	0,0151	0,000669	-3,5E-06
0,1709	1,388	0,0615	21,392	0,2221	0,9006	1,8794	0,1712	0,0194	0,000802	-4,5E-06
0,1847	1,384	0,0662	21,276	0,2216	0,9024	2,0239	0,1979	0,0242	0,000941	-5,6E-06
0,1978	1,380	0,0708	21,162	0,2212	0,9043	2,1607	0,2248	0,0293	0,001085	-6,7E-06
0,2105	1,376	0,0752	21,048	0,2207	0,9062	2,2911	0,2520	0,0348	0,001233	-8,0E-06
0,2227	1,372	0,0793	20,936	0,2202	0,9081	2,4163	0,2794	0,0406	0,001387	-9,3E-06
0,2347	1,368	0,0834	20,824	0,2198	0,9100	2,5369	0,3070	0,0468	0,001546	-1,1E-05
0,2463	1,364	0,0873	20,714	0,2193	0,9119	2,6537	0,3348	0,0533	0,001711	-1,2E-05
0,2577	1,360	0,0911	20,605	0,2188	0,9139	2,7671	0,3628	0,0602	0,001881	-1,4E-05
0,2689	1,356	0,0949	20,497	0,2184	0,9158	2,8777	0,3911	0,0674	0,002057	-1,5E-05
0,2799	1,352	0,0985	20,390	0,2179	0,9178	2,9856	0,4197	0,0749	0,002239	-1,7E-05
0,2907	1,348	0,1021	20,284	0,2174	0,9198	3,0912	0,4484	0,0828	0,002427	-1,9E-05
0,3015	1,344	0,1056	20,180	0,2170	0,9217	3,1948	0,4774	0,0910	0,002621	-2,0E-05
0,3121	1,340	0,1091	20,076	0,2165	0,9237	3,2966	0,5067	0,0996	0,002822	-2,2E-05
0,3226	1,336	0,1125	19,974	0,2160	0,9257	3,3967	0,5362	0,1085	0,003029	-2,4E-05
0,3331	1,332	0,1159	19,872	0,2156	0,9278	3,4953	0,5659	0,1177	0,003243	-2,6E-05
0,3435	1,328	0,1192	19,772	0,2151	0,9298	3,5926	0,5959	0,1272	0,003464	-2,8E-05
0,3538	1,324	0,1225	19,672	0,2146	0,9318	3,6886	0,6262	0,1371	0,003692	-3,0E-05
0,3641	1,320	0,1258	19,574	0,2142	0,9339	3,7836	0,6567	0,1473	0,003928	-3,2E-05
0,3743	1,316	0,1290	19,477	0,2137	0,9360	3,8775	0,6875	0,1579	0,004171	-3,3E-05
0,3845	1,312	0,1322	19,381	0,2132	0,9380	3,9705	0,7185	0,1688	0,004422	-3,5E-05
0,3947	1,308	0,1354	19,285	0,2127	0,9401	4,0627	0,7498	0,1801	0,004680	-3,7E-05
0,4049	1,304	0,1386	19,191	0,2123	0,9422	4,1541	0,7814	0,1917	0,004947	-3,9E-05
0,4150	1,300	0,1417	19,098	0,2118	0,9444	4,2448	0,8132	0,2037	0,005222	-4,1E-05
0,4251	1,296	0,1448	19,006	0,2113	0,9465	4,3349	0,8454	0,2160	0,005506	-4,2E-05

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}20$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,4353	1,292	0,1480	18,915	0,2108	0,9486	4,4244	0,8778	0,2287	0,005799	-4,4E-05
0,4454	1,288	0,1511	18,825	0,2103	0,9508	4,5133	0,9105	0,2418	0,006101	-4,6E-05
0,4555	1,284	0,1541	18,736	0,2099	0,9530	4,6018	0,9434	0,2552	0,006412	-4,7E-05
0,4657	1,280	0,1572	18,648	0,2094	0,9552	4,6898	0,9767	0,2690	0,006732	-4,8E-05
0,4758	1,276	0,1603	18,560	0,2089	0,9574	4,7775	1,0102	0,2832	0,007063	-5,0E-05
0,4860	1,272	0,1633	18,474	0,2084	0,9596	4,8648	1,0441	0,2978	0,007403	-5,1E-05
0,4962	1,268	0,1664	18,389	0,2079	0,9618	4,9517	1,0782	0,3127	0,007754	-5,1E-05
0,5064	1,264	0,1694	18,305	0,2075	0,9641	5,0384	1,1126	0,3281	0,008115	-5,2E-05
0,5167	1,260	0,1724	18,222	0,2070	0,9663	5,1248	1,1474	0,3438	0,008487	-5,3E-05
0,5270	1,256	0,1755	18,140	0,2065	0,9686	5,2110	1,1824	0,3599	0,008871	-5,3E-05
0,5373	1,252	0,1785	18,058	0,2060	0,9709	5,2970	1,2178	0,3765	0,009266	-5,3E-05
0,5476	1,248	0,1815	17,978	0,2055	0,9732	5,3828	1,2535	0,3935	0,009672	-5,2E-05
0,5580	1,244	0,1845	17,899	0,2050	0,9755	5,4684	1,2895	0,4109	0,010091	-5,2E-05
0,5684	1,240	0,1875	17,821	0,2045	0,9779	5,5539	1,3258	0,4287	0,010521	-5,0E-05
0,5788	1,236	0,1905	17,743	0,2040	0,9802	5,6394	1,3624	0,4470	0,010965	-4,9E-05
0,5893	1,232	0,1935	17,667	0,2035	0,9826	5,7247	1,3994	0,4657	0,011421	-4,7E-05
0,5998	1,228	0,1965	17,591	0,2030	0,9850	5,8100	1,4367	0,4848	0,011891	-4,5E-05
0,6104	1,224	0,1995	17,517	0,2025	0,9874	5,8952	1,4743	0,5044	0,012375	-4,2E-05
0,6210	1,220	0,2025	17,443	0,2021	0,9899	5,9804	1,5123	0,5245	0,012872	-3,8E-05
0,6317	1,216	0,2055	17,370	0,2016	0,9923	6,0656	1,5506	0,5450	0,013384	-3,4E-05
0,6424	1,212	0,2085	17,299	0,2011	0,9948	6,1508	1,5893	0,5661	0,013911	-2,9E-05
0,6532	1,208	0,2116	17,228	0,2006	0,9972	6,2361	1,6283	0,5876	0,014452	-2,4E-05
0,6640	1,204	0,2146	17,158	0,2001	0,9997	6,3213	1,6677	0,6096	0,015009	-1,8E-05
0,6749	1,200	0,2176	17,089	0,1995	1,0023	6,4067	1,7074	0,6321	0,015582	-1,1E-05
0,6859	1,196	0,2206	17,021	0,1990	1,0048	6,4921	1,7475	0,6551	0,016172	-2,6E-06
0,6969	1,192	0,2236	16,954	0,1985	1,0073	6,5775	1,7880	0,6786	0,016778	6,25E-06
0,7079	1,188	0,2266	16,888	0,1980	1,0099	6,6631	1,8288	0,7027	0,017401	1,62E-05
0,7190	1,184	0,2297	16,822	0,1975	1,0125	6,7488	1,8700	0,7273	0,018042	2,72E-05
0,7302	1,180	0,2327	16,758	0,1970	1,0151	6,8346	1,9116	0,7524	0,018701	3,94E-05
0,7414	1,176	0,2357	16,694	0,1965	1,0178	6,9205	1,9536	0,7781	0,019378	5,29E-05
0,7528	1,172	0,2388	16,632	0,1960	1,0204	7,0066	1,9959	0,8044	0,020074	6,77E-05
0,7641	1,168	0,2418	16,570	0,1955	1,0231	7,0928	2,0387	0,8313	0,020790	8,39E-05
0,7756	1,164	0,2448	16,509	0,1950	1,0258	7,1792	2,0818	0,8587	0,021525	0,000102
0,7871	1,160	0,2479	16,449	0,1945	1,0285	7,2658	2,1254	0,8867	0,022281	0,000121
0,7987	1,156	0,2509	16,390	0,1939	1,0313	7,3526	2,1693	0,9154	0,023057	0,000142
0,8103	1,152	0,2540	16,332	0,1934	1,0340	7,4396	2,2137	0,9447	0,023855	0,000165
0,8220	1,148	0,2571	16,275	0,1929	1,0368	7,5267	2,2584	0,9746	0,024676	0,000190
0,8338	1,144	0,2602	16,219	0,1924	1,0396	7,6141	2,3036	1,0051	0,025518	0,000218
0,8457	1,140	0,2632	16,164	0,1919	1,0425	7,7017	2,3492	1,0363	0,026384	0,000247
0,8577	1,136	0,2663	16,109	0,1913	1,0453	7,7896	2,3953	1,0682	0,027273	0,000279

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}25$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0272	1,682	0,0088	33,607	0,2677	0,9337	0,3645	0,0055	0,0001	8,66E-06	-1,3E-08
0,0525	1,679	0,0170	33,439	0,2674	0,9350	0,7010	0,0202	0,0008	3,23E-05	-9,1E-08
0,0693	1,676	0,0224	33,272	0,2670	0,9362	0,9238	0,0349	0,0018	5,66E-05	-2,1E-07
0,0830	1,673	0,0268	33,105	0,2667	0,9375	1,1041	0,0497	0,0030	8,16E-05	-3,6E-07
0,0950	1,670	0,0306	32,940	0,2663	0,9388	1,2602	0,0647	0,0044	0,000107	-5,4E-07
0,1057	1,667	0,0341	32,776	0,2660	0,9400	1,4003	0,0796	0,0060	0,000134	-7,5E-07
0,1157	1,664	0,0373	32,613	0,2656	0,9413	1,5287	0,0947	0,0078	0,000161	-9,8E-07
0,1250	1,661	0,0402	32,451	0,2652	0,9426	1,6483	0,1098	0,0098	0,000188	-1,2E-06
0,1338	1,658	0,0430	32,290	0,2649	0,9438	1,7608	0,1250	0,0119	0,000217	-1,5E-06
0,1422	1,655	0,0457	32,130	0,2645	0,9451	1,8675	0,1403	0,0141	0,000246	-1,8E-06
0,1503	1,652	0,0482	31,971	0,2642	0,9464	1,9694	0,1556	0,0165	0,000276	-2,1E-06
0,1581	1,649	0,0507	31,813	0,2638	0,9477	2,0672	0,1711	0,0190	0,000307	-2,5E-06
0,1656	1,646	0,0531	31,656	0,2634	0,9490	2,1614	0,1866	0,0217	0,000339	-2,9E-06
0,1730	1,643	0,0554	31,500	0,2631	0,9503	2,2526	0,2022	0,0245	0,000371	-3,3E-06
0,1801	1,640	0,0576	31,345	0,2627	0,9516	2,3410	0,2178	0,0274	0,000404	-3,7E-06
0,1871	1,637	0,0598	31,191	0,2624	0,9529	2,4271	0,2336	0,0304	0,000438	-4,1E-06
0,1940	1,634	0,0619	31,038	0,2620	0,9542	2,5109	0,2494	0,0335	0,000473	-4,6E-06
0,2007	1,631	0,0640	30,886	0,2616	0,9555	2,5929	0,2653	0,0368	0,000509	-5,1E-06
0,2073	1,628	0,0661	30,735	0,2613	0,9568	2,6730	0,2812	0,0402	0,000546	-5,6E-06
0,2139	1,625	0,0681	30,584	0,2609	0,9581	2,7516	0,2973	0,0436	0,000584	-6,2E-06
0,2203	1,622	0,0701	30,435	0,2606	0,9595	2,8287	0,3134	0,0473	0,000622	-6,8E-06
0,2267	1,619	0,0720	30,287	0,2602	0,9608	2,9045	0,3297	0,0510	0,000662	-7,4E-06
0,2329	1,616	0,0740	30,140	0,2598	0,9621	2,9791	0,3460	0,0548	0,000702	-8,0E-06
0,2392	1,613	0,0759	29,994	0,2595	0,9635	3,0525	0,3624	0,0588	0,000744	-8,6E-06
0,2453	1,610	0,0778	29,848	0,2591	0,9648	3,1249	0,3788	0,0628	0,000786	-9,3E-06
0,2514	1,607	0,0796	29,704	0,2588	0,9662	3,1963	0,3954	0,0670	0,000830	-1,0E-05
0,2575	1,604	0,0815	29,561	0,2584	0,9675	3,2668	0,4120	0,0713	0,000875	-1,1E-05
0,2635	1,601	0,0833	29,418	0,2580	0,9689	3,3365	0,4288	0,0757	0,000920	-1,2E-05
0,2695	1,598	0,0851	29,276	0,2577	0,9702	3,4054	0,4456	0,0802	0,000967	-1,2E-05
0,2754	1,595	0,0869	29,136	0,2573	0,9716	3,4736	0,4625	0,0848	0,001015	-1,3E-05
0,2813	1,592	0,0887	28,996	0,2569	0,9730	3,5411	0,4795	0,0895	0,001064	-1,4E-05
0,2872	1,589	0,0905	28,857	0,2566	0,9743	3,6080	0,4965	0,0944	0,001115	-1,5E-05
0,2930	1,586	0,0923	28,719	0,2562	0,9757	3,6743	0,5137	0,0993	0,001166	-1,6E-05
0,2989	1,583	0,0940	28,582	0,2559	0,9771	3,7401	0,5310	0,1044	0,001219	-1,7E-05
0,3047	1,580	0,0958	28,446	0,2555	0,9785	3,8053	0,5483	0,1096	0,001273	-1,8E-05
0,3105	1,577	0,0975	28,311	0,2551	0,9799	3,8700	0,5657	0,1149	0,001328	-1,9E-05
0,3162	1,574	0,0992	28,176	0,2548	0,9813	3,9343	0,5833	0,1203	0,001384	-2,0E-05
0,3220	1,571	0,1009	28,043	0,2544	0,9827	3,9981	0,6009	0,1258	0,001442	-2,1E-05
0,3277	1,568	0,1026	27,910	0,2540	0,9841	4,0616	0,6186	0,1314	0,001501	-2,2E-05
0,3334	1,565	0,1044	27,778	0,2537	0,9855	4,1246	0,6364	0,1372	0,001562	-2,3E-05
0,3391	1,562	0,1060	27,647	0,2533	0,9869	4,1874	0,6543	0,1430	0,001624	-2,4E-05
0,3449	1,559	0,1077	27,517	0,2529	0,9884	4,2497	0,6723	0,1490	0,001687	-2,6E-05
0,3506	1,556	0,1094	27,388	0,2526	0,9898	4,3118	0,6904	0,1551	0,001752	-2,7E-05
0,3563	1,553	0,1111	27,260	0,2522	0,9912	4,3735	0,7086	0,1613	0,001818	-2,8E-05
0,3619	1,550	0,1128	27,132	0,2519	0,9926	4,4350	0,7269	0,1676	0,001886	-3,0E-05

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}25$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,3695	1,546	0,1150	26,964	0,2514	0,9946	4,5166	0,7515	0,1762	0,001978	-3,1E-05
0,3771	1,542	0,1173	26,796	0,2509	0,9965	4,5978	0,7762	0,1850	0,002074	-3,3E-05
0,3847	1,538	0,1195	26,631	0,2504	0,9984	4,6785	0,8011	0,1940	0,002172	-3,5E-05
0,3923	1,534	0,1217	26,466	0,2499	1,0004	4,7589	0,8262	0,2033	0,002273	-3,7E-05
0,3999	1,530	0,1239	26,304	0,2494	1,0024	4,8390	0,8514	0,2127	0,002378	-3,9E-05
0,4075	1,526	0,1261	26,142	0,2489	1,0043	4,9188	0,8769	0,2224	0,002485	-4,2E-05
0,4151	1,522	0,1283	25,982	0,2484	1,0063	4,9983	0,9025	0,2323	0,002596	-4,4E-05
0,4227	1,518	0,1306	25,824	0,2479	1,0083	5,0776	0,9284	0,2424	0,002710	-4,6E-05
0,4303	1,514	0,1328	25,667	0,2475	1,0103	5,1566	0,9544	0,2527	0,002827	-4,9E-05
0,4379	1,510	0,1350	25,511	0,2470	1,0123	5,2354	0,9806	0,2633	0,002948	-5,1E-05
0,4456	1,506	0,1372	25,357	0,2465	1,0143	5,3141	1,0070	0,2741	0,003072	-5,4E-05
0,4533	1,502	0,1394	25,204	0,2460	1,0164	5,3926	1,0336	0,2851	0,003200	-5,6E-05
0,4610	1,498	0,1416	25,052	0,2455	1,0184	5,4710	1,0604	0,2964	0,003331	-5,9E-05
0,4687	1,494	0,1438	24,902	0,2450	1,0204	5,5493	1,0874	0,3078	0,003466	-6,2E-05
0,4764	1,490	0,1460	24,753	0,2445	1,0225	5,6274	1,1146	0,3196	0,003606	-6,5E-05
0,4842	1,486	0,1482	24,606	0,2440	1,0246	5,7055	1,1420	0,3315	0,003749	-6,8E-05
0,4920	1,482	0,1504	24,460	0,2435	1,0267	5,7835	1,1696	0,3438	0,003896	-7,1E-05
0,4998	1,478	0,1527	24,315	0,2430	1,0287	5,8614	1,1974	0,3562	0,004048	-7,4E-05
0,5076	1,474	0,1549	24,172	0,2425	1,0308	5,9394	1,2254	0,3689	0,004203	-7,7E-05
0,5155	1,470	0,1571	24,029	0,2420	1,0330	6,0173	1,2537	0,3819	0,004364	-8,0E-05
0,5234	1,466	0,1593	23,889	0,2415	1,0351	6,0951	1,2822	0,3951	0,004528	-8,4E-05
0,5313	1,462	0,1616	23,749	0,2410	1,0372	6,1730	1,3108	0,4086	0,004698	-8,7E-05
0,5392	1,458	0,1638	23,611	0,2405	1,0394	6,2509	1,3397	0,4223	0,004872	-9,1E-05
0,5472	1,454	0,1660	23,474	0,2400	1,0415	6,3289	1,3689	0,4363	0,005051	-9,4E-05
0,5552	1,450	0,1683	23,338	0,2395	1,0437	6,4069	1,3982	0,4506	0,005235	-9,8E-05
0,5633	1,446	0,1705	23,204	0,2390	1,0459	6,4849	1,4278	0,4651	0,005424	-0,00010
0,5714	1,442	0,1728	23,071	0,2385	1,0481	6,5630	1,4576	0,4800	0,005618	-0,00011
0,5795	1,438	0,1750	22,939	0,2380	1,0503	6,6412	1,4876	0,4951	0,005818	-0,00011
0,5877	1,434	0,1773	22,808	0,2375	1,0525	6,7194	1,5179	0,5105	0,006024	-0,00011
0,5959	1,430	0,1796	22,679	0,2370	1,0547	6,7978	1,5484	0,5262	0,006235	-0,00012
0,6041	1,426	0,1819	22,550	0,2365	1,0570	6,8762	1,5792	0,5421	0,006451	-0,00012
0,6124	1,422	0,1841	22,423	0,2360	1,0592	6,9548	1,6102	0,5584	0,006674	-0,00013
0,6207	1,418	0,1864	22,298	0,2355	1,0615	7,0335	1,6414	0,5750	0,006903	-0,00013
0,6291	1,414	0,1887	22,173	0,2350	1,0637	7,1123	1,6729	0,5918	0,007138	-0,00013
0,6375	1,410	0,1910	22,050	0,2345	1,0660	7,1913	1,7046	0,6090	0,007380	-0,00014
0,6459	1,406	0,1933	21,927	0,2340	1,0683	7,2704	1,7366	0,6265	0,007628	-0,00014
0,6544	1,402	0,1957	21,806	0,2335	1,0707	7,3497	1,7688	0,6443	0,007882	-0,00015
0,6629	1,398	0,1980	21,687	0,2330	1,0730	7,4291	1,8013	0,6625	0,008144	-0,00015
0,6715	1,394	0,2003	21,568	0,2325	1,0753	7,5087	1,8341	0,6810	0,008413	-0,00016
0,6801	1,390	0,2027	21,450	0,2320	1,0777	7,5885	1,8671	0,6998	0,008689	-0,00016
0,6888	1,386	0,2050	21,334	0,2315	1,0801	7,6685	1,9004	0,7189	0,008972	-0,00017
0,6975	1,382	0,2074	21,219	0,2310	1,0824	7,7487	1,9340	0,7384	0,009263	-0,00017
0,7062	1,378	0,2097	21,105	0,2304	1,0848	7,8291	1,9678	0,7582	0,009562	-0,00017
0,7151	1,374	0,2121	20,992	0,2299	1,0873	7,9097	2,0019	0,7784	0,009869	-0,00018
0,7239	1,370	0,2145	20,880	0,2294	1,0897	7,9905	2,0363	0,7990	0,010184	-0,00018

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}30$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0989	1,940	0,0278	52,832	0,3095	0,9693	1,5242	0,0839	0,0065	4,99E-05	-2,8E-07
0,1061	1,937	0,0298	52,545	0,3091	0,9705	1,6324	0,0961	0,0079	5,77E-05	-3,5E-07
0,1130	1,934	0,0317	52,260	0,3088	0,9717	1,7348	0,1082	0,0095	6,58E-05	-4,2E-07
0,1195	1,931	0,0335	51,976	0,3084	0,9728	1,8322	0,1204	0,0112	7,41E-05	-5,0E-07
0,1258	1,928	0,0353	51,694	0,3080	0,9740	1,9255	0,1327	0,0129	8,26E-05	-5,8E-07
0,1319	1,925	0,0370	51,414	0,3076	0,9752	2,0152	0,1450	0,0147	9,13E-05	-6,8E-07
0,1378	1,922	0,0387	51,136	0,3073	0,9764	2,1018	0,1574	0,0167	0,000100	-7,7E-07
0,1436	1,919	0,0403	50,859	0,3069	0,9776	2,1857	0,1698	0,0187	0,000109	-8,8E-07
0,1492	1,916	0,0418	50,584	0,3065	0,9788	2,2671	0,1823	0,0208	0,000119	-9,9E-07
0,1547	1,913	0,0433	50,310	0,3061	0,9800	2,3464	0,1948	0,0229	0,000128	-1,1E-06
0,1600	1,910	0,0448	50,039	0,3058	0,9811	2,4237	0,2073	0,0252	0,000138	-1,2E-06
0,1653	1,907	0,0463	49,769	0,3054	0,9823	2,4993	0,2199	0,0275	0,000148	-1,4E-06
0,1705	1,904	0,0477	49,500	0,3050	0,9836	2,5732	0,2326	0,0300	0,000159	-1,5E-06
0,1756	1,901	0,0492	49,233	0,3046	0,9848	2,6457	0,2453	0,0324	0,000169	-1,6E-06
0,1806	1,898	0,0505	48,968	0,3043	0,9860	2,7169	0,2581	0,0350	0,000180	-1,8E-06
0,1856	1,895	0,0519	48,705	0,3039	0,9872	2,7868	0,2709	0,0377	0,000191	-2,0E-06
0,1905	1,892	0,0533	48,443	0,3035	0,9884	2,8555	0,2838	0,0404	0,000203	-2,1E-06
0,1953	1,889	0,0546	48,182	0,3031	0,9896	2,9233	0,2967	0,0432	0,000214	-2,3E-06
0,2001	1,886	0,0559	47,924	0,3028	0,9908	2,9900	0,3097	0,0460	0,000226	-2,5E-06
0,2049	1,883	0,0573	47,667	0,3024	0,9921	3,0559	0,3227	0,0490	0,000239	-2,7E-06
0,2096	1,880	0,0586	47,411	0,3020	0,9933	3,1208	0,3358	0,0520	0,000251	-2,9E-06
0,2143	1,877	0,0599	47,157	0,3017	0,9945	3,1851	0,3489	0,0551	0,000264	-3,1E-06
0,2189	1,874	0,0611	46,905	0,3013	0,9958	3,2485	0,3621	0,0582	0,000277	-3,3E-06
0,2235	1,871	0,0624	46,654	0,3009	0,9970	3,3113	0,3753	0,0614	0,000291	-3,5E-06
0,2281	1,868	0,0637	46,404	0,3005	0,9982	3,3734	0,3886	0,0647	0,000304	-3,8E-06
0,2326	1,865	0,0649	46,156	0,3002	0,9995	3,4349	0,4020	0,0681	0,000318	-4,0E-06
0,2372	1,862	0,0662	45,910	0,2998	1,0007	3,4959	0,4154	0,0715	0,000333	-4,2E-06
0,2417	1,859	0,0674	45,665	0,2994	1,0020	3,5563	0,4289	0,0751	0,000348	-4,5E-06
0,2461	1,856	0,0686	45,422	0,2990	1,0032	3,6162	0,4424	0,0786	0,000363	-4,8E-06
0,2506	1,853	0,0699	45,180	0,2987	1,0045	3,6756	0,4560	0,0823	0,000378	-5,1E-06
0,2550	1,850	0,0711	44,940	0,2983	1,0058	3,7346	0,4696	0,0860	0,000394	-5,4E-06
0,2595	1,847	0,0723	44,701	0,2979	1,0070	3,7931	0,4833	0,0898	0,000410	-5,7E-06
0,2639	1,844	0,0735	44,464	0,2975	1,0083	3,8512	0,4971	0,0937	0,000427	-6,0E-06
0,2683	1,841	0,0747	44,228	0,2972	1,0096	3,9090	0,5109	0,0976	0,000444	-6,3E-06
0,2727	1,838	0,0759	43,993	0,2968	1,0108	3,9664	0,5247	0,1016	0,000461	-6,6E-06
0,2770	1,835	0,0771	43,760	0,2964	1,0121	4,0234	0,5387	0,1057	0,000478	-7,0E-06
0,2814	1,832	0,0783	43,529	0,2960	1,0134	4,0802	0,5527	0,1099	0,000497	-7,4E-06
0,2858	1,829	0,0795	43,298	0,2957	1,0147	4,1366	0,5667	0,1141	0,000515	-7,7E-06
0,2901	1,826	0,0807	43,070	0,2953	1,0160	4,1928	0,5808	0,1184	0,000534	-8,1E-06
0,2944	1,823	0,0819	42,842	0,2949	1,0173	4,2486	0,5950	0,1227	0,000553	-8,5E-06
0,2988	1,820	0,0831	42,616	0,2945	1,0186	4,3042	0,6092	0,1272	0,000573	-8,9E-06
0,3031	1,817	0,0842	42,392	0,2942	1,0199	4,3596	0,6235	0,1317	0,000593	-9,4E-06
0,3074	1,814	0,0854	42,169	0,2938	1,0212	4,4148	0,6379	0,1363	0,000614	-9,8E-06
0,3118	1,811	0,0866	41,947	0,2934	1,0225	4,4697	0,6523	0,1409	0,000635	-1,0E-05
0,3161	1,808	0,0878	41,727	0,2930	1,0238	4,5244	0,6668	0,1457	0,000656	-1,1E-05

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}30$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,3218	1,804	0,0894	41,435	0,2925	1,0256	4,5970	0,6862	0,1521	0,000686	-1,1E-05
0,3276	1,800	0,0909	41,145	0,2920	1,0273	4,6694	0,7057	0,1586	0,000716	-1,2E-05
0,3334	1,796	0,0925	40,858	0,2915	1,0291	4,7414	0,7253	0,1653	0,000747	-1,3E-05
0,3391	1,792	0,0941	40,574	0,2910	1,0309	4,8132	0,7451	0,1721	0,000780	-1,3E-05
0,3449	1,788	0,0956	40,292	0,2905	1,0326	4,8847	0,7649	0,1791	0,000813	-1,4E-05
0,3506	1,784	0,0972	40,012	0,2900	1,0344	4,9559	0,7849	0,1862	0,000847	-1,5E-05
0,3564	1,780	0,0988	39,734	0,2895	1,0362	5,0270	0,8050	0,1934	0,000882	-1,6E-05
0,3622	1,776	0,1003	39,459	0,2890	1,0380	5,0979	0,8253	0,2007	0,000918	-1,7E-05
0,3680	1,772	0,1019	39,186	0,2885	1,0398	5,1685	0,8456	0,2082	0,000955	-1,8E-05
0,3738	1,768	0,1035	38,915	0,2880	1,0417	5,2391	0,8661	0,2159	0,000993	-1,9E-05
0,3796	1,764	0,1050	38,646	0,2875	1,0435	5,3094	0,8867	0,2236	0,001032	-1,9E-05
0,3854	1,760	0,1066	38,380	0,2870	1,0453	5,3797	0,9074	0,2315	0,001072	-2,0E-05
0,3912	1,756	0,1082	38,116	0,2865	1,0471	5,4498	0,9282	0,2396	0,001113	-2,2E-05
0,3970	1,752	0,1098	37,854	0,2860	1,0490	5,5198	0,9492	0,2478	0,001156	-2,3E-05
0,4029	1,748	0,1114	37,594	0,2855	1,0508	5,5898	0,9703	0,2561	0,001200	-2,4E-05
0,4087	1,744	0,1129	37,336	0,2850	1,0527	5,6596	0,9916	0,2646	0,001245	-2,5E-05
0,4146	1,740	0,1145	37,081	0,2845	1,0546	5,7294	1,0129	0,2732	0,001291	-2,6E-05
0,4205	1,736	0,1161	36,828	0,2840	1,0564	5,7992	1,0344	0,2820	0,001338	-2,7E-05
0,4264	1,732	0,1177	36,576	0,2835	1,0583	5,8689	1,0560	0,2909	0,001387	-2,9E-05
0,4324	1,728	0,1193	36,327	0,2830	1,0602	5,9385	1,0778	0,3000	0,001437	-3,0E-05
0,4383	1,724	0,1209	36,080	0,2825	1,0621	6,0082	1,0997	0,3093	0,001489	-3,1E-05
0,4443	1,720	0,1225	35,835	0,2819	1,0640	6,0778	1,1217	0,3186	0,001542	-3,3E-05
0,4502	1,716	0,1241	35,592	0,2814	1,0659	6,1474	1,1439	0,3282	0,001596	-3,4E-05
0,4562	1,712	0,1258	35,351	0,2809	1,0679	6,2171	1,1662	0,3379	0,001652	-3,6E-05
0,4623	1,708	0,1274	35,112	0,2804	1,0698	6,2867	1,1887	0,3477	0,001709	-3,7E-05
0,4683	1,704	0,1290	34,875	0,2799	1,0717	6,3564	1,2113	0,3578	0,001768	-3,9E-05
0,4744	1,700	0,1306	34,640	0,2794	1,0737	6,4261	1,2340	0,3679	0,001829	-4,1E-05
0,4805	1,696	0,1323	34,407	0,2789	1,0756	6,4959	1,2569	0,3783	0,001891	-4,2E-05
0,4866	1,692	0,1339	34,176	0,2784	1,0776	6,5657	1,2800	0,3888	0,001955	-4,4E-05
0,4927	1,688	0,1356	33,947	0,2779	1,0795	6,6356	1,3031	0,3994	0,002020	-4,6E-05
0,4989	1,684	0,1372	33,720	0,2774	1,0815	6,7055	1,3265	0,4103	0,002088	-4,8E-05
0,5051	1,680	0,1389	33,495	0,2769	1,0835	6,7755	1,3500	0,4213	0,002157	-5,0E-05
0,5113	1,676	0,1405	33,272	0,2764	1,0855	6,8456	1,3736	0,4325	0,002228	-5,2E-05
0,5175	1,672	0,1422	33,050	0,2759	1,0875	6,9158	1,3974	0,4438	0,002301	-5,4E-05
0,5238	1,668	0,1439	32,831	0,2754	1,0895	6,9861	1,4214	0,4554	0,002376	-5,6E-05
0,5300	1,664	0,1456	32,613	0,2748	1,0915	7,0564	1,4455	0,4671	0,002452	-5,8E-05
0,5364	1,660	0,1472	32,397	0,2743	1,0936	7,1269	1,4697	0,4790	0,002531	-6,1E-05
0,5427	1,656	0,1489	32,183	0,2738	1,0956	7,1975	1,4942	0,4911	0,002612	-6,3E-05
0,5491	1,652	0,1506	31,971	0,2733	1,0976	7,2683	1,5187	0,5033	0,002695	-6,5E-05
0,5555	1,648	0,1523	31,760	0,2728	1,0997	7,3391	1,5435	0,5158	0,002780	-6,8E-05
0,5619	1,644	0,1541	31,552	0,2723	1,1018	7,410	1,5684	0,5284	0,002868	-7,0E-05
0,5684	1,640	0,1558	31,345	0,2718	1,1038	7,481	1,5935	0,5412	0,002958	-7,3E-05
0,5748	1,636	0,1575	31,140	0,2713	1,1059	7,552	1,6187	0,5542	0,003050	-7,6E-05
0,5814	1,632	0,1592	30,936	0,2708	1,1080	7,624	1,6442	0,5675	0,003144	-7,9E-05
0,5879	1,628	0,1610	30,735	0,2702	1,1101	7,696	1,6698	0,5809	0,003241	-8,1E-05

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}35$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0140	2,248	0,0034	93,874	0,3578	0,9782	0,2507	0,0022	0,0000	3,87E-07	-2,9E-10
0,0375	2,244	0,0090	93,162	0,3573	0,9796	0,6688	0,0153	0,0005	2,79E-06	-5,6E-09
0,0513	2,240	0,0123	92,455	0,3568	0,9810	0,9141	0,0285	0,0013	5,28E-06	-1,5E-08
0,0623	2,236	0,0150	91,753	0,3563	0,9824	1,1081	0,0417	0,0023	7,86E-06	-2,6E-08
0,0718	2,232	0,0173	91,058	0,3557	0,9839	1,2744	0,0551	0,0034	1,05E-05	-4,1E-08
0,0804	2,228	0,0193	90,368	0,3552	0,9853	1,4227	0,0684	0,0048	1,33E-05	-5,7E-08
0,0882	2,224	0,0212	89,683	0,3547	0,9867	1,5583	0,0818	0,0062	1,61E-05	-7,6E-08
0,0955	2,220	0,0230	89,004	0,3542	0,9881	1,6842	0,0953	0,0078	1,91E-05	-9,8E-08
0,1024	2,216	0,0246	88,331	0,3537	0,9896	1,8025	0,1088	0,0096	2,22E-05	-1,2E-07
0,1090	2,212	0,0262	87,662	0,3532	0,9910	1,9145	0,1224	0,0114	2,53E-05	-1,5E-07
0,1153	2,208	0,0277	86,999	0,3527	0,9925	2,0214	0,1361	0,0134	2,86E-05	-1,8E-07
0,1214	2,204	0,0292	86,342	0,3521	0,9939	2,1239	0,1498	0,0154	3,19E-05	-2,1E-07
0,1273	2,200	0,0306	85,690	0,3516	0,9954	2,2226	0,1635	0,0176	3,54E-05	-2,4E-07
0,1331	2,196	0,0320	85,043	0,3511	0,9968	2,3181	0,1774	0,0199	3,90E-05	-2,8E-07
0,1387	2,192	0,0334	84,401	0,3506	0,9983	2,4107	0,1912	0,0223	4,27E-05	-3,2E-07
0,1441	2,188	0,0347	83,764	0,3501	0,9997	2,5007	0,2052	0,0247	4,66E-05	-3,6E-07
0,1495	2,184	0,0360	83,132	0,3496	1,0012	2,5885	0,2192	0,0273	5,05E-05	-4,0E-07
0,1548	2,180	0,0373	82,506	0,3491	1,0027	2,6742	0,2332	0,0300	5,46E-05	-4,5E-07
0,1599	2,176	0,0385	81,884	0,3485	1,0042	2,7581	0,2474	0,0328	5,89E-05	-5,0E-07
0,1650	2,172	0,0398	81,268	0,3480	1,0057	2,8403	0,2615	0,0356	6,32E-05	-5,5E-07
0,1700	2,168	0,0410	80,656	0,3475	1,0071	2,9210	0,2758	0,0386	6,77E-05	-6,1E-07
0,1750	2,164	0,0422	80,050	0,3470	1,0086	3,0003	0,2901	0,0416	7,23E-05	-6,7E-07
0,1799	2,160	0,0434	79,448	0,3465	1,0101	3,0783	0,3045	0,0447	7,71E-05	-7,3E-07
0,1848	2,156	0,0446	78,851	0,3460	1,0116	3,1552	0,3189	0,0480	8,20E-05	-8,0E-07
0,1896	2,152	0,0457	78,259	0,3455	1,0131	3,2309	0,3334	0,0513	8,71E-05	-8,7E-07
0,1943	2,148	0,0469	77,671	0,3449	1,0147	3,3057	0,3479	0,0547	9,23E-05	-9,5E-07
0,1991	2,144	0,0480	77,089	0,3444	1,0162	3,3795	0,3626	0,0581	9,77E-05	-1,0E-06
0,2038	2,140	0,0492	76,510	0,3439	1,0177	3,4525	0,3773	0,0617	1,03E-04	-1,1E-06
0,2084	2,136	0,0503	75,937	0,3434	1,0192	3,5247	0,3920	0,0654	1,09E-04	-1,2E-06
0,2131	2,132	0,0515	75,368	0,3429	1,0208	3,5961	0,4068	0,0691	1,15E-04	-1,3E-06
0,2177	2,128	0,0526	74,804	0,3424	1,0223	3,6668	0,4217	0,0729	1,21E-04	-1,4E-06
0,2223	2,124	0,0537	74,244	0,3419	1,0238	3,7369	0,4367	0,0769	1,27E-04	-1,5E-06
0,2268	2,120	0,0548	73,689	0,3413	1,0254	3,8064	0,4517	0,0809	1,34E-04	-1,6E-06
0,2314	2,116	0,0559	73,139	0,3408	1,0269	3,8753	0,4668	0,0850	1,40E-04	-1,7E-06
0,2359	2,112	0,0570	72,592	0,3403	1,0285	3,9437	0,4820	0,0891	1,47E-04	-1,8E-06
0,2404	2,108	0,0581	72,050	0,3398	1,0300	4,0116	0,4972	0,0934	1,54E-04	-1,9E-06
0,2449	2,104	0,0592	71,513	0,3393	1,0316	4,0790	0,5125	0,0977	1,61E-04	-2,1E-06
0,2494	2,100	0,0603	70,980	0,3388	1,0332	4,1460	0,5279	0,1022	1,69E-04	-2,2E-06
0,2539	2,096	0,0615	70,451	0,3382	1,0347	4,2126	0,5433	0,1067	1,77E-04	-2,3E-06
0,2584	2,092	0,0625	69,926	0,3377	1,0363	4,2788	0,5588	0,1113	1,84E-04	-2,5E-06
0,2629	2,088	0,0636	69,405	0,3372	1,0379	4,3447	0,5744	0,1160	1,93E-04	-2,6E-06
0,2673	2,084	0,0647	68,889	0,3367	1,0395	4,4102	0,5901	0,1208	2,01E-04	-2,8E-06
0,2718	2,080	0,0658	68,377	0,3362	1,0411	4,4754	0,6058	0,1256	2,09E-04	-2,9E-06
0,2762	2,076	0,0669	67,869	0,3357	1,0427	4,5403	0,6216	0,1306	2,18E-04	-3,1E-06
0,2807	2,072	0,0680	67,365	0,3352	1,0443	4,6050	0,6375	0,1356	2,27E-04	-3,3E-06

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}35$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,2851	2,068	0,0691	66,865	0,3346	1,0459	4,6693	0,6535	0,1408	2,37E-04	-3,5E-06
0,2896	2,064	0,0702	66,369	0,3341	1,0475	4,7335	0,6695	0,1460	2,46E-04	-3,7E-06
0,2940	2,060	0,0713	65,878	0,3336	1,0491	4,7974	0,6856	0,1513	2,56E-04	-3,9E-06
0,2985	2,056	0,0724	65,390	0,3331	1,0508	4,8611	0,7018	0,1567	2,66E-04	-4,1E-06
0,3030	2,052	0,0735	64,906	0,3326	1,0524	4,9246	0,7181	0,1622	2,77E-04	-4,3E-06
0,3074	2,048	0,0746	64,426	0,3321	1,0540	4,9880	0,7344	0,1677	2,87E-04	-4,5E-06
0,3119	2,044	0,0757	63,950	0,3315	1,0557	5,0512	0,7509	0,1734	2,99E-04	-4,8E-06
0,3163	2,040	0,0768	63,477	0,3310	1,0573	5,1142	0,7674	0,1792	3,10E-04	-5,0E-06
0,3208	2,036	0,0779	63,009	0,3305	1,0590	5,1771	0,7839	0,1850	3,21E-04	-5,3E-06
0,3253	2,032	0,0791	62,544	0,3300	1,0606	5,2398	0,8006	0,1909	3,33E-04	-5,5E-06
0,3298	2,028	0,0802	62,083	0,3295	1,0623	5,3025	0,8174	0,1970	3,46E-04	-5,8E-06
0,3343	2,024	0,0813	61,626	0,3290	1,0640	5,3650	0,8342	0,2031	3,58E-04	-6,1E-06
0,3388	2,020	0,0824	61,172	0,3284	1,0656	5,4274	0,8511	0,2093	3,71E-04	-6,4E-06
0,3433	2,016	0,0835	60,722	0,3279	1,0673	5,4898	0,8681	0,2156	3,85E-04	-6,7E-06
0,3478	2,012	0,0846	60,276	0,3274	1,0690	5,5520	0,8852	0,2220	3,98E-04	-7,0E-06
0,3523	2,008	0,0858	59,833	0,3269	1,0707	5,6142	0,9023	0,2285	4,12E-04	-7,4E-06
0,3568	2,004	0,0869	59,394	0,3264	1,0724	5,6764	0,9196	0,2351	4,27E-04	-7,7E-06
0,3614	2,000	0,0880	58,959	0,3259	1,0741	5,7384	0,9369	0,2418	4,42E-04	-8,1E-06
0,3659	1,996	0,0891	58,527	0,3253	1,0758	5,8005	0,9544	0,2486	4,57E-04	-8,4E-06
0,3705	1,992	0,0903	58,098	0,3248	1,0775	5,8625	0,9719	0,2555	4,72E-04	-8,8E-06
0,3751	1,988	0,0914	57,673	0,3243	1,0792	5,9245	0,9895	0,2625	4,89E-04	-9,2E-06
0,3797	1,984	0,0926	57,251	0,3238	1,0810	5,9864	1,0072	0,2696	5,05E-04	-9,6E-06
0,3843	1,980	0,0937	56,833	0,3233	1,0827	6,0484	1,0249	0,2768	5,22E-04	-1,0E-05
0,3900	1,975	0,0951	56,315	0,3226	1,0849	6,1258	1,0473	0,2859	5,44E-04	-1,1E-05
0,3958	1,970	0,0966	55,802	0,3220	1,0870	6,2032	1,0698	0,2952	5,66E-04	-1,1E-05
0,4016	1,965	0,0980	55,295	0,3213	1,0892	6,2807	1,0924	0,3046	5,89E-04	-1,2E-05
0,4075	1,960	0,0995	54,792	0,3207	1,0914	6,3581	1,1152	0,3142	6,13E-04	-1,2E-05
0,4133	1,955	0,1010	54,295	0,3200	1,0936	6,4357	1,1382	0,3240	6,38E-04	-1,3E-05
0,4192	1,950	0,1024	53,802	0,3194	1,0959	6,5132	1,1613	0,3339	6,64E-04	-1,4E-05
0,4251	1,945	0,1039	53,315	0,3187	1,0981	6,5908	1,1845	0,3440	6,90E-04	-1,4E-05
0,4310	1,940	0,1054	52,832	0,3181	1,1003	6,6686	1,2079	0,3543	7,18E-04	-1,5E-05
0,4370	1,935	0,1069	52,355	0,3174	1,1026	6,7463	1,2315	0,3647	7,46E-04	-1,6E-05
0,4430	1,930	0,1084	51,882	0,3168	1,1048	6,8242	1,2552	0,3753	7,75E-04	-1,7E-05
0,4490	1,925	0,1099	51,414	0,3161	1,1071	6,9022	1,2790	0,3861	8,05E-04	-1,8E-05
0,4550	1,920	0,1114	50,951	0,3155	1,1094	6,9803	1,3031	0,3971	8,36E-04	-1,9E-05
0,4611	1,915	0,1129	50,493	0,3148	1,1117	7,059	1,3272	0,4082	8,68E-04	-2,0E-05
0,4672	1,910	0,1145	50,039	0,3142	1,1140	7,137	1,3516	0,4195	9,01E-04	-2,0E-05
0,4733	1,905	0,1160	49,590	0,3135	1,1163	7,215	1,3761	0,4310	9,35E-04	-2,1E-05
0,4795	1,900	0,1176	49,145	0,3129	1,1186	7,294	1,4008	0,4427	9,70E-04	-2,3E-05
0,4857	1,895	0,1191	48,705	0,3122	1,1209	7,373	1,4256	0,4546	1,01E-03	-2,4E-05
0,4919	1,890	0,1207	48,269	0,3116	1,1233	7,452	1,4507	0,4666	0,001044	-2,5E-05
0,4981	1,885	0,1222	47,838	0,3109	1,1256	7,531	1,4759	0,4789	0,001083	-2,6E-05
0,5044	1,880	0,1238	47,411	0,3103	1,1280	7,610	1,5012	0,4913	0,001123	-2,7E-05
0,5107	1,875	0,1254	46,989	0,3096	1,1303	7,690	1,5268	0,5040	0,001164	-2,8E-05
0,5171	1,870	0,1270	46,570	0,3090	1,1327	7,770	1,5525	0,5168	0,001206	-3,0E-05

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}40$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0732	2,520	0,0148	158,595	0,4017	0,9957	1,4660	0,0697	0,0049	4,30E-06	-1,5E-08
0,0793	2,516	0,0160	157,365	0,4012	0,9970	1,5850	0,0813	0,0062	5,09E-06	-1,9E-08
0,0850	2,512	0,0172	156,145	0,4007	0,9983	1,6965	0,0929	0,0075	5,90E-06	-2,4E-08
0,0905	2,508	0,0183	154,934	0,4002	0,9996	1,8021	0,1045	0,0090	6,75E-06	-2,9E-08
0,0957	2,504	0,0194	153,734	0,3996	1,0009	1,9027	0,1161	0,0105	7,62E-06	-3,5E-08
0,1008	2,500	0,0204	152,543	0,3991	1,0023	1,9990	0,1278	0,0122	8,52E-06	-4,1E-08
0,1056	2,496	0,0214	151,361	0,3986	1,0036	2,0918	0,1396	0,0139	9,45E-06	-4,7E-08
0,1103	2,492	0,0224	150,189	0,3980	1,0049	2,1813	0,1514	0,0157	1,04E-05	-5,5E-08
0,1149	2,488	0,0233	149,027	0,3975	1,0063	2,2681	0,1632	0,0175	1,14E-05	-6,2E-08
0,1194	2,484	0,0242	147,873	0,3970	1,0076	2,3524	0,1751	0,0195	1,24E-05	-7,1E-08
0,1238	2,480	0,0251	146,729	0,3965	1,0089	2,4346	0,1870	0,0215	1,35E-05	-7,9E-08
0,1281	2,476	0,0260	145,594	0,3959	1,0103	2,5147	0,1989	0,0236	1,46E-05	-8,9E-08
0,1323	2,472	0,0269	144,468	0,3954	1,0116	2,5930	0,2109	0,0258	1,57E-05	-9,9E-08
0,1365	2,468	0,0278	143,351	0,3949	1,0130	2,6697	0,2229	0,0280	1,69E-05	-1,1E-07
0,1406	2,464	0,0286	142,243	0,3943	1,0143	2,7450	0,2350	0,0303	1,81E-05	-1,2E-07
0,1446	2,460	0,0295	141,143	0,3938	1,0157	2,8188	0,2471	0,0327	1,93E-05	-1,3E-07
0,1486	2,456	0,0303	140,053	0,3933	1,0171	2,8915	0,2593	0,0351	2,06E-05	-1,5E-07
0,1525	2,452	0,0311	138,971	0,3928	1,0184	2,9629	0,2715	0,0376	2,19E-05	-1,6E-07
0,1564	2,448	0,0319	137,898	0,3922	1,0198	3,0333	0,2838	0,0402	2,32E-05	-1,7E-07
0,1603	2,444	0,0327	136,833	0,3917	1,0212	3,1027	0,2961	0,0429	2,46E-05	-1,9E-07
0,1641	2,440	0,0336	135,777	0,3912	1,0226	3,1712	0,3084	0,0456	2,60E-05	-2,0E-07
0,1679	2,436	0,0343	134,729	0,3906	1,0239	3,2388	0,3208	0,0483	2,75E-05	-2,2E-07
0,1717	2,432	0,0351	133,690	0,3901	1,0253	3,3056	0,3332	0,0512	2,90E-05	-2,4E-07
0,1754	2,428	0,0359	132,659	0,3896	1,0267	3,3717	0,3457	0,0541	3,06E-05	-2,6E-07
0,1791	2,424	0,0367	131,636	0,3891	1,0281	3,4371	0,3582	0,0570	3,22E-05	-2,7E-07
0,1828	2,420	0,0375	130,622	0,3885	1,0295	3,5019	0,3708	0,0601	3,39E-05	-2,9E-07
0,1865	2,416	0,0383	129,615	0,3880	1,0309	3,5660	0,3834	0,0632	3,56E-05	-3,2E-07
0,1901	2,412	0,0390	128,617	0,3875	1,0323	3,6295	0,3961	0,0663	3,74E-05	-3,4E-07
0,1938	2,408	0,0398	127,626	0,3870	1,0337	3,6925	0,4088	0,0695	3,92E-05	-3,6E-07
0,1974	2,404	0,0406	126,644	0,3864	1,0351	3,7551	0,4215	0,0728	4,10E-05	-3,9E-07
0,2010	2,400	0,0414	125,669	0,3859	1,0365	3,8171	0,4343	0,0761	4,29E-05	-4,1E-07
0,2046	2,396	0,0421	124,702	0,3854	1,0380	3,8787	0,4472	0,0795	4,49E-05	-4,4E-07
0,2082	2,392	0,0429	123,743	0,3848	1,0394	3,9398	0,4601	0,0830	4,69E-05	-4,6E-07
0,2117	2,388	0,0437	122,792	0,3843	1,0408	4,0006	0,4730	0,0865	4,90E-05	-4,9E-07
0,2153	2,384	0,0444	121,848	0,3838	1,0423	4,0609	0,4860	0,0901	5,12E-05	-5,2E-07
0,2188	2,380	0,0452	120,911	0,3833	1,0437	4,1210	0,4990	0,0938	5,34E-05	-5,6E-07
0,2224	2,376	0,0460	119,982	0,3827	1,0451	4,1806	0,5121	0,0975	5,57E-05	-5,9E-07
0,2259	2,372	0,0467	119,061	0,3822	1,0466	4,2400	0,5253	0,1013	5,80E-05	-6,2E-07
0,2295	2,368	0,0475	118,147	0,3817	1,0480	4,2991	0,5384	0,1051	6,04E-05	-6,6E-07
0,2330	2,364	0,0482	117,240	0,3811	1,0495	4,3579	0,5517	0,1090	6,28E-05	-7,0E-07
0,2365	2,360	0,0490	116,341	0,3806	1,0509	4,4164	0,5650	0,1130	6,54E-05	-7,4E-07
0,2400	2,356	0,0498	115,448	0,3801	1,0524	4,4747	0,5783	0,1170	6,80E-05	-7,8E-07
0,2435	2,352	0,0505	114,563	0,3796	1,0539	4,5327	0,5917	0,1211	7,07E-05	-8,2E-07
0,2471	2,348	0,0513	113,685	0,3790	1,0553	4,5905	0,6052	0,1253	7,34E-05	-8,6E-07
0,2506	2,344	0,0521	112,814	0,3785	1,0568	4,6481	0,6187	0,1295	7,62E-05	-9,1E-07

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}40$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,2541	2,340	0,0528	111,950	0,3780	1,0583	4,7055	0,6322	0,1337	7,91E-05	-9,6E-07
0,2585	2,335	0,0538	110,879	0,3773	1,0601	4,7770	0,6492	0,1392	8,29E-05	-1,0E-06
0,2629	2,330	0,0547	109,819	0,3767	1,0620	4,8482	0,6663	0,1447	8,68E-05	-1,1E-06
0,2673	2,325	0,0557	108,770	0,3760	1,0639	4,9192	0,6835	0,1504	9,08E-05	-1,2E-06
0,2717	2,320	0,0567	107,731	0,3753	1,0657	4,9900	0,7008	0,1561	9,49E-05	-1,2E-06
0,2761	2,315	0,0576	106,703	0,3747	1,0676	5,0605	0,7181	0,1619	9,92E-05	-1,3E-06
0,2805	2,310	0,0586	105,685	0,3740	1,0695	5,1309	0,7355	0,1679	1,04E-04	-1,4E-06
0,2849	2,305	0,0596	104,677	0,3733	1,0714	5,2011	0,7531	0,1739	1,08E-04	-1,5E-06
0,2893	2,300	0,0606	103,679	0,3727	1,0733	5,2711	0,7707	0,1800	1,13E-04	-1,6E-06
0,2937	2,295	0,0615	102,691	0,3720	1,0752	5,3410	0,7884	0,1863	1,18E-04	-1,6E-06
0,2982	2,290	0,0625	101,713	0,3714	1,0771	5,4107	0,8061	0,1926	1,23E-04	-1,7E-06
0,3026	2,285	0,0635	100,745	0,3707	1,0790	5,4803	0,8240	0,1991	1,28E-04	-1,8E-06
0,3071	2,280	0,0645	99,786	0,3700	1,0810	5,5499	0,8420	0,2056	1,33E-04	-1,9E-06
0,3115	2,275	0,0655	98,837	0,3694	1,0829	5,6193	0,8600	0,2123	1,39E-04	-2,1E-06
0,3160	2,270	0,0665	97,898	0,3687	1,0848	5,6887	0,8782	0,2190	1,45E-04	-2,2E-06
0,3205	2,265	0,0675	96,968	0,3681	1,0868	5,7580	0,8964	0,2259	1,51E-04	-2,3E-06
0,3250	2,260	0,0685	96,047	0,3674	1,0887	5,8272	0,9148	0,2329	1,57E-04	-2,4E-06
0,3295	2,255	0,0695	95,135	0,3667	1,0907	5,8964	0,9332	0,2399	1,63E-04	-2,5E-06
0,3340	2,250	0,0705	94,233	0,3661	1,0927	5,9656	0,9517	0,2471	1,70E-04	-2,7E-06
0,3385	2,245	0,0716	93,339	0,3654	1,0947	6,0348	0,9704	0,2544	1,76E-04	-2,8E-06
0,3431	2,240	0,0726	92,455	0,3648	1,0966	6,104	0,9891	0,2618	1,83E-04	-3,0E-06
0,3476	2,235	0,0736	91,579	0,3641	1,0986	6,173	1,0079	0,2693	1,90E-04	-3,1E-06
0,3522	2,230	0,0747	90,712	0,3634	1,1006	6,242	1,0268	0,2770	1,98E-04	-3,3E-06
0,3568	2,225	0,0757	89,854	0,3628	1,1026	6,311	1,0459	0,2847	2,06E-04	-3,5E-06
0,3614	2,220	0,0767	89,004	0,3621	1,1047	6,381	1,0650	0,2926	2,13E-04	-3,6E-06
0,3661	2,215	0,0778	88,163	0,3614	1,1067	6,450	1,0842	0,3005	2,22E-04	-3,8E-06
0,3707	2,210	0,0788	87,330	0,3608	1,1087	6,519	1,1035	0,3086	2,30E-04	-4,0E-06
0,3754	2,205	0,0799	86,506	0,3601	1,1107	6,588	1,1230	0,3168	2,39E-04	-4,2E-06
0,3800	2,200	0,0810	85,690	0,3595	1,1128	6,658	1,1425	0,3251	2,48E-04	-4,4E-06
0,3847	2,195	0,0820	84,882	0,3588	1,1148	6,727	1,1621	0,3335	2,57E-04	-4,7E-06
0,3894	2,190	0,0831	84,082	0,3581	1,1169	6,797	1,1819	0,3421	2,66E-04	-4,9E-06
0,3942	2,185	0,0842	83,290	0,3575	1,1190	6,866	1,2017	0,3507	2,76E-04	-5,1E-06
0,3989	2,180	0,0853	82,506	0,3568	1,1211	6,936	1,2217	0,3595	2,86E-04	-5,4E-06
0,4037	2,175	0,0864	81,730	0,3561	1,1231	7,006	1,2418	0,3684	2,97E-04	-5,6E-06
0,4085	2,170	0,0875	80,961	0,3555	1,1252	7,076	1,2620	0,3775	3,07E-04	-5,9E-06
0,4133	2,165	0,0886	80,201	0,3548	1,1273	7,146	1,2823	0,3866	3,18E-04	-6,2E-06
0,4181	2,160	0,0897	79,448	0,3542	1,1294	7,216	1,3027	0,3959	3,30E-04	-6,5E-06
0,4230	2,155	0,0908	78,702	0,3535	1,1316	7,286	1,3232	0,4053	3,42E-04	-6,8E-06
0,4279	2,150	0,0920	77,964	0,3528	1,1337	7,356	1,3439	0,4149	3,54E-04	-7,1E-06
0,4328	2,145	0,0931	77,234	0,3522	1,1358	7,427	1,3646	0,4245	3,66E-04	-7,4E-06
0,4377	2,140	0,0943	76,510	0,3515	1,1380	7,497	1,3855	0,4343	3,79E-04	-7,8E-06
0,4426	2,135	0,0954	75,794	0,3508	1,1401	7,568	1,4065	0,4442	3,93E-04	-8,2E-06
0,4476	2,130	0,0966	75,086	0,3502	1,1423	7,639	1,4276	0,4543	4,06E-04	-8,5E-06
0,4526	2,125	0,0977	74,384	0,3495	1,1445	7,710	1,4488	0,4645	4,21E-04	-8,9E-06
0,4576	2,120	0,0989	73,689	0,3488	1,1466	7,781	1,4702	0,4748	4,35E-04	-9,3E-06

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}45$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0647	2,820	0,0108	285,531	0,4495	1,0012	1,4506	0,0667	0,0046	1,25E-06	-3,3E-09
0,0709	2,815	0,0118	282,731	0,4488	1,0027	1,5853	0,0795	0,0060	1,52E-06	-4,4E-09
0,0767	2,810	0,0128	279,959	0,4481	1,0042	1,7106	0,0922	0,0074	1,80E-06	-5,6E-09
0,0821	2,805	0,0138	277,214	0,4474	1,0057	1,8285	0,1050	0,0090	2,09E-06	-7,0E-09
0,0873	2,800	0,0146	274,497	0,4468	1,0072	1,9403	0,1179	0,0108	2,40E-06	-8,5E-09
0,0923	2,795	0,0155	271,807	0,4461	1,0088	2,0470	0,1308	0,0126	2,71E-06	-1,0E-08
0,0971	2,790	0,0163	269,144	0,4454	1,0103	2,1494	0,1437	0,0145	3,04E-06	-1,2E-08
0,1018	2,785	0,0171	266,507	0,4447	1,0118	2,2482	0,1567	0,0165	3,38E-06	-1,4E-08
0,1063	2,780	0,0179	263,896	0,4441	1,0133	2,3437	0,1697	0,0186	3,73E-06	-1,6E-08
0,1107	2,775	0,0187	261,312	0,4434	1,0149	2,4364	0,1828	0,0208	4,10E-06	-1,8E-08
0,1151	2,770	0,0194	258,753	0,4427	1,0164	2,5265	0,1960	0,0231	4,49E-06	-2,1E-08
0,1193	2,765	0,0202	256,220	0,4421	1,0180	2,6144	0,2091	0,0254	4,88E-06	-2,4E-08
0,1235	2,760	0,0209	253,712	0,4414	1,0195	2,7003	0,2224	0,0279	5,30E-06	-2,7E-08
0,1276	2,755	0,0216	251,229	0,4407	1,0211	2,7843	0,2357	0,0304	5,73E-06	-3,0E-08
0,1316	2,750	0,0223	248,770	0,4400	1,0227	2,8667	0,2490	0,0330	6,17E-06	-3,3E-08
0,1356	2,745	0,0230	246,336	0,4394	1,0242	2,9476	0,2624	0,0357	6,63E-06	-3,7E-08
0,1395	2,740	0,0237	243,927	0,4387	1,0258	3,0271	0,2758	0,0385	7,11E-06	-4,1E-08
0,1434	2,735	0,0244	241,541	0,4380	1,0274	3,1054	0,2893	0,0414	7,61E-06	-4,5E-08
0,1473	2,730	0,0251	239,179	0,4373	1,0290	3,1824	0,3028	0,0443	8,12E-06	-4,9E-08
0,1511	2,725	0,0258	236,840	0,4367	1,0305	3,2584	0,3164	0,0473	8,66E-06	-5,4E-08
0,1549	2,720	0,0265	234,525	0,4360	1,0321	3,3334	0,3300	0,0504	9,21E-06	-5,9E-08
0,1586	2,715	0,0272	232,233	0,4353	1,0337	3,4075	0,3437	0,0536	9,79E-06	-6,4E-08
0,1623	2,710	0,0278	229,964	0,4346	1,0353	3,4807	0,3575	0,0568	1,04E-05	-6,9E-08
0,1660	2,705	0,0285	227,717	0,4340	1,0369	3,5532	0,3713	0,0602	1,10E-05	-7,5E-08
0,1697	2,700	0,0292	225,493	0,4333	1,0386	3,6248	0,3851	0,0636	1,16E-05	-8,1E-08
0,1734	2,695	0,0298	223,291	0,4326	1,0402	3,6958	0,3990	0,0670	1,23E-05	-8,8E-08
0,1770	2,690	0,0305	221,111	0,4319	1,0418	3,7662	0,4130	0,0706	1,30E-05	-9,5E-08
0,1806	2,685	0,0312	218,952	0,4313	1,0434	3,8359	0,4270	0,0742	1,37E-05	-1,0E-07
0,1843	2,680	0,0318	216,815	0,4306	1,0451	3,9051	0,4410	0,0779	1,44E-05	-1,1E-07
0,1879	2,675	0,0325	214,699	0,4299	1,0467	3,9738	0,4551	0,0817	1,52E-05	-1,2E-07
0,1914	2,670	0,0332	212,605	0,4293	1,0483	4,0419	0,4693	0,0855	1,60E-05	-1,3E-07
0,1950	2,665	0,0338	210,531	0,4286	1,0500	4,1096	0,4835	0,0894	1,68E-05	-1,4E-07
0,1986	2,660	0,0345	208,478	0,4279	1,0516	4,1769	0,4978	0,0934	1,76E-05	-1,5E-07
0,2022	2,655	0,0351	206,445	0,4272	1,0533	4,2438	0,5122	0,0975	1,85E-05	-1,6E-07
0,2057	2,650	0,0358	204,433	0,4266	1,0550	4,3103	0,5266	0,1016	1,94E-05	-1,7E-07
0,2093	2,645	0,0365	202,440	0,4259	1,0566	4,3764	0,5410	0,1058	2,03E-05	-1,8E-07
0,2128	2,640	0,0371	200,468	0,4252	1,0583	4,4422	0,5555	0,1101	2,13E-05	-1,9E-07
0,2164	2,635	0,0378	198,515	0,4245	1,0600	4,5077	0,5701	0,1145	2,23E-05	-2,0E-07
0,2199	2,630	0,0385	196,581	0,4239	1,0617	4,5728	0,5847	0,1189	2,33E-05	-2,1E-07
0,2234	2,625	0,0391	194,667	0,4232	1,0634	4,6378	0,5994	0,1234	2,44E-05	-2,3E-07
0,2270	2,620	0,0398	192,772	0,4225	1,0651	4,7024	0,6142	0,1280	2,55E-05	-2,4E-07
0,2305	2,615	0,0405	190,896	0,4218	1,0668	4,7669	0,6290	0,1327	2,66E-05	-2,6E-07
0,2340	2,610	0,0412	189,038	0,4212	1,0685	4,8311	0,6438	0,1374	2,78E-05	-2,7E-07
0,2376	2,605	0,0418	187,199	0,4205	1,0702	4,8950	0,6588	0,1422	2,90E-05	-2,9E-07
0,2411	2,600	0,0425	185,378	0,4198	1,0719	4,9588	0,6738	0,1471	3,03E-05	-3,1E-07

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}45$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,2447	2,595	0,0432	183,576	0,4191	1,0736	5,0225	0,6888	0,1520	3,15E-05	-3,2E-07
0,2482	2,590	0,0439	181,791	0,4185	1,0753	5,0859	0,7039	0,1571	3,29E-05	-3,4E-07
0,2518	2,585	0,0446	180,024	0,4178	1,0771	5,1492	0,7191	0,1622	3,43E-05	-3,6E-07
0,2553	2,580	0,0453	178,275	0,4171	1,0788	5,2124	0,7343	0,1674	3,57E-05	-3,8E-07
0,2589	2,575	0,0459	176,543	0,4164	1,0806	5,2754	0,7496	0,1726	3,72E-05	-4,0E-07
0,2624	2,570	0,0466	174,828	0,4158	1,0823	5,3384	0,7650	0,1780	3,87E-05	-4,3E-07
0,2660	2,565	0,0473	173,131	0,4151	1,0841	5,4012	0,7804	0,1834	4,02E-05	-4,5E-07
0,2696	2,560	0,0480	171,450	0,4144	1,0858	5,4639	0,7959	0,1889	4,19E-05	-4,8E-07
0,2732	2,555	0,0487	169,786	0,4138	1,0876	5,5265	0,8115	0,1944	4,35E-05	-5,0E-07
0,2768	2,550	0,0494	168,139	0,4131	1,0894	5,5891	0,8271	0,2001	4,53E-05	-5,3E-07
0,2804	2,545	0,0501	166,508	0,4124	1,0912	5,6515	0,8428	0,2058	4,70E-05	-5,6E-07
0,2840	2,540	0,0509	164,894	0,4117	1,0930	5,7140	0,8586	0,2116	4,89E-05	-5,9E-07
0,2876	2,535	0,0516	163,295	0,4111	1,0947	5,7763	0,8744	0,2175	5,08E-05	-6,2E-07
0,2912	2,530	0,0523	161,713	0,4104	1,0965	5,8387	0,8903	0,2234	5,27E-05	-6,5E-07
0,2948	2,525	0,0530	160,146	0,4097	1,0983	5,9010	0,9063	0,2295	5,47E-05	-6,8E-07
0,2985	2,520	0,0537	158,595	0,4090	1,1002	5,9632	0,9223	0,2356	5,68E-05	-7,2E-07
0,3021	2,515	0,0545	157,059	0,4084	1,1020	6,0255	0,9384	0,2418	5,90E-05	-7,5E-07
0,3058	2,510	0,0552	155,538	0,4077	1,1038	6,0877	0,9546	0,2481	6,12E-05	-7,9E-07
0,3095	2,505	0,0559	154,033	0,4070	1,1056	6,1499	0,9708	0,2544	6,35E-05	-8,3E-07
0,3131	2,500	0,0567	152,543	0,4063	1,1075	6,2122	0,9871	0,2609	6,58E-05	-8,8E-07
0,3168	2,495	0,0574	151,067	0,4057	1,1093	6,2744	1,0035	0,2674	6,82E-05	-9,2E-07
0,3205	2,490	0,0582	149,607	0,4050	1,1111	6,3366	1,0200	0,2740	7,07E-05	-9,6E-07
0,3243	2,485	0,0589	148,161	0,4043	1,1130	6,3989	1,0365	0,2807	7,33E-05	-1,0E-06
0,3280	2,480	0,0597	146,729	0,4036	1,1149	6,4612	1,0531	0,2875	7,60E-05	-1,1E-06
0,3317	2,475	0,0604	145,311	0,4030	1,1167	6,5235	1,0698	0,2943	7,87E-05	-1,1E-06
0,3355	2,470	0,0612	143,908	0,4023	1,1186	6,5859	1,0865	0,3013	8,15E-05	-1,2E-06
0,3393	2,465	0,0620	142,519	0,4016	1,1205	6,6483	1,1034	0,3083	8,44E-05	-1,2E-06
0,3430	2,460	0,0627	141,143	0,4009	1,1224	6,7108	1,1203	0,3154	8,75E-05	-1,3E-06
0,3468	2,455	0,0635	139,781	0,4003	1,1243	6,7733	1,1373	0,3226	9,05E-05	-1,3E-06
0,3506	2,450	0,0643	138,433	0,3996	1,1262	6,8359	1,1543	0,3299	9,37E-05	-1,4E-06
0,3545	2,445	0,0651	137,099	0,3989	1,1281	6,8985	1,1715	0,3373	9,70E-05	-1,5E-06
0,3583	2,440	0,0659	135,777	0,3982	1,1300	6,9613	1,1887	0,3447	1,00E-04	-1,5E-06
0,3621	2,435	0,0667	134,469	0,3976	1,1319	7,0240	1,2060	0,3523	1,04E-04	-1,6E-06
0,3660	2,430	0,0675	133,174	0,3969	1,1338	7,0869	1,2233	0,3599	1,07E-04	-1,7E-06
0,3699	2,425	0,0683	131,891	0,3962	1,1357	7,1499	1,2408	0,3677	1,11E-04	-1,8E-06
0,3738	2,420	0,0691	130,622	0,3955	1,1377	7,2129	1,2583	0,3755	1,15E-04	-1,8E-06
0,3777	2,415	0,0699	129,365	0,3949	1,1396	7,2761	1,2759	0,3834	1,19E-04	-1,9E-06
0,3816	2,410	0,0707	128,121	0,3942	1,1416	7,3393	1,2936	0,3914	1,23E-04	-2,0E-06
0,3856	2,405	0,0715	126,889	0,3935	1,1435	7,4027	1,3114	0,3995	1,27E-04	-2,1E-06
0,3895	2,400	0,0724	125,669	0,3928	1,1455	7,4661	1,3293	0,4077	1,31E-04	-2,2E-06
0,3935	2,395	0,0732	124,462	0,3922	1,1475	7,5297	1,3472	0,4160	1,36E-04	-2,3E-06
0,3975	2,390	0,0740	123,266	0,3915	1,1495	7,5934	1,3653	0,4244	1,40E-04	-2,4E-06
0,4015	2,385	0,0749	122,083	0,3908	1,1514	7,6572	1,3834	0,4329	1,45E-04	-2,5E-06
0,4055	2,380	0,0757	120,911	0,3901	1,1534	7,7211	1,4016	0,4414	1,50E-04	-2,6E-06
0,4096	2,375	0,0766	119,751	0,3895	1,1554	7,7852	1,4199	0,4501	1,55E-04	-2,7E-06

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d.
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}50$

$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0624	3,120	0,0085	516,896	0,4973	1,0054	1,5474	0,0748	0,0054	4,26E-07	-8,9E-10
0,0673	3,115	0,0092	511,793	0,4966	1,0068	1,6640	0,0863	0,0067	5,01E-07	-1,1E-09
0,0719	3,110	0,0098	506,741	0,4959	1,0082	1,7740	0,0977	0,0081	5,79E-07	-1,4E-09
0,0762	3,105	0,0104	501,740	0,4952	1,0096	1,8784	0,1093	0,0096	6,60E-07	-1,7E-09
0,0804	3,100	0,0110	496,788	0,4946	1,0110	1,9782	0,1208	0,0112	7,44E-07	-2,0E-09
0,0845	3,095	0,0116	491,885	0,4939	1,0124	2,0741	0,1324	0,0128	8,32E-07	-2,4E-09
0,0884	3,090	0,0122	487,031	0,4932	1,0138	2,1665	0,1440	0,0145	9,23E-07	-2,8E-09
0,0922	3,085	0,0127	482,226	0,4925	1,0152	2,2559	0,1557	0,0163	1,02E-06	-3,2E-09
0,0959	3,080	0,0132	477,468	0,4918	1,0166	2,3427	0,1674	0,0182	1,12E-06	-3,6E-09
0,0996	3,075	0,0138	472,758	0,4911	1,0181	2,4271	0,1791	0,0202	1,22E-06	-4,1E-09
0,1032	3,070	0,0143	468,095	0,4904	1,0195	2,5095	0,1909	0,0222	1,33E-06	-4,6E-09
0,1067	3,065	0,0148	463,478	0,4898	1,0209	2,5899	0,2027	0,0243	1,44E-06	-5,2E-09
0,1101	3,060	0,0153	458,907	0,4891	1,0223	2,6686	0,2145	0,0264	1,55E-06	-5,8E-09
0,1135	3,055	0,0158	454,381	0,4884	1,0238	2,7457	0,2264	0,0286	1,67E-06	-6,5E-09
0,1168	3,050	0,0163	449,901	0,4877	1,0252	2,8214	0,2383	0,0309	1,79E-06	-7,1E-09
0,1201	3,045	0,0168	445,465	0,4870	1,0266	2,8958	0,2503	0,0333	1,92E-06	-7,9E-09
0,1234	3,040	0,0172	441,073	0,4863	1,0281	2,9690	0,2623	0,0357	2,05E-06	-8,7E-09
0,1266	3,035	0,0177	436,725	0,4857	1,0295	3,0410	0,2743	0,0382	2,19E-06	-9,5E-09
0,1298	3,030	0,0182	432,420	0,4850	1,0310	3,1120	0,2864	0,0408	2,33E-06	-1,0E-08
0,1329	3,025	0,0187	428,158	0,4843	1,0325	3,1821	0,2985	0,0434	2,48E-06	-1,1E-08
0,1361	3,020	0,0191	423,938	0,4836	1,0339	3,2512	0,3107	0,0460	2,63E-06	-1,2E-08
0,1392	3,015	0,0196	419,761	0,4829	1,0354	3,3196	0,3229	0,0488	2,79E-06	-1,3E-08
0,1423	3,010	0,0201	415,625	0,4822	1,0369	3,3871	0,3351	0,0516	2,95E-06	-1,5E-08
0,1453	3,005	0,0205	411,530	0,4815	1,0383	3,4539	0,3474	0,0544	3,12E-06	-1,6E-08
0,1484	3,000	0,0210	407,476	0,4809	1,0398	3,5201	0,3597	0,0574	3,30E-06	-1,7E-08
0,1514	2,995	0,0215	403,462	0,4802	1,0413	3,5856	0,3720	0,0603	3,48E-06	-1,8E-08
0,1544	2,990	0,0219	399,489	0,4795	1,0428	3,6505	0,3844	0,0634	3,67E-06	-2,0E-08
0,1574	2,985	0,0224	395,554	0,4788	1,0443	3,7149	0,3969	0,0665	3,86E-06	-2,1E-08
0,1604	2,980	0,0229	391,659	0,4781	1,0458	3,7787	0,4093	0,0696	4,07E-06	-2,3E-08
0,1634	2,975	0,0233	387,803	0,4774	1,0473	3,8421	0,4219	0,0729	4,28E-06	-2,4E-08
0,1664	2,970	0,0238	383,985	0,4767	1,0488	3,9050	0,4344	0,0761	4,49E-06	-2,6E-08
0,1693	2,965	0,0242	380,205	0,4761	1,0503	3,9674	0,4470	0,0795	4,71E-06	-2,8E-08
0,1723	2,960	0,0247	376,463	0,4754	1,0518	4,0294	0,4597	0,0829	4,94E-06	-3,0E-08
0,1752	2,955	0,0252	372,758	0,4747	1,0533	4,0911	0,4724	0,0863	5,18E-06	-3,2E-08
0,1781	2,950	0,0256	369,090	0,4740	1,0548	4,1524	0,4851	0,0898	5,43E-06	-3,4E-08
0,1811	2,945	0,0261	365,458	0,4733	1,0564	4,2133	0,4979	0,0934	5,69E-06	-3,6E-08
0,1840	2,940	0,0266	361,863	0,4726	1,0579	4,2739	0,5107	0,0970	5,95E-06	-3,9E-08
0,1869	2,935	0,0270	358,303	0,4720	1,0594	4,3342	0,5235	0,1007	6,22E-06	-4,1E-08
0,1898	2,930	0,0275	354,779	0,4713	1,0610	4,3942	0,5364	0,1045	6,50E-06	-4,4E-08
0,1927	2,925	0,0280	351,289	0,4706	1,0625	4,4539	0,5494	0,1083	6,79E-06	-4,6E-08
0,1956	2,920	0,0284	347,835	0,4699	1,0641	4,5134	0,5624	0,1121	7,09E-06	-4,9E-08
0,1985	2,915	0,0289	344,415	0,4692	1,0656	4,5727	0,5754	0,1161	7,40E-06	-5,2E-08
0,2014	2,910	0,0294	341,029	0,4685	1,0672	4,6317	0,5885	0,1200	7,72E-06	-5,5E-08
0,2044	2,905	0,0298	337,676	0,4678	1,0687	4,6905	0,6016	0,1241	8,05E-06	-5,8E-08
0,2073	2,900	0,0303	334,357	0,4672	1,0703	4,7491	0,6148	0,1282	8,40E-06	-6,2E-08

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}50$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,2107	2,894	0,0309	330,418	0,4663	1,0722	4,8191	0,6307	0,1332	8,82E-06	-6,6E-08
0,2142	2,888	0,0315	326,526	0,4655	1,0741	4,8889	0,6466	0,1383	9,26E-06	-7,1E-08
0,2177	2,882	0,0320	322,680	0,4647	1,0760	4,9585	0,6626	0,1434	9,72E-06	-7,6E-08
0,2212	2,876	0,0326	318,880	0,4639	1,0779	5,0279	0,6787	0,1487	1,02E-05	-8,1E-08
0,2247	2,870	0,0332	315,126	0,4630	1,0798	5,0971	0,6948	0,1540	1,07E-05	-8,6E-08
0,2282	2,864	0,0338	311,416	0,4622	1,0817	5,1661	0,7110	0,1594	1,12E-05	-9,2E-08
0,2317	2,858	0,0344	307,751	0,4614	1,0837	5,2349	0,7273	0,1649	1,17E-05	-9,8E-08
0,2352	2,852	0,0349	304,129	0,4606	1,0856	5,3036	0,7436	0,1705	1,23E-05	-1,0E-07
0,2387	2,846	0,0355	300,550	0,4598	1,0875	5,3721	0,7601	0,1762	1,29E-05	-1,1E-07
0,2423	2,840	0,0361	297,015	0,4589	1,0895	5,4405	0,7765	0,1820	1,35E-05	-1,2E-07
0,2458	2,834	0,0367	293,521	0,4581	1,0914	5,5088	0,7931	0,1878	1,41E-05	-1,3E-07
0,2493	2,828	0,0373	290,069	0,4573	1,0934	5,5770	0,8097	0,1937	1,47E-05	-1,3E-07
0,2529	2,822	0,0379	286,659	0,4565	1,0954	5,6451	0,8264	0,1998	1,54E-05	-1,4E-07
0,2564	2,816	0,0385	283,289	0,4556	1,0973	5,7132	0,8432	0,2059	1,61E-05	-1,5E-07
0,2600	2,810	0,0392	279,959	0,4548	1,0993	5,7812	0,8600	0,2121	1,68E-05	-1,6E-07
0,2635	2,804	0,0398	276,669	0,4540	1,1013	5,8491	0,8770	0,2184	1,75E-05	-1,7E-07
0,2671	2,798	0,0404	273,418	0,4532	1,1033	5,9170	0,8940	0,2247	1,83E-05	-1,8E-07
0,2707	2,792	0,0410	270,206	0,4524	1,1053	5,9848	0,9110	0,2312	1,91E-05	-1,9E-07
0,2743	2,786	0,0416	267,032	0,4515	1,1073	6,0527	0,9282	0,2378	1,99E-05	-2,0E-07
0,2779	2,780	0,0423	263,896	0,4507	1,1093	6,1205	0,9454	0,2444	2,08E-05	-2,1E-07
0,2816	2,774	0,0429	260,798	0,4499	1,1114	6,1883	0,9627	0,2512	2,17E-05	-2,2E-07
0,2852	2,768	0,0436	257,737	0,4491	1,1134	6,2561	0,9801	0,2580	2,26E-05	-2,4E-07
0,2888	2,762	0,0442	254,712	0,4482	1,1155	6,3239	0,9975	0,2649	2,36E-05	-2,5E-07
0,2925	2,756	0,0448	251,723	0,4474	1,1175	6,3918	1,0150	0,2719	2,46E-05	-2,7E-07
0,2962	2,750	0,0455	248,770	0,4466	1,1196	6,4597	1,0326	0,2790	2,56E-05	-2,8E-07
0,2999	2,744	0,0462	245,852	0,4458	1,1216	6,5276	1,0503	0,2862	2,67E-05	-3,0E-07
0,3036	2,738	0,0468	242,969	0,4450	1,1237	6,5955	1,0681	0,2935	2,78E-05	-3,1E-07
0,3073	2,732	0,0475	240,121	0,4441	1,1258	6,6635	1,0860	0,3009	2,89E-05	-3,3E-07
0,3110	2,726	0,0482	237,306	0,4433	1,1279	6,7316	1,1039	0,3084	3,01E-05	-3,5E-07
0,3147	2,720	0,0488	234,525	0,4425	1,1300	6,7997	1,1219	0,3160	3,13E-05	-3,7E-07
0,3185	2,714	0,0495	231,778	0,4417	1,1321	6,8679	1,1400	0,3237	3,26E-05	-3,9E-07
0,3223	2,708	0,0502	229,063	0,4408	1,1342	6,9362	1,1582	0,3314	3,39E-05	-4,1E-07
0,3260	2,702	0,0509	226,380	0,4400	1,1363	7,0046	1,1765	0,3393	3,53E-05	-4,3E-07
0,3299	2,696	0,0516	223,729	0,4392	1,1384	7,0730	1,1948	0,3473	3,67E-05	-4,5E-07
0,3337	2,690	0,0523	221,111	0,4384	1,1406	7,1416	1,2133	0,3554	3,81E-05	-4,8E-07
0,3375	2,684	0,0530	218,523	0,4376	1,1427	7,2103	1,2318	0,3635	3,97E-05	-5,0E-07
0,3414	2,678	0,0537	215,966	0,4367	1,1449	7,2790	1,2504	0,3718	4,12E-05	-5,3E-07
0,3452	2,672	0,0544	213,440	0,4359	1,1470	7,3479	1,2691	0,3802	4,28E-05	-5,6E-07
0,3491	2,666	0,0551	210,944	0,4351	1,1492	7,4169	1,2879	0,3887	4,45E-05	-5,9E-07
0,3530	2,660	0,0559	208,478	0,4343	1,1514	7,4861	1,3068	0,3972	4,63E-05	-6,2E-07
0,3569	2,654	0,0566	206,041	0,4334	1,1535	7,5553	1,3258	0,4059	4,81E-05	-6,5E-07
0,3609	2,648	0,0573	203,633	0,4326	1,1557	7,6247	1,3448	0,4147	4,99E-05	-6,8E-07
0,3648	2,642	0,0581	201,254	0,4318	1,1579	7,6943	1,3640	0,4236	5,19E-05	-7,2E-07
0,3688	2,636	0,0588	198,904	0,4310	1,1602	7,7640	1,3832	0,4326	5,39E-05	-7,6E-07
0,3728	2,630	0,0596	196,581	0,4302	1,1624	7,8338	1,4026	0,4417	5,59E-05	-7,9E-07

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}55$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0539	3,430	0,0059	957,387	0,5466	1,0063	1,4682	0,0670	0,0046	1,11E-07	-1,6E-10
0,0589	3,424	0,0065	946,015	0,5457	1,0078	1,6018	0,0795	0,0060	1,35E-07	-2,2E-10
0,0636	3,418	0,0070	934,779	0,5449	1,0094	1,7263	0,0920	0,0074	1,59E-07	-2,8E-10
0,0681	3,412	0,0075	923,677	0,5441	1,0109	1,8435	0,1046	0,0090	1,86E-07	-3,5E-10
0,0723	3,406	0,0080	912,707	0,5432	1,0125	1,9548	0,1172	0,0107	2,13E-07	-4,2E-10
0,0764	3,400	0,0085	901,868	0,5424	1,0140	2,0611	0,1298	0,0124	2,42E-07	-5,1E-10
0,0804	3,394	0,0090	891,159	0,5416	1,0156	2,1631	0,1425	0,0143	2,72E-07	-6,0E-10
0,0842	3,388	0,0094	880,577	0,5407	1,0171	2,2615	0,1553	0,0163	3,03E-07	-7,1E-10
0,0879	3,382	0,0098	870,122	0,5399	1,0187	2,3568	0,1680	0,0183	3,36E-07	-8,2E-10
0,0916	3,376	0,0103	859,791	0,5391	1,0203	2,4492	0,1809	0,0205	3,71E-07	-9,4E-10
0,0951	3,370	0,0107	849,583	0,5382	1,0219	2,5391	0,1937	0,0227	4,07E-07	-1,1E-09
0,0986	3,364	0,0111	839,497	0,5374	1,0235	2,6268	0,2066	0,0250	4,44E-07	-1,2E-09
0,1020	3,358	0,0115	829,532	0,5366	1,0250	2,7125	0,2196	0,0274	4,84E-07	-1,4E-09
0,1054	3,352	0,0119	819,685	0,5357	1,0266	2,7965	0,2326	0,0298	5,25E-07	-1,5E-09
0,1087	3,346	0,0123	809,956	0,5349	1,0282	2,8787	0,2456	0,0324	5,67E-07	-1,7E-09
0,1120	3,340	0,0127	800,343	0,5341	1,0298	2,9595	0,2587	0,0350	6,12E-07	-1,9E-09
0,1152	3,334	0,0131	790,845	0,5332	1,0314	3,0389	0,2718	0,0377	6,59E-07	-2,1E-09
0,1184	3,328	0,0135	781,459	0,5324	1,0331	3,1170	0,2850	0,0405	7,07E-07	-2,4E-09
0,1216	3,322	0,0139	772,186	0,5316	1,0347	3,1940	0,2982	0,0433	7,58E-07	-2,6E-09
0,1247	3,316	0,0143	763,024	0,5307	1,0363	3,2699	0,3115	0,0462	8,11E-07	-2,9E-09
0,1278	3,310	0,0147	753,970	0,5299	1,0379	3,3448	0,3248	0,0492	8,66E-07	-3,1E-09
0,1309	3,304	0,0151	745,025	0,5291	1,0396	3,4188	0,3381	0,0523	9,24E-07	-3,4E-09
0,1340	3,298	0,0155	736,187	0,5282	1,0412	3,4919	0,3515	0,0554	9,84E-07	-3,8E-09
0,1370	3,292	0,0159	727,454	0,5274	1,0429	3,5643	0,3650	0,0586	1,05E-06	-4,1E-09
0,1400	3,286	0,0162	718,825	0,5266	1,0445	3,6359	0,3785	0,0619	1,11E-06	-4,5E-09
0,1430	3,280	0,0166	710,299	0,5257	1,0462	3,7068	0,3920	0,0653	1,18E-06	-4,8E-09
0,1460	3,274	0,0170	701,874	0,5249	1,0478	3,7771	0,4056	0,0687	1,25E-06	-5,2E-09
0,1490	3,268	0,0174	693,551	0,5241	1,0495	3,8468	0,4192	0,0722	1,32E-06	-5,7E-09
0,1520	3,262	0,0178	685,326	0,5232	1,0512	3,9159	0,4329	0,0757	1,40E-06	-6,1E-09
0,1549	3,256	0,0182	677,200	0,5224	1,0528	3,9845	0,4467	0,0794	1,48E-06	-6,6E-09
0,1579	3,250	0,0186	669,170	0,5216	1,0545	4,0526	0,4604	0,0831	1,56E-06	-7,1E-09
0,1608	3,244	0,0190	661,237	0,5207	1,0562	4,1203	0,4743	0,0868	1,65E-06	-7,7E-09
0,1638	3,238	0,0193	653,398	0,5199	1,0579	4,1875	0,4881	0,0907	1,73E-06	-8,3E-09
0,1667	3,232	0,0197	645,652	0,5191	1,0596	4,2543	0,5021	0,0946	1,83E-06	-8,9E-09
0,1696	3,226	0,0201	637,999	0,5182	1,0613	4,3207	0,5160	0,0986	1,92E-06	-9,5E-09
0,1726	3,220	0,0205	630,437	0,5174	1,0630	4,3868	0,5301	0,1026	2,02E-06	-1,0E-08
0,1755	3,214	0,0209	622,966	0,5166	1,0647	4,4525	0,5442	0,1067	2,13E-06	-1,1E-08
0,1784	3,208	0,0213	615,583	0,5157	1,0664	4,5179	0,5583	0,1109	2,24E-06	-1,2E-08
0,1813	3,202	0,0217	608,289	0,5149	1,0682	4,5830	0,5725	0,1152	2,35E-06	-1,3E-08
0,1842	3,196	0,0221	601,081	0,5141	1,0699	4,6479	0,5867	0,1195	2,47E-06	-1,3E-08
0,1871	3,190	0,0225	593,960	0,5132	1,0716	4,7125	0,6010	0,1239	2,59E-06	-1,4E-08
0,1900	3,184	0,0229	586,924	0,5124	1,0734	4,7769	0,6153	0,1283	2,71E-06	-1,5E-08
0,1929	3,178	0,0233	579,971	0,5116	1,0751	4,8410	0,6297	0,1329	2,84E-06	-1,6E-08
0,1959	3,172	0,0237	573,102	0,5107	1,0769	4,9049	0,6441	0,1375	2,98E-06	-1,7E-08
0,1988	3,166	0,0241	566,314	0,5099	1,0786	4,9686	0,6586	0,1421	3,12E-06	-1,9E-08

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 0{,}55$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,2017	3,160	0,0245	559,607	0,5091	1,0804	5,0322	0,6732	0,1468	3,27E-06	-2,0E-08
0,2046	3,154	0,0250	552,981	0,5082	1,0822	5,0956	0,6878	0,1517	3,42E-06	-2,1E-08
0,2075	3,148	0,0254	546,433	0,5074	1,0839	5,1588	0,7024	0,1565	3,57E-06	-2,2E-08
0,2105	3,142	0,0258	539,964	0,5066	1,0857	5,2219	0,7171	0,1615	3,74E-06	-2,4E-08
0,2134	3,136	0,0262	533,571	0,5057	1,0875	5,2849	0,7319	0,1665	3,91E-06	-2,5E-08
0,2163	3,130	0,0266	527,255	0,5049	1,0893	5,3477	0,7467	0,1716	4,08E-06	-2,7E-08
0,2193	3,124	0,0271	521,015	0,5041	1,0911	5,4104	0,7616	0,1767	4,26E-06	-2,8E-08
0,2222	3,118	0,0275	514,849	0,5032	1,0929	5,4731	0,7765	0,1819	4,45E-06	-3,0E-08
0,2252	3,112	0,0279	508,756	0,5024	1,0947	5,5356	0,7915	0,1872	4,65E-06	-3,2E-08
0,2281	3,106	0,0283	502,736	0,5016	1,0965	5,5981	0,8065	0,1926	4,85E-06	-3,4E-08
0,2311	3,100	0,0288	496,788	0,5007	1,0984	5,6605	0,8216	0,1980	5,06E-06	-3,6E-08
0,2340	3,094	0,0292	490,911	0,4999	1,1002	5,7228	0,8368	0,2035	5,28E-06	-3,8E-08
0,2370	3,088	0,0297	485,103	0,4991	1,1020	5,7851	0,8520	0,2091	5,51E-06	-4,0E-08
0,2400	3,082	0,0301	479,366	0,4982	1,1039	5,8473	0,8673	0,2147	5,74E-06	-4,2E-08
0,2430	3,076	0,0305	473,696	0,4974	1,1057	5,9095	0,8826	0,2205	5,98E-06	-4,5E-08
0,2460	3,070	0,0310	468,095	0,4966	1,1076	5,9716	0,8980	0,2263	6,23E-06	-4,7E-08
0,2490	3,064	0,0314	462,560	0,4957	1,1094	6,0338	0,9135	0,2321	6,50E-06	-5,0E-08
0,2520	3,058	0,0319	457,091	0,4949	1,1113	6,0959	0,9290	0,2381	6,77E-06	-5,3E-08
0,2550	3,052	0,0323	451,687	0,4941	1,1132	6,1580	0,9445	0,2441	7,04E-06	-5,6E-08
0,2580	3,046	0,0328	446,348	0,4932	1,1151	6,2201	0,9602	0,2501	7,33E-06	-5,9E-08
0,2611	3,040	0,0333	441,073	0,4924	1,1170	6,2822	0,9758	0,2563	7,63E-06	-6,2E-08
0,2641	3,034	0,0337	435,860	0,4916	1,1188	6,3444	0,9916	0,2625	7,95E-06	-6,6E-08
0,2672	3,028	0,0342	430,710	0,4907	1,1207	6,4065	1,0074	0,2688	8,27E-06	-6,9E-08
0,2703	3,022	0,0347	425,621	0,4899	1,1227	6,4687	1,0233	0,2752	8,60E-06	-7,3E-08
0,2733	3,016	0,0352	420,593	0,4891	1,1246	6,5309	1,0392	0,2817	8,95E-06	-7,7E-08
0,2764	3,010	0,0356	415,625	0,4882	1,1265	6,5931	1,0552	0,2882	9,30E-06	-8,1E-08
0,2795	3,004	0,0361	410,716	0,4874	1,1284	6,6554	1,0713	0,2948	9,67E-06	-8,5E-08
0,2826	2,998	0,0366	405,866	0,4866	1,1303	6,7177	1,0874	0,3015	1,01E-05	-9,0E-08
0,2858	2,992	0,0371	401,073	0,4857	1,1323	6,7801	1,1036	0,3083	1,05E-05	-9,5E-08
0,2889	2,986	0,0376	396,338	0,4849	1,1342	6,8425	1,1199	0,3151	1,09E-05	-1,0E-07
0,2920	2,980	0,0381	391,659	0,4841	1,1362	6,9050	1,1362	0,3220	1,13E-05	-1,0E-07
0,2952	2,974	0,0386	387,036	0,4832	1,1381	6,9675	1,1526	0,3290	1,17E-05	-1,1E-07
0,2984	2,968	0,0391	382,469	0,4824	1,1401	7,0302	1,1690	0,3361	1,22E-05	-1,2E-07
0,3015	2,962	0,0396	377,955	0,4816	1,1421	7,0929	1,1855	0,3432	1,27E-05	-1,2E-07
0,3047	2,956	0,0401	373,496	0,4807	1,1441	7,1557	1,2021	0,3504	1,31E-05	-1,3E-07
0,3079	2,950	0,0406	369,090	0,4799	1,1460	7,2185	1,2188	0,3578	1,36E-05	-1,4E-07
0,3112	2,944	0,0412	364,736	0,4791	1,1480	7,2815	1,2355	0,3651	1,42E-05	-1,4E-07
0,3144	2,938	0,0417	360,434	0,4782	1,1500	7,3446	1,2523	0,3726	1,47E-05	-1,5E-07
0,3176	2,932	0,0422	356,184	0,4774	1,1520	7,4077	1,2692	0,3802	1,53E-05	-1,6E-07
0,3209	2,926	0,0427	351,984	0,4766	1,1541	7,4710	1,2861	0,3878	1,58E-05	-1,6E-07
0,3242	2,920	0,0433	347,835	0,4757	1,1561	7,5343	1,3031	0,3955	1,64E-05	-1,7E-07
0,3274	2,914	0,0438	343,735	0,4749	1,1581	7,5978	1,3202	0,4033	1,71E-05	-1,8E-07
0,3307	2,908	0,0444	339,684	0,4741	1,1601	7,6614	1,3373	0,4112	1,77E-05	-1,9E-07
0,3341	2,902	0,0449	335,681	0,4732	1,1622	7,7251	1,3545	0,4192	1,84E-05	-2,0E-07
0,3374	2,896	0,0455	331,726	0,4724	1,1642	7,7890	1,3718	0,4272	1,90E-05	-2,1E-07

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 1{,}00$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,0316	6,220	0,0004	252715	0,9907	1,0094	1,5602	0,0749	0,0054	1,77E-12	-1,7E-16
0,0342	6,210	0,0004	247711	0,9892	1,0109	1,6831	0,0869	0,0068	2,13E-12	-2,2E-16
0,0366	6,200	0,0005	242806	0,9877	1,0124	1,7987	0,0989	0,0083	2,53E-12	-2,9E-16
0,0389	6,190	0,0005	237998	0,9863	1,0139	1,9083	0,1109	0,0098	2,95E-12	-3,6E-16
0,0411	6,180	0,0005	233285	0,9848	1,0154	2,0130	0,1230	0,0115	3,41E-12	-4,4E-16
0,0432	6,170	0,0005	228666	0,9833	1,0170	2,1133	0,1351	0,0132	3,90E-12	-5,3E-16
0,0453	6,160	0,0006	224138	0,9818	1,0185	2,2101	0,1473	0,0150	4,42E-12	-6,4E-16
0,0473	6,150	0,0006	219700	0,9804	1,0200	2,3036	0,1594	0,0169	4,98E-12	-7,5E-16
0,0493	6,140	0,0006	215350	0,9789	1,0216	2,3943	0,1717	0,0189	5,58E-12	-8,8E-16
0,0512	6,130	0,0007	211086	0,9774	1,0231	2,4826	0,1839	0,0210	6,23E-12	-1,0E-15
0,0531	6,120	0,0007	206906	0,9759	1,0246	2,5686	0,1962	0,0231	6,91E-12	-1,2E-15
0,0549	6,110	0,0007	202809	0,9745	1,0262	2,6526	0,2086	0,0253	7,65E-12	-1,4E-15
0,0567	6,100	0,0007	198793	0,9730	1,0278	2,7348	0,2209	0,0276	8,43E-12	-1,6E-15
0,0585	6,090	0,0008	194857	0,9715	1,0293	2,8153	0,2334	0,0300	9,27E-12	-1,8E-15
0,0603	6,080	0,0008	190999	0,9700	1,0309	2,8944	0,2458	0,0324	1,02E-11	-2,0E-15
0,0620	6,070	0,0008	187217	0,9686	1,0324	2,9720	0,2583	0,0349	1,11E-11	-2,3E-15
0,0637	6,060	0,0009	183510	0,9671	1,0340	3,0484	0,2708	0,0375	1,21E-11	-2,6E-15
0,0654	6,050	0,0009	179876	0,9656	1,0356	3,1237	0,2834	0,0401	1,32E-11	-2,9E-15
0,0671	6,040	0,0009	176314	0,9641	1,0372	3,1979	0,2960	0,0428	1,44E-11	-3,3E-15
0,0688	6,030	0,0009	172823	0,9627	1,0388	3,2710	0,3086	0,0456	1,56E-11	-3,7E-15
0,0704	6,020	0,0010	169401	0,9612	1,0404	3,3433	0,3213	0,0484	1,69E-11	-4,1E-15
0,0721	6,010	0,0010	166047	0,9597	1,0420	3,4147	0,3340	0,0513	1,83E-11	-4,6E-15
0,0737	6,000	0,0010	162759	0,9583	1,0436	3,4853	0,3468	0,0543	1,97E-11	-5,1E-15
0,0753	5,990	0,0011	159536	0,9568	1,0452	3,5551	0,3596	0,0573	2,13E-11	-5,7E-15
0,0769	5,980	0,0011	156377	0,9553	1,0468	3,6243	0,3724	0,0604	2,30E-11	-6,3E-15
0,0785	5,970	0,0011	153281	0,9538	1,0484	3,6928	0,3853	0,0636	2,47E-11	-6,9E-15
0,0801	5,960	0,0012	150246	0,9524	1,0500	3,7607	0,3982	0,0668	2,66E-11	-7,7E-15
0,0817	5,950	0,0012	147271	0,9509	1,0517	3,8280	0,4112	0,0701	2,86E-11	-8,5E-15
0,0833	5,940	0,0012	144355	0,9494	1,0533	3,8948	0,4242	0,0734	3,07E-11	-9,3E-15
0,0849	5,930	0,0012	141496	0,9479	1,0549	3,9610	0,4372	0,0769	3,29E-11	-1,0E-14
0,0864	5,920	0,0013	138694	0,9465	1,0566	4,0268	0,4503	0,0803	3,53E-11	-1,1E-14
0,0880	5,910	0,0013	135948	0,9450	1,0582	4,0922	0,4634	0,0839	3,78E-11	-1,2E-14
0,0896	5,900	0,0013	133256	0,9435	1,0599	4,1571	0,4766	0,0875	4,05E-11	-1,4E-14
0,0911	5,890	0,0014	130618	0,9420	1,0615	4,2217	0,4898	0,0911	4,33E-11	-1,5E-14
0,0927	5,880	0,0014	128031	0,9406	1,0632	4,2859	0,5030	0,0949	4,63E-11	-1,6E-14
0,0942	5,870	0,0014	125496	0,9391	1,0649	4,3497	0,5163	0,0986	4,94E-11	-1,8E-14
0,0958	5,860	0,0015	123011	0,9376	1,0665	4,4132	0,5296	0,1025	5,28E-11	-1,9E-14
0,0973	5,850	0,0015	120576	0,9361	1,0682	4,4764	0,5430	0,1064	5,63E-11	-2,1E-14
0,0989	5,840	0,0015	118188	0,9347	1,0699	4,5394	0,5564	0,1103	6,01E-11	-2,3E-14
0,1004	5,830	0,0016	115848	0,9332	1,0716	4,6020	0,5699	0,1144	6,40E-11	-2,5E-14
0,1020	5,820	0,0016	113554	0,9317	1,0733	4,6644	0,5834	0,1185	6,82E-11	-2,7E-14
0,1035	5,810	0,0016	111306	0,9302	1,0750	4,7266	0,5969	0,1226	7,27E-11	-3,0E-14
0,1051	5,800	0,0017	109102	0,9288	1,0767	4,7885	0,6105	0,1268	7,73E-11	-3,2E-14
0,1066	5,790	0,0017	106942	0,9273	1,0784	4,8502	0,6241	0,1311	8,23E-11	-3,5E-14
0,1082	5,780	0,0017	104824	0,9258	1,0801	4,9117	0,6378	0,1354	8,75E-11	-3,8E-14

Tab. 3.4. (Fortsetzung) Parameter der Wellentheorie dritter Ordnung nach Stokes, in Funktion der relativen Wassertiefe d/L_0' und der relativen Wellenhöhe H/d .
$L_0' = g \cdot T^2/(2\pi)$, $u_1/C = \alpha$

$d/L_0' = 1{,}00$										
$\frac{H}{d}$	kl	α	m	$\frac{d}{L}$	$\frac{C}{C_0}$	$\frac{100\zeta_1}{L}$	$\frac{100\zeta_2}{L}$	$\frac{100\zeta_3}{L}$	$\frac{u_2}{C}$	$\frac{u_3}{C}$
0,1097	5,770	0,0018	102748	0,9243	1,0818	4,9731	0,6515	0,1398	9,31E-11	-4,2E-14
0,1114	5,759	0,0018	100513	0,9227	1,0837	5,0404	0,6666	0,1447	9,95E-11	-4,5E-14
0,1131	5,748	0,0019	98326	0,9211	1,0857	5,1075	0,6818	0,1497	1,06E-10	-5,0E-14
0,1148	5,737	0,0019	96186	0,9195	1,0876	5,1744	0,6971	0,1547	1,14E-10	-5,4E-14
0,1165	5,726	0,0020	94093	0,9179	1,0895	5,2411	0,7124	0,1598	1,21E-10	-5,9E-14
0,1183	5,715	0,0020	92046	0,9162	1,0914	5,3077	0,7277	0,1650	1,30E-10	-6,5E-14
0,1200	5,704	0,0020	90043	0,9146	1,0934	5,3742	0,7431	0,1703	1,38E-10	-7,0E-14
0,1217	5,693	0,0021	88084	0,9130	1,0953	5,4406	0,7586	0,1757	1,47E-10	-7,7E-14
0,1234	5,682	0,0021	86167	0,9114	1,0972	5,5068	0,7741	0,1811	1,57E-10	-8,4E-14
0,1251	5,671	0,0022	84292	0,9098	1,0992	5,5729	0,7897	0,1866	1,68E-10	-9,1E-14
0,1269	5,660	0,0022	82458	0,9081	1,1012	5,6390	0,8053	0,1921	1,79E-10	-9,9E-14
0,1286	5,649	0,0023	80664	0,9065	1,1031	5,7049	0,8210	0,1978	1,90E-10	-1,1E-13
0,1303	5,638	0,0023	78909	0,9049	1,1051	5,7708	0,8367	0,2035	2,03E-10	-1,2E-13
0,1321	5,627	0,0024	77192	0,9033	1,1071	5,8367	0,8525	0,2093	2,16E-10	-1,3E-13
0,1338	5,616	0,0024	75512	0,9016	1,1091	5,9025	0,8683	0,2151	2,30E-10	-1,4E-13
0,1356	5,605	0,0025	73869	0,9000	1,1111	5,9682	0,8843	0,2211	2,44E-10	-1,5E-13
0,1373	5,594	0,0025	72262	0,8984	1,1131	6,0339	0,9002	0,2271	2,60E-10	-1,6E-13
0,1391	5,583	0,0026	70690	0,8968	1,1151	6,0996	0,9162	0,2332	2,77E-10	-1,8E-13
0,1409	5,572	0,0026	69152	0,8952	1,1171	6,1653	0,9323	0,2393	2,94E-10	-1,9E-13
0,1426	5,561	0,0027	67647	0,8935	1,1192	6,2310	0,9485	0,2456	3,13E-10	-2,1E-13
0,1444	5,550	0,0027	66175	0,8919	1,1212	6,2966	0,9647	0,2519	3,32E-10	-2,2E-13
0,1462	5,539	0,0028	64735	0,8903	1,1232	6,3623	0,9809	0,2583	3,53E-10	-2,4E-13
0,1480	5,528	0,0028	63327	0,8887	1,1253	6,4280	0,9972	0,2648	3,75E-10	-2,6E-13
0,1498	5,517	0,0029	61949	0,8870	1,1273	6,4937	1,0136	0,2713	3,98E-10	-2,9E-13
0,1516	5,506	0,0029	60601	0,8854	1,1294	6,5594	1,0301	0,2779	4,23E-10	-3,1E-13
0,1534	5,495	0,0030	59282	0,8838	1,1315	6,6252	1,0466	0,2846	4,49E-10	-3,3E-13
0,1552	5,484	0,0030	57993	0,8822	1,1336	6,6910	1,0631	0,2914	4,77E-10	-3,6E-13
0,1570	5,473	0,0031	56731	0,8806	1,1356	6,7569	1,0797	0,2983	5,06E-10	-3,9E-13
0,1588	5,462	0,0032	55496	0,8789	1,1377	6,8228	1,0964	0,3052	5,37E-10	-4,2E-13
0,1607	5,451	0,0032	54289	0,8773	1,1398	6,8888	1,1132	0,3123	5,70E-10	-4,6E-13
0,1625	5,440	0,0033	53108	0,8757	1,1419	6,9548	1,1300	0,3194	6,04E-10	-4,9E-13
0,1644	5,429	0,0033	51952	0,8741	1,1441	7,0210	1,1468	0,3265	6,41E-10	-5,3E-13
0,1662	5,418	0,0034	50822	0,8725	1,1462	7,0872	1,1638	0,3338	6,80E-10	-5,8E-13
0,1681	5,407	0,0035	49716	0,8708	1,1483	7,1534	1,1808	0,3411	7,20E-10	-6,2E-13
0,1699	5,396	0,0035	48634	0,8692	1,1505	7,2198	1,1978	0,3485	7,64E-10	-6,7E-13
0,1718	5,385	0,0036	47576	0,8676	1,1526	7,2863	1,2150	0,3560	8,09E-10	-7,2E-13
0,1737	5,374	0,0036	46541	0,8660	1,1548	7,3528	1,2321	0,3636	8,58E-10	-7,8E-13
0,1756	5,363	0,0037	45528	0,8643	1,1569	7,4195	1,2494	0,3713	9,09E-10	-8,4E-13
0,1775	5,352	0,0038	44538	0,8627	1,1591	7,4862	1,2667	0,3790	9,63E-10	-9,1E-13
0,1794	5,341	0,0038	43569	0,8611	1,1613	7,5531	1,2841	0,3869	1,02E-09	-9,8E-13
0,1813	5,330	0,0039	42621	0,8595	1,1635	7,6201	1,3015	0,3948	1,08E-09	-1,1E-12
0,1833	5,319	0,0040	41693	0,8579	1,1657	7,6873	1,3191	0,4028	1,14E-09	-1,1E-12
0,1852	5,308	0,0041	40786	0,8562	1,1679	7,7545	1,3366	0,4109	1,21E-09	-1,2E-12
0,1872	5,297	0,0041	39899	0,8546	1,1701	7,8219	1,3543	0,4190	1,28E-09	-1,3E-12
0,1891	5,286	0,0042	39031	0,8530	1,1723	7,8894	1,3720	0,4273	1,36E-09	-1,4E-12