Abteilung II — Seeschiffahrt

Thema 4

Kriterien für den wirtschaftlichen Entwurf von Fenderanlagen

Berichterstatter: Dipl.-Ing. Bruno Wirsbitzki, Geschäftsführender Gesellschafter in Prof. Dr. Lackner & Partner, Beratende Ingenieure, Bremen

Zusammenfassung:

Der Beitrag stellt zunächst die wesentlichen Faktoren heraus, die den Entwurf und die Kosten von elastischen Fenderanlagen bestimmen. In diesem Zusammenhang werden Wege aufgezeigt, um zu einer besseren Darstellung, Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse von Messungen über die Anlegegeschwindigkeit von Schiffen zu gelangen. Das dabei angewandte Verfahren ist zwar nicht neu, sollte jedoch breiteren Eingang in die Praxis finden.

Es wird die Methode für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung vorgeschlagen und entwickelt, die unter Berücksichtigung der Investitionskosten und des Schadenrisikos eine technische und wirtschaftlich sinnvolle Wahl der Entwurfs-Anlegegeschwindigkeit ermöglicht. Dabei werden Beispiele vorgeführt, um die Anwendung der Berechnungsmethode zu erläutern.

Die Einflüsse der Fendersteifigkeit auf die angestrebte kostengünstige Bemessung und Gestaltung von Fenderbauwerken werden mit besonderer Blickrichtung auf die elastischen Stahldalben behandelt. Dabei wird erkennbar, welche große Bedeutung dem maximal zulässigen Schiffsanlegedruck in diesem Zusammenhang zukommt.

In einem abschließenden Kapitel wird auf einige allgemeine Gesichtspunkte und Grundsätze eingegangen, die bei der Auswahl des Hafenstandorts, bei der Anordnung der Schiffsliegeplätze und bei der Festlegung des Vertäusystems beachtet werden sollten, damit bereits im Zuge der Generalplanung günstige Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Ausbau der Schiffsliegeplätze geschaffen werden.

1. Einleitung

Die Fenderanlagen zählen zu den wichtigsten Teilen eines Schiffsliegeplatzes. Allein von ihrer Kapazität und Funktionsfähigkeit kann es abhängen, ob bereits länger bestehende Hafenbauwerke im Rahmen der gebotenen Sicherheit und Wirtschaftlichkeit weiter genutzt werden können oder ob sie, von der Entwicklung in der Schiffahrt überrollt, außer Betrieb gesetzt werden müssen. Beim Neubau von modernen Hafenanlagen für die Abfertigung von großen Massengutschiffen bilden sie einen Kostenfaktor, der mit den anwachsenden Schiffsgrößen an Bedeutung gewinnt und bei Fenderungen für VLCC und ULCC die Größenordnung von 15 bis 20 % der gesamten Investitionskosten des Liegeplatzes erreichen kann. Es darf daher nicht verwundern, wenn heute die wirtschaftlichen Gesichtspunkte immer weiter in den Vordergrund drängen und sich nicht nur der Ingenieur und der Hafenbetriebsmann, sondern in zunehmendem Maße auch der Finanzexperte und der Versicherungsfachmann für diese Anlagenteile zu interessieren beginnen.

Es ist die Absicht dieses Beitrags, die für die Baukosten von Fenderanlagen maßgebenden Faktoren darzustellen und gleichzeitig Möglichkeiten für eine wirtschaftlich vertretbare Bemessung solcher Bauwerke aufzuzeigen.

2. Allgemeine Grundlagen für den Entwurf von Fenderungen

Die wichtigsten Kriterien, die den Entwurf und die Kosten von Fenderanlagen bestimmen, sind:

- a) das Arbeitsvermögen der Einzelfender
- b) ihre statische und dynamische Kraftaufnahme
- c) die Anzahl der Fender je Liegeplatz
- d) ihr gegenseitiger Abstand, insbesondere derjenige der äußeren, falls mehr als zwei Fender vorhanden sind.

Die drei zuletzt genannten Kriterien müssen vor allem im Zusammenhang mit dem Vertäusystem des Liegeplatzes gesehen werden. Sie beeinflussen das Kostenbild zwar nicht unerheblich, treten aber in der Regel hinter der Bedeutung des Arbeitsvermögens zurück. Aus diesem Grunde soll im folgenden zunächst die Energieaufnahme des Einzelfenders behandelt werden:

Das erforderliche Arbeitsvermögen eines Fenders wird im allgemeinen nach dem bekannten Ansatz ermittelt:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} \cdot v^2 \cdot C_M \cdot C_E \cdot C_P$$
 [1]

Dabei sind die Größen W durch das Verdrängungsgewicht des größten abzufertigenden Schiffes und g durch die Erdbeschleunigung (9.81 m/sec²) vorgegeben. Es verbleiben somit die 4 Variablen v, $C_{\rm M}$, $C_{\rm E}$ und $C_{\rm p}$. Die letztere, die den auf den Fender entfallenden Anteil der kinetischen Anfahrenergie des Schiffes festlegt, wird von der Steifigkeit bzw. der Verformungsfähigkeit des Fenders einerseits und der der Schiffshaut andererseits bestimmt. Sie verringert sich mit zunehmender Schiffsgröße und wachsender Steifigkeit des Fenders und sollte üblicherweise gewählt werden mit:

 $C_p = 1,00$ bei kleineren (harten) Schiffen und weichen Fendern

 $C_p = 0.95$ bei großen (weichen) Schiffen mit tiefer Schwerpunktlage und relativ harten

 $C_p = 0.90$ bei VLCC und ULCC.

Der Faktor C_E wird im wesentlichen durch die Geometrie der Fenderanlage und die subjektive Beurteilung der nautischen Verhältnisse durch den planenden Ingenieur beeinflußt. Wichtig ist in diesem Zusammenhang vor allem der gegenseitige Abstand der äußeren Fender eines Liegeplatzes. In guter Annäherung an die theoretischen Grundlagen gilt nach COSTA [1]:

$$C_{\rm E} = \frac{0.04}{0.04 + \left(\frac{R}{L}\right)^2}$$
 [2]

Darin ist L die Schiffslänge zwischen den Loten und R der Abstand zwischen dem Massenschwerpunkt des Schiffes und dem beanspruchten Fender. Auch für $C_{\rm E}$ haben sich in der Praxis gewisse Regelwerte eingebürgert, die zwischen 0,50 und 0,60 liegen, sofern der gegenseitige Abstand der äußeren Fender das Maß von e = 0,30 · L nicht unterschreitet.

Sehr umstritten sind die Ansätze für den Faktor C_M , der den Einfluß der sogenannten hydrodynamischen Masse erfassen soll. Da aber in diesem Zusammenhang zumindest in Deutschland in den letzten Jahren keine neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse bekanntgegeben worden sind, sei lediglich auf die Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" [2] der Hafenbautechnischen Gesellschaft e.V. und der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. hingewiesen, die in E 129 folgende Ansätze empfehlen:

$$C_M = 1,30 \text{ bis } 1,40 \quad \text{für Schiffe mit größerer Kielfreiheit} \qquad \qquad \text{nach SAURIN} \quad [3]$$
 oder $C_M = 1 + \frac{2 \cdot D}{B} \qquad \text{allgemein} \qquad \qquad \qquad \text{nach COSTA} \quad [1]$

Hierin sind D der Tiefgang und B die Breite des für, den Entwurf des Fenders maßgebenden Schiffes.

Man mag über die Größe der einzelnen variablen Faktoren streiten. Indessen ist aber für das Arbeitsvermögen eines Fenders lediglich ihr Gesamtprodukt von Bedeutung, das trotz unterschiedlicher Wahl bei den Einzelfaktoren in aller Regel zu gleichen oder zumindest ähnlichen Ergebnissen führt.

Das für die Festlegung der Energieaufnahme eines Fenders noch verbleibende Kriterium ist die Anfahrgeschwindigkeit v, die dadurch an Gewicht gewinnt, daß jede Fehleinschätzung sich mit dem Quadrat ihrer Größe nachteilig auswirkt. Nachteilig insofern, weil ein zu kleiner Ansatz für v zu erheblichen direkten und indirekten Schäden führen kann und ein zu großer die Investitionskosten der Hafenanlage unnötig in die Höhe treibt. Bereits dieser Hinweis zeigt die enge Beziehung und die Spielräume auf, die beim Entwurf von Fenderanlagen durch die technischen Notwendigkeiten einerseits und die wirtschaftlich vertretbaren Möglichkeiten andererseits gegeben sind.

Die Anlegegeschwindigkeit als wichtigstes Entwurfs- und Kostenkriterium

Bei der Planung der Umschlaganlagen für flüssige und trockene Massengüter, die in den 50er Jahren in vielen Häfen der Welt entstanden, war man in bezug auf die Größe der zu erwartenden Anlegegeschwindigkeiten zunächst auf bloße Schätzungen angewiesen. Erst auf dem Schifffahrtskongreß in Rom 1953 stellte BAKER [4] Richtwerte zur Diskussion, bei denen nicht nur einzelne maßgebende Schiffsgrößen, sondern auch die örtlich vorherrschenden klimatischen und nautischen Verhältnisse berücksichtigt wurden. Die in den Jahren darauf folgenden Messungen an einigen Hafenplätzen (z. B. Finnart, Bombay, Lissabon, Wilhelmshaven u. a.) zeigten dann, daß die Anlegegeschwindigkeit auch bei Schiffen oberhalb der 10 000-DWT-Grenze offensichtlich noch weiter abnimmt, so daß beim Entwurf von Fenderanlagen für LCC und VLCC eine zusätzliche Differenzierung notwendig und zulässig ist.

Soweit lediglich technische Maßstäbe angelegt werden, erscheinen die Vorschläge von BAKER unter Berücksichtigung der zwischenzeitlich gewonnenen Erfahrungen selbst heute noch als ausreichend richtig und vertretbar. Sie werden daher auch zukünftig für solche Hafenplätze von Nutzen bleiben, an denen Großschiffsliegeplätze bisher nicht vorhanden sind und die nautischen Bedingungen durch langfristige, örtliche Messungen noch nicht eingehender untersucht werden konnten.

Der allgemeine Trend zum großen Massengutschiff hat nun jedoch dazu geführt, daß immer leistungsfähigere Fenderanlagen installiert werden müssen, die nicht nur einen sehr großen Materialaufwand, sondern beim Neubau und einer eventuellen späteren Reparatur oft auch den Einsatz schwerster Baugeräte erfordern. Sie werden dadurch sehr kostenaufwendig und verlangen bei ihrer Planung neben den rein technischen Untersuchungen auch eine, ihrem zunehmenden Gewicht entsprechende, wirtschaftliche Betrachtungsweise. Dabei stellt sich die Aufgabe, Fenderbauwerke zu entwerfen, bei denen sich Investitionskosten und Schadensrisiko in vertretbaren Grenzen bewegen, oder noch besser, bei denen das "wahrscheinliche", aus Investition und Risiko resultierende Kostenminimum erreicht wird. Für diesen Zweck können die Richtwerte von BAKER allein verständlicherweise nicht ausreichen, weil in die Berechnungen nicht nur die Größe einer bestimmten Anlegegeschwindigkeit, sondern auch die Wahrschein-

lichkeit eingehen muß, mit der eine solche Geschwindigkeit auftreten wird. Einigermaßen fundierte, wirtschaftliche Betrachtungen lassen sich somit nur anstellen, wenn zusätzliche, allgemein gültige Grunddaten zur Verfügung stehen oder aber auf spezielle, am Ort gewonnene Erfahrungen zurückgegriffen werden kann.

Obgleich an vielen Hafenplätzen der Welt bereits seit Jahren laufend Messungen über die Anlegegeschwindigkeit der Schiffe vorgenommen werden und über die Ergebnisse gelegentlich auch Veröffentlichungen erscheinen, haben sich diese wertvollen Informationen bisher einer gezielten Auswertung entzogen. Allgemein gültige und für die jeweiligen örtlichen Verhältnisse einigermaßen zutreffende Entwurfsgrundlagen fehlen daher zur Zeit noch.

In Anbetracht dieser Umstände können Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei der Planung von Fenderanlagen für VLCC und ULCC heute nur dann durchgeführt werden, wenn sie sich auf örtliche oder in unmittelbarer Nachbarschaft oder unter annähernd gleichen Verhältnissen gewonnene Erfahrungen stützen können. Dabei sind allgemeine Informationen allerdings nicht ausreichend, weil solche in vielen Fällen zu einer falschen Beurteilung der wirklichen Gegebenheiten führen können. Die bloße Bestätigung, daß im Zuge der bisherigen Messungen die Überschreitung einer bestimmten Anlegegeschwindigkeit nicht festgestellt worden ist, sollte jedenfalls in Zukunft kein ausreichendes Argument sein, um hierauf den Entwurf einer neuen oder die Beurteilung einer bereits bestehenden kostspieligen Fenderanlage aufzubauen. Selbst detailliertere Angaben können zu einer Fehleinschätzung der örtlich vorherrschenden Bedingungen führen, wenn sie nicht sinnvoll aufbereitet und ausgewertet werden. Da es auch für die weiteren Darlegungen des Beitrags von Nutzen ist, wird im obigen Zusammenhang zur Veranschaulichung das folgende frei gegriffene, aber durchaus realistische Beispiel angeführt:

Messung in X-Hafen Zahl der Messungen 119 Ergebnisse

$\Sigma = 1$	10				·			= 100.0 %
bei	4	Messungen	v	. =	9	cm/sec	=	3.4 %
bei	3	Messungen	v	_=	8.	cm/sec	=	2,5 %
bei	6	Messungen	v	=	7.7	cm/sec	****	5,0 %
bei	34	Messungen	V	==	6	cm/sec	==	28,6 %
bei	21	Messungen	v	. =	5	cm/sec	$\chi' = x$	17,6 %
bei	51	Messungen	· v	=	4	cm/sec	=	42,9 %

Geschwindigkeiten oberhalb 9 cm/sec wurden nicht festgestellt.

Bei einem Vergleich mit den Richtwerten von BAKER könnte zunächst der Schluß gezogen werden, daß die Verhältnisse am Meßort relativ günstig seien und die Fenderungen der neuen Anlage allenfalls für eine Anlegegeschwindigkeit von etwa 12,5 cm bemessen werden sollten. Die gegebene Situation stellt sich jedoch wesentlich anders dar, wenn die Anzahl der Messungen mit Geschwindigkeiten $v \ge v_i$ ermittelt und der sich daraus ergebende Prozentsatz $\Phi(v)$, bezogen auf die Zahl aller Messungen, als Ordinate über v_i aufgetragen wird. Wird außerdem vorausgesetzt, daß die Meßergebnisse dem Gesetz der Wahrscheinlichkeit unterliegen, so läßt sich die Kurve der möglichen Wahrscheinlichkeiten $\Phi(v)$ für $v \ge v_i$ zumindest im Bereich der größeren Geschwindigkeiten mit ausreichender Genauigkeit ergänzen (vergl. Kurve C in Abb. 1). Schon hieraus ist leicht zu erkennen, daß die Wahrscheinlichkeit $\Phi(v)$ für das Auftreten einer Geschwindigkeit von 10 cm/sec und mehr noch über 1 % liegt und eine Anlegegeschwindigkeit von 12,5 cm/sec als Grundlage der Fenderbemessung nicht unbedingt ausreichen muß.

Die im angenommenen Beispiel für X-Hafen angeführten Meßergebnisse lassen sich noch einfacher und besser beurteilen, wenn die Werte für $\Phi(v)$ — wie bei einigen Meßprogrammen bereits praktiziert [5] — auf einfach-logarithmischem Papier aufgetragen werden. Da die

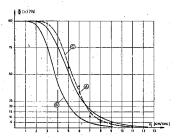


Abb. 1: Typische Wahrscheinlichkeitskurven $\Phi(v)$ für Anfahrtgeschwindigkeiten $v \ge v_i$ von Schiffen, die an verschiedenen Orten und unter unterschiedlichen Bedingungen anlegen (angenommene Beispiele)

Wahrscheinlichkeitskurven $\Phi(v)$ Exponentialfunktionen sind, die sich in diesem Fall im Bereich ihres abfallenden Astes mit ausreichender Genauigkeit als Geraden darstellen, müssen die in das Diagramm eingetragenen Punkte eine "kennzeichnende Gerade" einschließen, die auch die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten anderer Mindestgeschwindigkeiten festlegt (vgl. Gerade C in Abb. 2). Die kennzeichnenden Geraden folgen dabei in sehr guter Näherung der Funktion

$$\Phi(\mathbf{v}) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{e}^{-\mathbf{b} \cdot \mathbf{v}} = \mathbf{a} \cdot \exp(-\mathbf{b} \cdot \mathbf{v})$$
 [3]

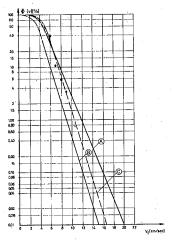


Abb. 2: Wahrscheinlichkeitskurven $\Phi(v)$ aus Abb. 1, dargestellt als "kennzeichnende Geraden" im logarithmischen Maßstab

Die in Abb. 2 eingetragenen Ausgangswerte des Beispiels für X-Hafen lassen die gute Übereinstimmung mit ihrer kennzeichnenden Geraden C erkennen, die ihrerseits in grober Näherung eine Extrapolation in den Bereich geringerer Wahrscheinlichkeiten gestattet. Auf der Grundlage der vorn angeführten Beobachtungen ist z.B. im vorliegenden Fall noch eine Geschwindigkeit von mindestens = 16,5 cm/sec zu erwarten, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,01 % auftreten könnte.

Diagramme in der Form der Abb. 2 besitzen gegenüber den bisher üblichen Richtwerten, z. B. denen von BAKER den Vorteil, daß sie neben der rein technischen Bewertung auch eine genauere wirtschaftliche Untersuchung der Fenderprobleme erlauben, auf die im folgenden näher eingegangen werden soll. Darüber hinaus bieten sie eine einfache Möglichkeit, unter Berücksichtigung des beabsichtigten Nutzungsgrades (Zahl der Anlegemanöver pro Jahr) und

der zu erwartenden Nutzungsdauer der Hafenanlage, zumindest die Größenordnung einer technisch und wirtschaftlich sinnvollen Entwurfs-Anlegegeschwindigkeit richtig abzuschätzen und allgemeine Rückschlüsse auf die Risiken zu ziehen, die mit einer bestimmten Bemessungsgeschwindigkeit verbunden sind.

Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Hinblick auf eine sinnvolle Wahl der Entwurfs-Geschwindigkeit

Man kann davon ausgehen, daß sich bei Überbeanspruchungen von Fenderanlagen, die aus zwei oder mehreren Einzelfendern bestehen, Schäden im allgemeinen nur an einem Einzelfender einstellen. Setzt man nun voraus, daß für den Bau einer Fenderanlage, die n Einzelfelder besitzt, Investitionskosten in Höhe von

$$K_i = n \cdot (K_f + k_A \cdot m) = n \cdot K_f \cdot (1 + \alpha_A \cdot v^2)$$
 [4]

anfallen, so werden bei einer später notwendig werdenden Erneuerung eines Einzelfenders Kosten von $K_{\scriptscriptstyle R} = \frac{K_{\scriptscriptstyle i}}{n} \cdot \alpha_{\scriptscriptstyle R} = p \cdot K_{\scriptscriptstyle i} \eqno(5)$

enstehen. Wie bei solchen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen allgemein üblich, wird auf die Berücksichtigung von Inflationsraten verzichtet, weil solche sich nicht nur auf der Passivseite (Investitionen), sondern gleichermaßen auch bei den Erträgen (Aktivseite) auswirken.

In der Gleichung [4] bedeuten K_f den fixen Kostenanteil, der durch die anteilige Baustelleneinrichtung und bestimmte Bauteile des Einzelfenders (z. B. Führungen, Aufhängungen, Stützpfähle, Verbände, Fenderschürzen etc.) bestimmt wird und der von der Größe des Arbeitsvermögens des Fenders weitgehend unbeeinflußt bleibt. Das Kostenelement $k_A \cdot v^2$ ergibt sich dagegen aus den Investitionen für die elastischen Fenderelemente, deren Kosten nahezu proportional mit dem Arbeitsvermögen A und damit nach Gleichung [1] mit dem Quadrat der Geschwindigkeit vanwachsen. Der Faktor α_A ist lediglich eine mathematische Bezugsgröße, die aus dem Verhältnis k_A/K_f resultiert.

Die in Gleichung [5] beschriebenen Reparaturkosten K_R' werden durch die Einführung des Reparaturfaktors α_R bzw. des Reparaturkosten-Koeffizienten p definiert, die einer kurzen Erläuterung bedürfen:

Spätere Reparaturen sind in aller Regel teuer, weil sie einen verhältnismäßig großen Baustellenund Geräteaufwand verlangen. Außerdem erfordert die Bereitstellung von Material und Gerät sehr viel Zeit. Besonders nachteilig wirkt sich dieses bei Anlagen aus, die in von industrialisierten Ländern weit entfernten Zonen errichtet worden sind. Der Reparaturfaktor α_R stellt eine Variable dar, die solche Umstände erfassen soll und deren Größe daher in jedem Einzelfall aufgrund allgemeiner Erfahrungen festgelegt werden muß.

Die Größe des Reparaturkosten-Koeffizienten p, der die Relation zwischen den späteren Reparaturkosten und den gegenwärtigen Investitionskosten für die Fenderanlage herstellt, ergibt sich als Quotient aus:

$$\frac{Reparaturfaktor\left(\alpha_{R}\right)\times Investitionskosten\ eines\ Einzelfenders\left(\frac{K_{i}}{n}\right)}{Investitionskosten\ der\ gesamten\ Fenderanlage\ (K_{i})}$$

Geht man nun davon aus, daß bei jedem Schadensereignis die Reparaturkosten K_R anfallen und die Schäden außerdem in regelmäßigen, zeitlich gleichen Abständen eintreten, so ergibt sich der auf die Gegenwart bezogene, kapitalisierte Wert aller Reparaturkosten aus:

$$K_{R}^{'} = K_{R}^{'} \cdot \frac{(1+i)^{m}-1}{i \cdot (1+i)^{m}}$$

Darin ist i der kalkulatorische Zinsfluß, der auf die Zeitdauer ΔT zwischen zwei Schadensfällen zu beziehen ist, und m die Anzahl der Schadensereignisse, die während der Nutzungsdauer der Fenderanlage wahrscheinlich eintreten werden. Um die Darstellung der Berechnungsmethode zu erleichtern, wird den weiteren Überlegungen von vornherein eine Nutzungsdauer von 25 Jahren und ein Basis-Zinsfuß von 5 % p. a. zugrunde gelegt. Dann folgen:

$$i = (1 + 0.05)^{\Delta T} - 1$$

$$1 + i = (1 + 0.05)^{\Delta T}$$

$$m = \frac{25}{\Delta T}$$

Setzt man diese Ausgangsgrößen in die Gleichung [6] ein, so wird:

$$K_{R} = K_{R} \cdot \frac{1,05^{25} - 1}{(1,05^{AT} - 1) \cdot 1,05^{25}}$$

$$= p \cdot K_{1} \cdot \frac{0,7047}{1.05^{AT} - 1}$$
[7]

Der kapitalisierte Wert aller Investitions- und Reparaturkosten ergibt sich dann aus der Gleichung

 $K = K_i + K_R = K_i \cdot \left[1 + \frac{p \cdot 0.7047}{1.05^{\Delta T} - 1} \right]$ [8]

Die Anzahl der zu erwartenden Schadensereignisse m wird durch die dem Entwurf zugrunde gelegte, rechnerische Anlegegeschwindigkeit v, die Wahrscheinlichkeit $\Phi(v)$ in Prozent, mit der diese Geschwindigkeit v auftreten wird, und durch den Ausnutzungsgrad des Schiffsliegeplatzes (N=Zahl) der Anlegemanöver pro Jahr) bestimmt.

Dann folgt

$$\mathbf{m} = \frac{\varphi(\mathbf{v})}{100} \cdot \mathbf{N} \cdot 25$$

$$\Delta \mathbf{T} = \frac{100}{\mathbf{N}} \cdot \varphi(\mathbf{v})^{-1}$$
[9]

Greift man auf die Gleichungen [3] und [4] zurück, so wird:

$$K = n \cdot K_r (1 + \alpha_A \cdot v^2) \cdot \left[1 + \frac{0.7047 \cdot p}{1.05 \frac{N}{N} \cdot \frac{1}{n} \cdot \exp(b \cdot v)} - 1 \right]$$
 [10]

Die Parameter a und b sind dabei durch die mathematische Funktion der "kennzeichnenden Geraden" $\Phi(v)$ nach Gleichung [3] vorgegeben.

Da im Zuge dieser Überlegungen nicht die absolute Größe der Kosten, sondern vielmehr nur die Lage des Kostenminimums interessiert, wird die weitere Untersuchung auf den Quotienten $C = K/(n \cdot K_l)$ beschränkt.

Der in den Gleichungen [4] und [10] enthaltene Faktor α_A ist entsprechend dem jeweiligen Fendertyp festzulegen. Er wird hier aufgrund allgemeiner Erfahrungen im Dalbenbau mit dem Wert 25 \cdot 10⁻³ eingeführt. Dann ergibt sich als Kostenkoeffizient:

$$C = (1 + 25 \cdot 10^{-3} \cdot v^2) \cdot \left[1 + \frac{0.7047 \cdot p}{1.05^{\frac{10}{10} + \frac{1}{1} \cdot \exp(10 \cdot v)} - 1} \right]$$
[11]

Diese Formel wurde zur besseren Veranschaulichung der Ergebnisse unter Zugrundelegung der in Abb. 1 dargestellten, willkürlich gewählten Kurve A ausgewertet, wobei die Größen N (Nutzungsgrad = Zahl der Anlegemanöver pro Jahr) und p (Reparaturkosten-Koeffizient) als veränderliche Parameter beibehalten wurden.

Die mathematische Gleichung der kennzeichnenden Geraden A in Abb. 2 ergibt sich mit:

$$\Phi(v) = 927.5 \cdot \exp(-0.5719 \cdot v)$$

Unter Berücksichtigung einer angestrebten Nutzungsdauer von T=25 Jahren und der sonstigen, vorn getroffenen Annahmen folgt dann für den Kostenkoeffizienten C:

$$C = (1 + 25 \cdot 10^{-3} \cdot v^2) \cdot \left[1 + \frac{0.7047 \cdot p}{1.05^{\frac{5}{N} \cdot 0.1078 \cdot \exp{0.5719 \cdot v}} - 1}\right]$$

Die Ergebnisse der Auswertung sind für p = konstant = 0.75 in den Kurvenscharen der Abb. 3 und für N = konstant = 25 bzw. = 150 in denen der Abb. 4 dargestellt.

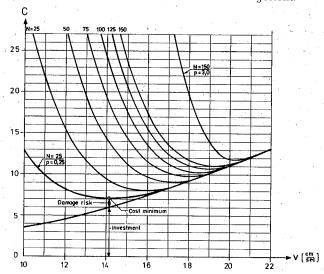


Abb. 3: Kostenkoeffizient C auf der Grundlage der kennzeichnenden Wahrscheinlichkeitsgeraden A, einer Nutzungsdauer T=25 und einem Reparaturkosten-Koeffizienten p=0.75, soweit letzterer nicht anders angegeben.

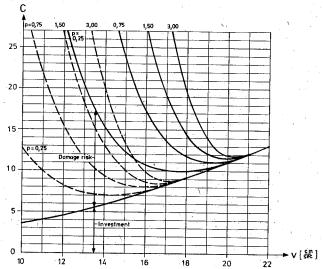
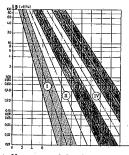


Abb. 4: Kostenkoeffizient C auf der Grundlage der kennzeichnenden Wahrscheinlichkeitsgeraden A, einer Nutzungsdauer T=25 und der Nutzungsgrade (d. i. Zahl der Anlegemanöver pro Jahr) von N=25 (gestrichelte Kurven) und N=150 (ausgezogene Kurven).

Es dürfte überraschen, wie sehr Nutzungsgrad der Anlage und Reparaturkosten-Koeffizient die Ergebnisse beeinflussen und wie außerordentlich groß der Spielraum für die Entwurfs-Anlegegeschwindigkeit vist, selbst wenn man jeweils nur das Kostenminimum in Betracht zieht. Besonders zu beachten sind die Kurven mit hohen N- und p-Werten, bei denen die Risikoanteile der Gesamtkosten stark ansteigen, sobald der Bereich des Kostenminimums verlassen wird. Dabei sei erwähnt, daß es auch in konkreten Fällen kaum Schwierigkeiten bereiten dürfte, die Parameter N und p zumindest in ihrer Größenordnung richtig abzuschätzen. Der letztere sollte jedoch vom Grundsatz her immer ausreichend groß gewählt werden, um die bei einem eventuellen Schadensfall auftretenden indirekten Kosten, z. B. durch Unterbrechung des Umschlagbetriebes am Liegeplatz oder durch zeitweilige Beschränkung der Schiffsgrößen, mit abzudecken. In besonderem Maße gilt dies, wenn der Hafen nur über einen oder wenige Schiffsliegeplätze für den Umschlag des betreffenden Transportgutes verfügt. Zum Ergebnis der Untersuchungen läßt sich ferner feststellen:

- Eine wirtschaftliche Bemessung der Fenderanlagen, d. h. das Erreichen des Kostenminimums ist nur möglich, wenn ein gewisses Schadensrisiko in Kauf genommen wird (vgl. Abb. 3).
- Die Wahl einer großen, zu sehr auf der sicheren Seite liegenden Entwurfs-Anlegegeschwindigkeit ist in jedem Fall unwirtschaftlich. Zum Beispiel sind für N=25 und p=0,25 etwa die gleichen Gesamtkosten zu erwarten, wenn für v entweder 22 cm/sec oder 10 cm/sec gewählt wird. Das Kostenminimum liegt in diesem Fall bei v=rd. 14 cm/sec und führt zu Gesamtkosten, die nur etwa halb so groß sind.
- Das Schadensrisiko darf bei weniger stark ausgenutzten Anlagen in industrialisierten Ländern verhältnismäßig groß sein, vor allem dann, wenn der Bereich des Kostenminimums im Hinblick auf eine Beschränkung der Investitionskosten verlassen wird. Die Gesamtkosten werden unter solchen Voraussetzungen nur unwesentlich beeinflußt (vgl. z. B. Kurven mit N = 25 und p = 0,25), wobei der geringe Zuwachs in den meisten Fällen durch steuerliche Vorteile ausgeglichen werden kann. Dabei bleibt die Frage offen, inwieweit die Versicherer bereit sind, solche erhöhten Risiken ohne zusätzliche Kosten für den Hafeneigner abzudekken.
- Bei stark ausgenutzten Fenderanlagen in fernen, wenig industrialisierten Ländern kann die Wahl einer zu großen Entwurfs-Anlegegeschwindigkeit zwar zu kostenmäßigen Nachteilen führen. Auf der anderen Seite würde aber der Ansatz einer zu geringen Geschwindigkeit v den Risikoanteil der zu erwartenden Gesamtkosten sehr stark in die Höhe treiben (vgl. z. B. Kurven mit N=150 und p=3.0).
- die örtlich gegebenen nautischen, klimatischen und hydrologischen Verhältnisse allein reichen als Grundlage für die Wahl der Entwurfs-Anlegegeschwindigkeit nicht aus. Vielmehr sind die Einflüsse der Parameter T (erwartete Nutzungsdauer), N (Nutzungsgrad) und p (Reparaturkosten-Koeffizient) derart groß, daß sie bei der Festlegung der Entwurfs-Anlegegeschwindigkeit keinesfalls vernachlässigt werden sollten.

Aufgrund der oben beschriebenen Untersuchungsergebnisse wird empfohlen, die in den verschiedenen Häfen der Welt gewonnenen Ergebnisse über die Anlegegeschwindigkeit von Schiffen gezielter und in verstärktem Maße zu sammeln und zentral durch Beauftragte der PIANC auszuwerten. Die Daten könnten zunächst in der Form von "kennzeichnenden Geraden" entsprechend Abb. 2 katalogisiert werden, wobei gleichzeitig Protokolle über die jeweils gegebenen örtlichen Bedingungen (z. B. Hauptwind- und Hauptwellenrichtungen, mittlere Windstärken und Wellenhöhen, Anfahrt- und Anlegebedingungen, Schleppereinsatz u. dgl.) anzufertigen wären. Auf dieser Basis sollte es nach einigen Jahren möglich sein, das in Abb. 5 skizzierte, lediglich das Prinzip andeutende oder ein ähnliches "Kenngeraden-Diagramm" aufzustellen.



Beispiel für die Bezeichnung des Kurven-Bereiches II: Wind-, Wellen- und Anlegebedingungen gemäßigt.

Abb. 5: Vorschlag für die Darstellung und Definierung von maßgebenden kennzeichnenden Geraden bzw. Bereichen für $\Phi(v)$ auf der Grundlage bestimmter örtlicher Bedingungen.

Es sollte ferner angestrebt werden, daß in diesem Beitrag behandelte Verfahren für die Auswahl von technisch und wirtschaftlich vertretbaren Entwurfs-Anlegegeschwindigkeiten zu vervollständigen und zu verbessern. Dabei müßte vor allem die Größe des Parameters p genauer untersucht und spezifiziert werden. Ähnliches gilt in bezug auf die Festlegung der Größe N, bei der nur die Zahl der größten, für die Bemessung der Fender maßgebenden Schiffe in Betracht gezogen zu werden braucht. Ausgehend von der simplifizierten Gleichung für das Arbeitsvermögen der Fender

 $A = Konstante \cdot W_{max} \cdot v_0^2 \ge Konstante \cdot W \cdot v_{max}^2$

wird als Grenzkriterium vorgeschlagen:

$$W = W_{\text{max}} \cdot \left(\frac{V_0}{V_{\text{max}}}\right)^2$$

Darin bedeuten W_{max} die Verdrängung des größten Schiffes, v_o die grob vorgeschätzte Entwurfs-Anfahrgeschwindigkeit und v_{max} die größte für $\Phi(v) = 0.01 \, \%$ zu erwartende Anfahrgeschwindigkeit (vgl. Abb. 5). Die Verdrängung Wentspricht dann der Schiffsgröße, die bei der Ermittlung von N nicht mehr berücksichtigt werden sollte.

Zur Erläuterung der angestrebten Berechnungsmethoden wird für die ebenfalls willkürlich angenommene kennzeichnende Gerade C in Abb. 2 ein Beispiel vorgeführt:

Erwartete Nutzungsdauer 25 Jahre

Nutzungsgrad Ν 150 Manöver p. a.

Reparaturkostenfaktor α_{R} Fenderanzahl des Liegeplatzes

Aus Abb. 2 können für die kennzeichnende Gerade C folgende Randbedingungen abgelesen werden:

 $v = 15 \text{ cm/sec} \rightarrow \Phi(v) = 0.07 \%$

 $v = 6 \text{ cm/sec} \rightarrow \Phi(v) = 34 \%$

Aus der allgemeinen Gleichung [3]

 $\Phi(\mathbf{v}) = \mathbf{a} \cdot \exp(-\mathbf{b} \cdot \mathbf{v})$

folgen dann die Bedingungen $\ln 0.07 = \ln a - b \cdot 14$

 $\ln 34 = \ln a - b \cdot 6$

und die Koeffizienten a = 3517,74b = 0.7732

Ferner ergibt sich der Parameter p mit $p = \frac{\alpha_R}{n} = 3$.

Somit lautet die Kostengleichung [11]

$$C_{c} = (1 + 25 \cdot 10^{-3} \cdot v^{2}) \cdot \left[1 + \frac{2,1141}{1,05^{0,0001895 \cdot exp \cdot 0,7732 \cdot v} - 1} \right]$$

Die Auswertung der Kostenfunktion liefert folgende Werte:

v .	` .	C_c
10		350,80
12	1	98,08
14		26,99
16		9,39
16,8		8,36
18		9,10
20		11,00

Das Kostenminimum ist also bei einer Entwurfs-Anlegegeschwindigkeit von v=16.8=rd. 17 cm/sec zu erwarten.

Das Ergebnis unterstreicht die im vorderen Teil des Beitrags gegebenen kritischen Hinweise zur Bewertung von empirisch gewonnenen Meßwerten. Obgleich die Beobachtungsergebnisse in dem dort angeführten Beispiel, auf denen auch die Kenngerade C basiert, keinen Wert über 9 cm/sec aufweisen, sollte die Fenderanlage im vorliegenden Fall und unter den gegebenen Voraussetzungen trotzdem für eine Anlegegeschwindigkeit von 17 cm/sec bemessen werden. Würde man dagegen — wie zunächst grob abgeschätzt — dem Entwurf eine Geschwindigkeit von 12,5 cm/sec zugrunde legen, wären einschließlich des Risikoanteils Gesamtkosten für die Fenderanlage zu erwarten, die das 9fache der Kosten für die wirtschaftlich günstige Lösung erreichen würden.

Wäre eine gleichartige, aber mit N=50 weniger stark ausgelastete Fenderanlage mit einem anderen Ort zu errichten, für den die kennzeichnende Gerade B (vgl. Abb. 2) maßgebend ist und ein Reparaturfaktor von $\alpha_R=2$ in Ansatz gebracht werden muß, so ergäbe sich die Kostengleichung

$$C_{B} = (1 + 25 \cdot 10^{-3} \cdot v^{2}) \cdot \left[1 + \frac{0.7037}{1.05^{0.002} \cdot \exp{0.7675 \cdot v} - 1} \right]$$

Hier liefert die Auswertung

V.		C_B
10		14,50
12		6,56
13		5,74
14	• ,	5,95
16		7,40
18		9,10
20		11,00

Die Entwurfs-Anlegegeschwindigkeit sollte in diesem Fall somit 13 cm/sec betragen.

Die beiden Beispiele machen die einfache Anwendbarkeit des Berechnungsverfahrens deutlich. Dabei sei nochmals erwähnt, daß die absolute Größe des Kostenkoeffizienten C nicht unmittelbar von Belang und Interesse ist, sondern daß es bei dem vorgeschlagenen Verfahren zunächst einzig und allein um eine sinnvolle, technisch und wirtschaftlich vertretbare Auswahl

der Größe v, also der Entwurfs-Anlegegeschwindigkeit geht. Die Berechnungsmethode ist im übrigen für beliebige Fendertypen und Bauwerksarten (Dalben, durchgehende Fender-Leitwerke, Fenderungen an Kaimauern u. dgl.) anwendbar, wobei beim Entwurfsbearbeiter allerdings ein genügend großer Erfahrungsschatz vorhanden sein muß, damit die einzelnen Parameter in ihrer Größe einigermaßen zutreffend ausgewählt werden.

Der Einfluß der Fendersteifigkeit auf die bauliche Gestaltung und die Kosten von Fenderanlagen

Schiffe lassen sich verständlicherweise kostengünstiger bemessen und herstellen, wenn die beim Anlegemanöver auftretenden Zusatzbelastungen der Schiffshaut auf ein Minimum beschränkt bleiben. Dies mag wohl auch der Grund sein, warum derartige Lastansätze bisher überhaupt nicht in die internationalen Schiffbauvorschriften Eingang gefunden haben. Längsträger und Querrahmen der Schiffe werden vielmehr auch heute noch nur für den tiefgangbedingten Wasserdruck und gewisse Zusatzbelastungen bemessen, wobei die letzteren jedoch mit den Anfahrdrücken beim Anlegen der Schiffe bzw. mit der Übertragung von Wellen-, Wind- und Strömungskräften auf die Fenderungen nicht das geringste zu tun haben. Der für die Bemessung der Längsträger und Querrahmen im Ladetankbereich maßgebende Belastungsfall ergibt sich beispielsweise entsprechend den Klassifikationsvorschriften des Germanischen Lloyd aus Abschnitt 24, "Tankschiffe für Ölladung" und ist hier in Abb. 6 graphisch dargestellt. Die Grundlage dafür bilden folgende Ansätze:

Gefüllter Mitteltank + 2,50 m,

leere Seitentanks, Tiefgang $T = T_{max}$

Zusatzbelastung für die Schiffsseiten oberhalb der Wasserlinie

$$h_d = c \cdot \frac{8}{8 + z_1} \quad [t/m^2]$$

und unterhalb der Wasserlinie

$$h_{\text{\tiny d}} = c \cdot \left(1 - \frac{z_2}{2 \cdot T}\right) \quad [t/m^2]$$

Für Schiffe mit einer Länge von ≥ 300 m ist:

$$c = 3,70 - \frac{140}{300} = 3,233 \quad [t/m^2]$$

Für $z_1 = 2,50 \text{ m}$, $z_1 = z_2 = 0 \text{ und } z_2 = T_{\text{max}} \text{ folgen dann:}$

 $h_d = 2.46 \text{ t/m}^2 \text{ in Deckshöhe}$

 $h_d = 3.23 \text{ t/m}^2 \text{ in der Wasserlinie}$

 $h_d = 1.62 \text{ t/m}^2$ in Höhe des Schiffsbodens

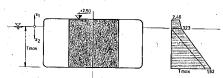


Abb. 6: Darstellung des für die Bemessung der Längsträger und Querrahmen im Ladetankbereich von Öltankern maßgebenden Belastungsdiagramms.

Für den Ballastzustand des Schiffes sind die Zusatzbelastungen h_d zwar ebenfalls in Ansatz zu bringen. Jedoch werden dann gefüllte Seitentanks vorausgesetzt, so daß in jedem Fall ein Überdruck nach außen wirksam wird.

In den Querrahmen und Längsträgern aus normalfestem Schiffbaustahl dürfen unter der oben angegebenen Belastung folgende Spannungswerte nicht überschritten werden:

 $\begin{array}{lll} Biege- und Normalspannungen & \sigma_x &=& 1800 \ kg/cm^2 \\ Schubspannungen & \tau &=& 1000 \ kg/cm^2 \\ Vergleichsspannungen & \sigma_v &=& 2000 \ kg/cm^2 \end{array}$

Da beim normalen Schiffbaustahl die Streckgrenze σ_s bei 2400 kg/cm² liegt, kann für den Anlegedruck im Bereich zwischen den Spanten selbst bei Ausschöpfung aller Spannungsreserven der Schiffshaut theoretisch nur eine Pressung von etwa 4 t/m² zugelassen werden. Das bedeutet, daß die Fender des Schiffsliegeplatzes entweder entsprechend weich gestaltet oder mit einer sehr steifen, lastverteilenden Fenderschürze ausgerüstet werden müssen, die mit einer Breite von etwa 6,0 bis 7,0 m mindestens zwei Spanten des Schiffskörpers überdeckt. Jedoch auch bei Anwendung von robusten Fenderschürzen muß die mittlere Pressung zwischen Schiff und Fender in der Regel auf 10 bis 20 t/m² begrenzt werden.

Überraschend ist im obigen Zusammenhang allerdings, daß bei marktüblichen, bereits jahrzehntelang verwendeten und erprobten Neoprene-Fendern (z. B. radial belastete Rundfender oder trapezförmige Fender) Pressungen zwischen Bordwand und Fender auftreten, die eine Größenordnung von 45 bis 120 t/m² erreichen können. Da ernsthafte Beschädigungen der Bordwand nicht publik geworden sind, darf daher wohl davon ausgegangen werden, daß zumindest kleinere, normale Frachtschiffe solchen Anfahrdrücken standhalten können, oder daß das Arbeitsvermögen der Fender durch entsprechend vorsichtiges Anlegen der Schiffe nicht voll ausgenutzt wurde.

Der vom Schiffbauer gewünschte weiche Fender kommt im Prinzip den Vorstellungen des Hafenbauingenieurs entgegen. So war es früher durchaus üblich und vor allem bei Verwendung hochwertiger Dalbenstähle auch technisch und wirtschaftlich sinnvoll, die Fender möglichst weich und für Schiffsanlegedrücke zu entwerfen, die ausreichend weit unterhalb der für das Schiff noch zumutbaren Grenze lagen. Das schnelle Anwachsen der Schiffsgrößen bis hin zu den VLCC und ULCC macht es heute aber erforderlich, den Fender verhältnismäßig hart zu gestalten. Der Anlegedruck wird dabei so groß, daß er bis an die Grenztragfähigkeit der Schiffshaut heranrückt. Hierfür gibt es eine Reihe gewichtiger Gründe, auf die im folgenden kurz eingegangen werden soll.

Eine wirtschaftliche Bemessung von elastischen Stahldalben mit hoher Energieaufnahme A ist nur dann möglich, wenn die Zahl der Pfähle gering bleibt und ihr Durchmesser d genügend groß gewählt werden kann. Die Gleichung

$$d = \frac{\sigma_s}{3 \cdot E} \cdot \frac{P_s}{A} \cdot l^2$$
 [13]

in der die Größe E den Elastizitätsmodul des Baustahls symbolisiert, zeichnet den dabei anzustrebenden Weg eindeutig vor, nämlich zunächst die Wahl von Stählen mit hoher Streckgrenze σ_s . Obgleich die Verwendung von Stählen mit einer Streckgrenze von 70 kg/mm² heute im Dalbenbau durchaus nichts Ungewöhnliches darstellt, sind auch für σ_s technologisch bedingte Grenzen gesetzt, vor allem, wenn Stähle mit einem stark ausgeprägten Fließbereich verlangt werden. Bei den hohen Anforderungen an das Arbeitsvermögen des Fenderbauwerks bleibt dann zur Erlangung kostengünstiger Lösungen nur noch die Möglichkeit, den Schiffsanlegedruck P_s sehr hoch zu wählen. Dabei ergibt sich gleichzeitig der Vorteil, daß die Rammtiefe der Pfähle und damit deren verformbare Länge 1 anwächst und die Größe des Pfahldurchmessers zusätzlich vergrößert werden kann.

Es darf außerdem nicht übersehen werden, daß jedes Fenderbauwerk auch ein wichtiges Element im Vertäusystem des Schiffsliegeplatzes darstellt. Es muß daher eine ausreichende Tragfähigkeit besitzen, die wiederum eine gewisse Mindeststeifigkeit des Fenders verlangt. Auf der Grundlage deutscher Vorschriften und Empfehlungen werden elastische Stahldalben im

Lastfall "Schiffsanfahrdruck" unter Ausnutzung der Streckgrenze und im Lastfall "Schiffsdruck aus Wind und Strömung" unter Einhaltung eines Sicherheitsbeiwertes gegen die Materialstreckgrenze von v = 1,50 bemessen. Bei wirtschaftlicher Ausnutzung der Streckgrenze des gewählten Stahls muß daher sein:

 $P_s \ge 1,50 \cdot P_w \le c \cdot f_s$

Aus der Gleichung für das Arbeitsvermögen A eines Fenders mit konstanter Federsteifigkeit c folgt dann:

 $c = \frac{P_s^2}{2 \cdot A} \ge 1,125 \cdot \frac{P_w^2}{A}$ [14]

Darin bedeuten P_s den Schiffsdruck und f_s die horizontale Verschiebung der Vorderkante des Fenders während des Anlegemanövers, wobei eine Ausnutzung des Materials bis zur Streckgrenze vorausgesetzt wird. P_w ist die aus Wind und Strömung resultierende Belastung des Fenders.

Sofern wirtschaftliche Lösungen verlangt werden, ergeben sich ähnliche theoretische Ansätze auch für Fenderbauwerke, die Dauerbelastungen ausgesetzt werden, z.B. bei elastischen Stahldalben in offener See. In solchen Fällen gilt für den Pfahldurchmesser die Gleichung

$$d = \frac{\sigma_D}{3 \cdot E} \cdot \frac{P}{P_D} \cdot \frac{P}{A} \cdot l^2$$
 [15]

in der die Materialstreckgrenze $\sigma_{
m s}$ nicht mehr enthalten ist, sondern bei der vielmehr die Dauerfestigkeit des Stahls σ_D als zulässige Spannung und das Verhältnis P/P_D als neuer bestimmender Parameter hinzutreten. Dabei entspricht P dem Schiffsanlegedruck und P_D der Kraft, die bei Erreichen der maximalen Amplitude der periodisch wirkenden Belastung auftritt. Da die Dauerfestigkeit des Stahls und insbesondere die der Schweißverbindungen für alle Stahlgüten praktisch gleich groß ist, bleibt auch hier zur Erreichung kostengünstiger Lösungen nur der Weg über einen möglichst großen Wert für P, also über einen Schiffsanlegedruck, der bis in die Nähe der Grenztragfähigkeit der Schiffshaut anwächst. Die wirtschaftlichen Vorteile bei einer Verwendung von hochfesten Dalbenstählen gingen ohnehin verloren, es sei denn, daß die Bedingung erfüllt wird:

 $P = P_s \geqq P_d \cdot \frac{\sigma_s}{\sigma_D} \leqq c \cdot f_s$

Hieraus folgt dann für einen wirtschaftlichen elastischen Fenderdalben die Forderung

$$c \ge \frac{P_D^2}{2 \cdot A} \cdot \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_D}\right)^2 \tag{16}$$

Durch die Gleichungen [14] und [16] wird sowohl bei Wind- und Strömungseinflüssen als auch bei periodischen Dauerbelastungen eine unmittelbare Beziehung zwischen dem Arbeitsvermögen A des Fenders und den auf diesen einwirkenden statischen oder dynamischen Kräften Pwund P_{D} hergestellt. Die sich dabei ergebenden Steifigkeiten für die Fender sind als Mindeststeifigkeiten zu betrachten, weil im Lastfall "Schiffsanfahrdruck" bei einem Unterschreiten dieser Werte eine Ausnutzung des Materials bis zur Streckengrenze und damit eine wirtschaftliche Bemessung des Fenderbauwerks nicht mehr möglich wäre.

Ähnliche Berechnungsansätze für die Ermittlung einer Mindeststeifigkeit können auch bei anderen Fendertypen, z. B. bei solchen mit veränderlichen Federkonstanten getroffen werden. Hierbei liegen die wirtschaftlichen Vorteile aber ebenfalls in der Wahl möglichst großer Einzelelemente und in einer Begrenzung ihrer Anzahl.

Allgemeine Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Entwurf von Fenderanlagen jeglicher Art

Wichtige Vorentscheidungen über die späteren Kosten einer Hafenanlage für die Abfertigung von VLCC und ULCC werden bereits durch die Festlegung des Hafenstandorts getroffen. Dabei spielt nicht nur die Lage des tiefen Wassers und dessen Entfernung zum Ufer eine gewichtige

Rolle, sondern eine ähnlich große Bedeutung kommt der Anordnung zu, die für die Anlage in bezug auf das Fahrwasser und die maßgebenden klimatischen und/oder hydrologischen Umwelteinflüsse gewählt wird. Letzteres gilt vor allem für die Kosten der Fender- und Vertäuwerke, deren statische Ersatzlasten P_W und P_D fast ausschließlich durch die zu erwartenden Einwirkungen der Winde, Strömungen und Wellen auf die vertäuten Schiffe bestimmt wird. Es ist daher eine Selbstverständlichkeit, daß in dieser Hinsicht alle notwendigen Erkundungen und Untersuchungen vorgenommen werden, bevor über die Lage und Anordnung der Hafenanlage endgültige Beschlüsse gefaßt werden.

Eine weitere, nicht minder wichtige Voraussetzung für die kostengünstige Errichtung der Fenderanlagen ist ein ausgewogener Entwurf für das Vertäusystem der einzelnen Schiffliegeplätze und die Erstellung von Vertäuplänen, die sowohl den nautischen Belangen als auch den ingenieurmäßigen Gesichtspunkten ausreichend Rechnung tragen. Zum Beispiel ist es zweckmäßig, für die äußeren Fenderbauwerke einen möglichst großen Abstand zu wählen, und notwendig, die Vertäubauwerke in der technisch günstigsten Entfernung und Höhe zum Schiff anzuordnen. Es sollten außerdem geeignete Vorkehrungen getroffen werden, damit die Schiffe ihre Querleinen möglichst winkelrecht zu ihrer Längsachse und unmittelbar von Bug und Heck ausbringen können. Durch derartige Maßnahmen wird sichergestellt, daß sowohl die Fender als auch die Vertäubauwerke von unnötigen Belastungen freigehalten und die Kosten für die Erstellung dieser Anlagenteile in den angestrebten Grenzen gehalten werden.

Im obigen Zusammenhang darf nicht übersehen werden, daß das Vertäusystem eines Schiffliegeplatzes, das aus dem Schiff, den Fendern und den Trossen besteht, kein statisches Tragsystem, sondern ein dynamisches Schwingungssystem darstellt. Aus diesem Grund wird sich der Hafenbauingenieur bei der Behandlung der Fender- und Vertäuprobleme von der statischen Betrachtungsweise lösen und bereits bei der Ermittlung der Fenderbelastungen (P_W und P_D) anderen oder ergänzenden Berechnungsmethoden zuwenden müssen. Das gilt auch für die Windlasten, die in Wirklichkeit aus dynamischen Effekten herrühren, und deren Berechnungsansätze sich bisher im allgemeinen auf Versuche an starr abgefenderten und starr vertäuten Schiffsmodellen stützen. Es liegt auf der Hand, daß die nachteiligen Einflüsse der Elastizität von Fendern und Trossen bei derartigen Versuchen nicht zum Tragen kommen können und die dabei ermittelten statischen Vergleichslasten mit sehr großer Wahrscheinlichkeit zu niedrig sind. Schon aus diesem Grund ist davor zu warnen, elastische Fenderungen im Lastfall "Winddruck" oder "Trossenzug" unter Ausnutzung der Streckgrenze zu bemessen. Es erscheint notwendig, daß die im obigen Zusammenhang stehenden Fragen im Laufe der nächsten Jahre gründlicher untersucht und dann bei der Planung von Hafenanlagen entsprechend berücksichtigt werden.

7. Schlußbemerkung

Fenderprobleme, die sich beim Ausbau von Schiffliegeplätzen für VLCC und ULCC stellen, lassen sich nur dann in befriedigender Weise lösen, wenn die Entwurfsgrundlagen sowohl die technischen als auch die wirtschaftlichen Gesichtspunkte angemessen berücksichtigen. Aus diesem Grund ist es notwendig, den realen Kosten für die Investitionen die wahrscheinlichen, kalkulatorischen Kosten zur Abdeckung des Schadenrisikos gegenüberzustellen und beide sorgfältig gegeneinander abzuwägen. Im Vordergrund steht dabei primär die Wahl einer sinnvollen Entwurfs-Anlegegeschwindigkeit, weil diese allein schon weitgehend über das erforderliche Arbeitsvermögen der Fender entscheidet und damit das Kostenbild der Hafenanlage maßgeblich beeinflußt.

Die weiteren Möglichkeiten zur Erzielung kostengünstiger Lösungen, die sich im Detail-Entwurf des Fenderbauwerks bieten, lassen sich nur dann ausschöpfen, wenn für den Schiffanlegedruck nach oben hin ein genügend großer Spielraum gegeben wird. Hier liegt die eigentliche

Nahtstelle, an der sich die technischen Belange der Schiffbauer und Hafenplaner, bzw. die pekuniären Interessen der Schiff- und Hafeneigner berühren und eine Abstimmung unumgänglich machen. Im Hinblick auf das übergeordnete volkswirtschaftliche Ziel, nämlich das Anstreben eines Kostenminimums für die gesamte Kette des Gütertransports unter Einbeziehung von Schiff und Hafen, sollte die Hafenbauseite sich allerdings darüber im klaren sein, daß es zweifellos falsch wäre, die Schiffbauvorschriften voll den Wünschen und Vorstellungen des Hafenplaners anzupassen und die Massengutschiffe für sehr große Anlegedrücke zu bemessen. Dieses würde lediglich dazu führen, daß Teilkosten für den Ausbau der Schiffliegeplätze auf den Schiffbau verlagert werden, ohne daß sich in der Summe irgendwelche volkswirtschaftlichen Vorteile ergeben könnten. Es muß im Gegenteil davon ausgegangen werden, daß derartig einschneidende Anderungen in den Klassifikationsvorschriften des Schiffbaus, die sich ja auf den gesamten Schiffkörper auswirken müßten, Kosten zur Folge hätten, die ein Vielfaches derjenigen Kosten ausmachen würden, die auf der Hafenbauseite eingespart werden könnten. Was jedoch von der Schiffbauseite mit Fug und Recht erwartet werden kann, sind gründliche Untersuchungen und konkrete Aussagen über die wirklich vorhandene Grenztragfähigkeit der Schiffhaut bei den großen Transportschiffen für flüssige und trockene Massengüter sowie für Container. Diese würden es dem Hafenbauingenieur eher ermöglichen, die ihm gesetzten Grenzen als plausibel und realistisch anzuerkennen und bei seinen Planungen und Entwürfen entsprechend zu berücksichtigen. Wenn sich dabei allerdings zeigen sollte, daß die vom Haafen vorzuhaltenden Fender "rohe Eier" auffangen sollen und der Hafenbauer vor technisch nicht mehr realisierbare Aufgaben gestellt wird, dann ist es allein Angelegenheit des Reeders, die Verantwortung für Schäden am Schiff zu übernehmen und die sich daraus ergebenden finanziellen und betrieblichen Konsequenzen selbst zu tragen.

Schrifttumsverzeichnis

- [1] Prof. Costa, The Berthing Ship, The Dock & Harbour Authority, May/June/July, 1964
- [2] Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen", Technischer Jahresbericht 1974,
 Die Bautechnik, Heft 12, 1974
- [3] Saurin, Paper to the 6th World Petroleum Congress, Frankfurt, 1963
- [4] Prof. Baker, Paper to the XVIII International Navigation Congress, Rome, 1953
- [5] Dr. Hooft, Handling of Large Ships, Paper to the West European Conference on Marine Technology, Delft, 1974.