

Für eine Seilfanganlage mit Übergabeschränke ist in Bild 1 das Funktionsprinzip und ein Ausführungsbeispiel dargestellt. Erkennbar wird daran auch der stahl- und massivbauseitig zu betreibende Aufwand.

Die allein mit dem Auffangelement erreichbare Bremsarbeit, d. h. das Arbeitsvermögen des Auffangelements ist relativ gering. Die eigentliche Energieumwandlung erfolgt deshalb über Dämpfungszylinder oder Puffer, die einseitig oder zweiseitig angeordnet sein können.

Im Falle von Hydraulikzylindern lassen sich mit verschiedenen hydraulischen Steuerungs- und Drosselsystemen unterschiedliche Kraft-Weg-Diagramme erzeugen. Bei Elastomerpuffern sind die Kraft-Weg-Diagramme bauart- und größenbedingt vorgegeben. Außerdem ist hier die Diagrammform stark abhängig von der Geschwindigkeit des Zusammendrückens, d. h. von der Anfahrgeschwindigkeit des Schiffes.

Bei der Konzipierung einer für die jeweils vorgegebenen Bedingungen geeigneten Stoßschutzanlage müssen die unterschiedlichen Eigenschaften der Bremssysteme entsprechend berücksichtigt werden. Damit wird auch erreicht, dass die Einwirkungen auf die Stoßschutzanlage bzw. das Schiff in "verträglichen" Grenzen bleiben und dass die (bei Schleusen immer nur begrenzt verfügbare) Bremsweglänge entsprechend dimensioniert werden kann.

In zurückliegender Zeit wurde auch versucht, bei der Nutzlängeneinschränkung einen Kompromiss in der Weise zu finden, dass man die Stoßschutzvorrichtung direkt am Schleusentor untergebracht hat (Bild 2). Das mit solchen Vorrichtungen erreichbare Arbeitsvermögen ist allerdings begrenzt und wird deutlich unter der im Regelwerk geforderten Größenordnung liegen. Zudem kann bei einer Anfahrung das Dämpfungselement schnell in Hartlage kommen. Die verbleibende Stoßenergie wird dann direkt ins Tor eingetragen, was zu mehr oder weniger großen Folgeschäden an der Tor-konstruktion führen kann.



Bild 2: Direkt am Stemmtorflügel angebrachte Stoßschutzeinrichtung

3 Erste Überlegungen hinsichtlich eines Verzichts auf Stoßschutzanlagen

Der Einsatz von Stoßschutzanlagen ist stets mit erhöhtem Platzbedarf, Verlängerung der Schleusungszeiten sowie zusätzlichen Bau- und Instandhaltungskosten verbunden. Eine eventuelle Nachrüstung von Stoßschutzanlagen kann zudem mit erheblichen Aufwendungen und technischen Schwierigkeiten verbunden sein [3]. Aus diesem Grunde werden in der Fachwelt schon seit längerem Überlegungen angestellt, ob man bei Vorliegen bestimmter Voraussetzungen auf entsprechende Stoßschutzeinrichtungen verzichten und dadurch ggf. wirtschaftliche und betriebstechnische Vorteile erreichen kann. Unabdingbar bleibt jedoch immer, im Rahmen eines aufzustellenden Havarieszenarios zu untersuchen, welche möglichen Einschränkungen dadurch hinsichtlich der Leichtigkeit und Sicherheit des Schiffsverkehrs entstehen können und mit welcher Wahrscheinlichkeit und welchem Ausmaß negative Einflüsse auf Mensch, Natur, Wirtschaft und Technik eintreten können.

Eine in konstruktiver Hinsicht Erfolg versprechende Vorgehensweise könnte darin bestehen, die Tragwerkskonstruktion des Verschlusskörpers im möglichen Bereich eines Schiffsstoßes in der Form auszubilden, dass die Tor-konstruktion insgesamt ein entsprechend optimiertes Arbeitsvermögen hat. Rechnerische Untersuchungen mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) bieten verschiedene Möglichkeiten, um hier zu ersten Lösungsansätzen zu kommen.

Für die Belange der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung, dass in bestimmten Fällen durch den möglichen Wegfall einer Stoßschutzanlage ein Gewinn an Schleusennutzlänge und Schleusungszeit sowie eine Reduzierung der Bau- und Unterhaltungskosten erreicht werden könnte. Dabei ist insbesondere auch an bestehende Schleusen gedacht, die (noch) nicht mit Stoßschutzanlagen ausgerüstet sind und bei welchen z. B. die Tore im Rahmen einer Ersatzinvestition ohnehin erneuert werden sollen. Wenn die Auswirkung evtl. Stoßeinwirkungen durch entsprechende Untersuchungen im Vorfeld abgeklärt ist, kann das neue Tor konstruktiv optimiert werden und es kann ein entsprechender Reparatur- bzw. Austauschplan aufgestellt und vorgehalten werden.

4 Untersuchungsziel und -methoden

Im Rahmen eines FuE-Vorhabens wurden bei der BAW auf der Grundlage der beschriebenen Überlegungen erste Untersuchungen mit dem Ziel geführt, Grundsätze für eine Torkonstruktion zu entwickeln, die eine Stoßbeanspruchung gemäß [2] infolge Schiffs-Anfahrung ohne Gefährdung der Gesamttragwirkung (Ausschluss von Totalversagen) aufnehmen kann und die im lokalen Schadensbereich ein vorab definierbares Schadensbild aufweisen wird, für welches zutreffende Instandsetzungsstrategien aufgestellt werden können. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass verschiedene Angaben zu den Hintergründen und zur Vorgehensweise bei der Bearbeitung des FuE-Vorhabens wie auch die wichtigsten Untersuchungsergebnisse in zusammengefasster Form im zugehörigen Abschlussbericht [4] dargestellt sind.

Die für das FuE-Vorhaben nutzbaren Untersuchungsmethoden wurden bereits in einem auf der Rexrodt-Tagung im April 2002 von DRUDE gehaltenen Vortrag „Kollisionsbeanspruchungen mit großen Verformungen bei Stahlwasserbaukonstruktionen“ [5] und schließlich in seiner Dissertationsschrift „Elastoplastisches Tragverhalten von Stahlwasserbaukonstruktionen unter Kollisionsbeanspruchung“ [6] beschrieben. Demgemäß ist es mit Hilfe spezieller FEM-Berechnungen möglich, die Vorgänge einer Schiffsanfahrung bei einem Schleusentor wirklichkeitsnah zu simulieren. Daraus können ggf. die gewünschten Daten für das Verhalten bei der Anfahrt und für die entsprechende Konstruktion des Schleusentores abgeleitet werden.

Die erforderlichen rechnerischen Untersuchungen und die Bewertung der im Sinne des FuE-Vorhabens relevanten Ergebnisse wurden schließlich in zwei Schritten im Auftrage der BAW von der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) durchgeführt [7], [8]. Bei der Simulation der Anfahrvorgänge wurde das Programm LS-DYNA verwendet.

Das Tormodell (Bild 3) wurde in [8] anhand der von der BAW zur Verfügung gestellten Konstruktionszeichnungen mit Hilfe des Pre-Prozessors MSC.Mentat erstellt.

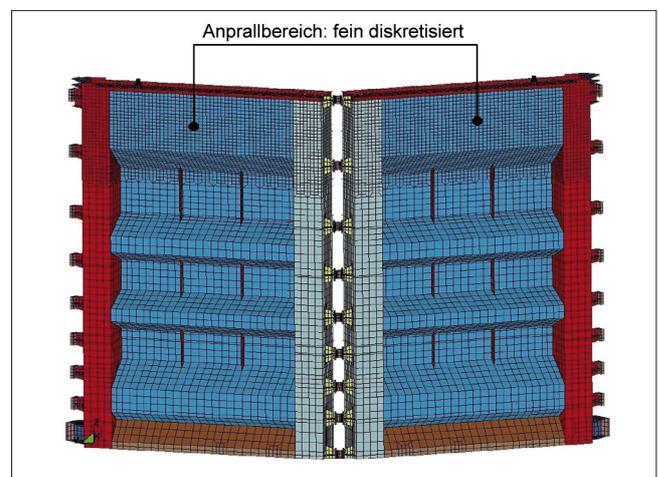


Bild 3: FE-Modell des untersuchten Schleusentors

Für das anfahrende Schiffsmodell wurde als typisches Motorgüterschiff das „Europaschiff“ mit einem Gesamtgewicht von 1675 t (\geq Wasserstraßenklasse IV) zugrunde gelegt. In einem weiteren Kollisionsszenario wurde anstelle des Europaschiffs ein Schubverband mit einem Gesamtgewicht von 2234 t betrachtet. In beiden Fällen wurde für die Toranfahrungen eine konstante Kollisionsgeschwindigkeit von 1 m/s vorgegeben.

5 Ergebnis der Untersuchungen

5.1 Kollisionsszenarien

Untersucht wurden Anfahrungen der genannten unterschiedlichen Schiffsformen auf ein Faltenwerkstemma, welches schrittweise konstruktiv modifiziert wurde (vgl. Tormodelle 1 bis 6, Kap. 5.2). Die Anprallpunkte für das Motorgüterschiff (80 m x 9,50 m x 2,50 m) bzw. den Schubverband (78,5 m x 11,40 m x 2,50 m) wurden dabei wie in Bild 4 dargestellt definiert.

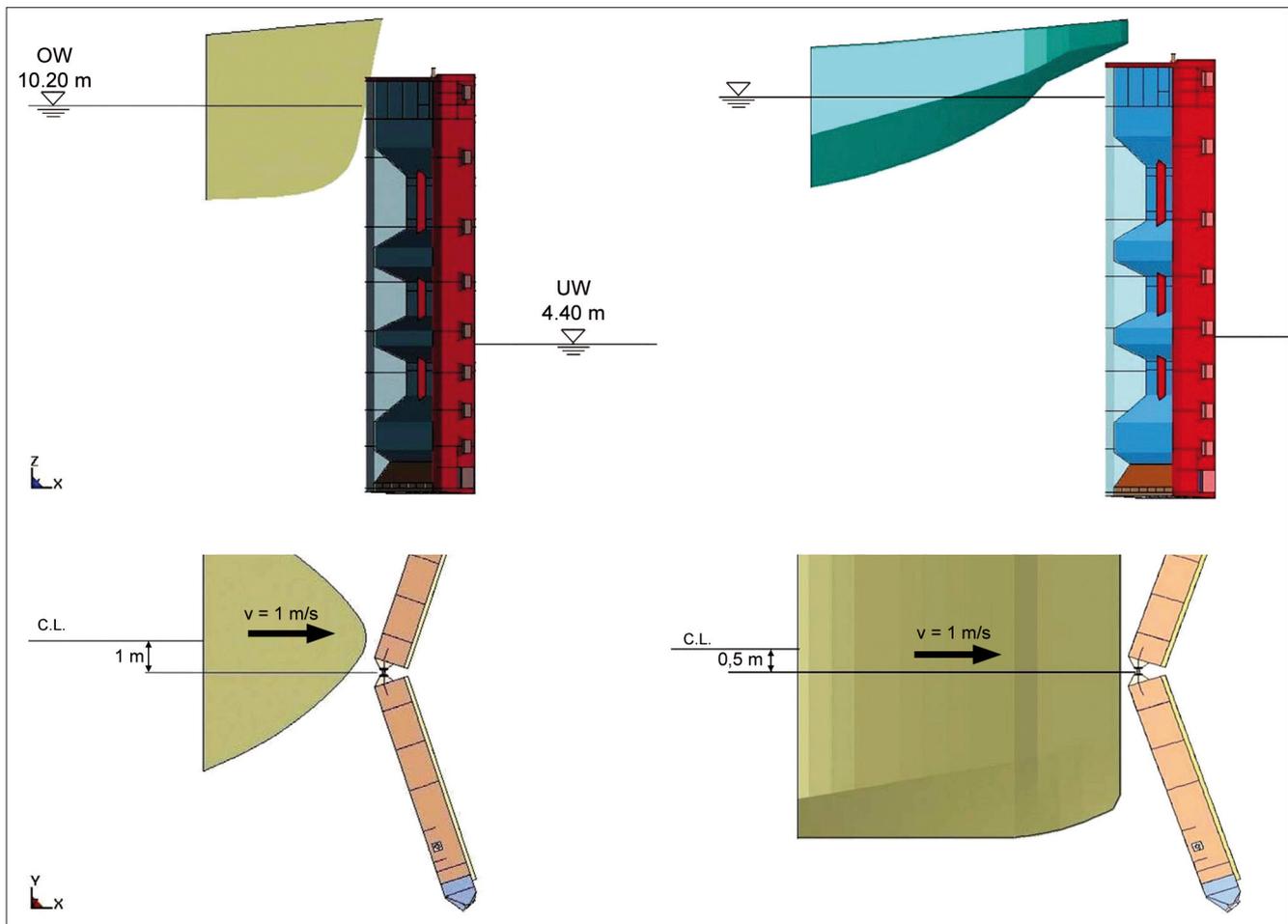


Bild 4: Anprallpunktdefinition Motorgüterschiff (Spitzbug) bzw. Schubverband (Pontonbug), Seitenansicht und Draufsicht

5.2 Kollisionsberechnungen für verschiedene Torkonstruktionsvarianten

Für Anfahrungen mit dem Europaschiff wurden sechs verschiedene Torkonstruktionsvarianten untersucht, die nachfolgend beschrieben werden. Für den Schubverband wurden davon lediglich die Modelle 1 und 6 weiter betrachtet.

Die in Bild 5 dargestellte Definition der Stemmknaggen wurde einheitlich für Europaschiff und Schubverband vorgenommen.

Die sich aus der Schiffsmasse des Europaschiffs (1675 t) ergebende kinetische Energie des Schiffsanpralls beträgt $E_{kin} = 0,840 \text{ MNm}$ für $v = \text{const} = 1 \text{ m/s}$. Die Berechnung wurde implizit begonnen, indem zunächst nur der hydrostatische Wasserdruck und das Eigengewicht des Tores berücksichtigt wurden. Danach wurde in den expliziten Modus gewechselt, indem das Schiff anfängt, sich mit einer konstanten Geschwindigkeit

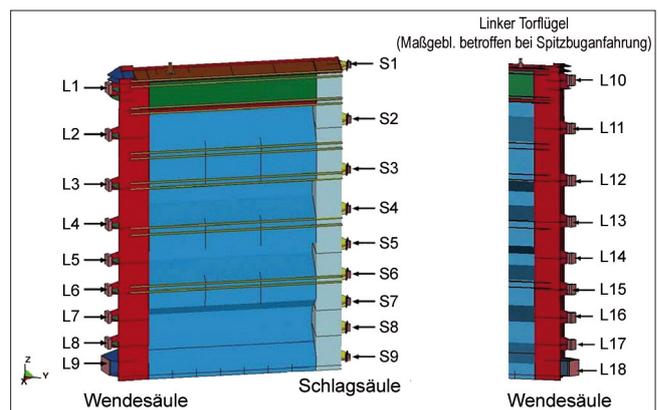


Bild 5: FE-Modell, Definition der Stemmknaggen an der Wende- und Schlagsäule

von 1 m/s auf das Schleusentor zuzubewegen. In gleicher Weise wurde bei der Anfahrt durch einen Schubverband vorgegangen. Auf Grund der größeren Schiffsmasse (2234 t) war hier jedoch von einer kinetischen Energie von $E_{kin} = 1,11 \text{ MNm}$ auszugehen. Da vornehmlich das Verhalten des Schleusentors von Inte-

resse war, wurde das Schiff als Starrkörper idealisiert. Der Kontakt zwischen Schiff und Tortragwerk wurde über einen Kontaktalgorithmus hergestellt, der Druck und Biegung übertragen kann.

Bei den sechs untersuchten und bewerteten Tormodellen handelte es sich generell um Stemmtor-Faltwerkstrukturen ohne Schützöffnungen in den Torflügeln. Zusätzlich wurde noch nach Variante A (normale Knaggenkonstruktion an der Schlagsäule, Kontaktformulierung mit einem Reibungskoeffizienten von $\mu = 0,3$ bei geschlossenem Tor) und Variante B (alle Stemmknaggen des Schlagsäulenbereichs bewegen sich zwingend zusammen) unterschieden.

- Als **Modell 1** ist eine Ausgangs-Konstruktion gewählt worden, wie sie als Stemmtor in Faltenbauweise an der Saar-Schleuse Saarbrücken im Einsatz ist.
- Im **Modell 2** wurde der obere Hohlkasten sowie die obere Hälfte der Wende- und Schlagsäule mit Schaumstoff gefüllt. Das bewirkt eine höhere Steifigkeit der Struktur, wodurch die im Wendesäulenbereich ankommenden Kräfte größer sind als im Modell 1. Geringere Verformungen führen somit zu größeren Kräften an den Knaggen.
- Für das **Modell 3** wurde die Blechdicke des oberen Hohlkastens erheblich verringert. Die absorbierte Energie bewirkt größere Verformungen der betroffenen Blechteile, wodurch die Überlastung der Knaggen erst zu einem späteren Zeitpunkt eintritt.
- Die **Modelle 4 und 5** wurden seitens der TUHH als theoretisch versteifte Konstruktionen ausgebildet. Sie stellen jedoch keine realisierbaren Konstruktionsvarianten dar.
- Im **Modell 6** wurde ein neues Design für die Lager eingeführt. Die im Anfahrfall immer am stärksten belasteten oberen Einzelknaggen im Wendesäulenbereich wurden als Block-Lager ausgebildet. Ziel war hierbei, im Falle einer Kollision möglichst viel der auf das Tor wirkenden Kraft aufzunehmen, sodass die übrigen Knaggenlager weniger belastet werden.

Im Rahmen der Auswertung der Berechnungen stellte sich zunächst heraus, dass eine feste Verbindung der Schlagsäulenknaggen der Torflügel zu keinen erheblichen Verbesserungen im Gesamttragverhalten des Tores führt. Es zeigte sich jedoch, dass für den gemäß Ausrüstungsnorm DIN 19703 [9] vorgegebenen Lastansatz bzw. das dort festgelegte Arbeitsvermögen von 1

bzw. 2 MNm die Standsicherheit der einzelnen Torflügel noch gegeben ist, d. h., es wird kein Torflügel aus den Lagerungen gerissen. Diese Situation sowie die über den Stoßverlauf ermittelten Verformungen und Spannungen sind in dem von der TUHH erarbeiteten Untersuchungsbericht [8] im Einzelnen für alle Modelle separat dokumentiert. Für das zu empfehlende Vorzugs-Tormodell werden in nachfolgendem Abschnitt 5.3 einige Ergebnisse auszugsweise wiedergegeben.

Für die Modelle 1 und 6 (Fall A) erfolgten weitere Untersuchungen, bei welchen das Europaschiff durch einen Schubverband (Gesamtmasse 2234 t) ersetzt wurde. Die als konstant angesetzte Kollisionsgeschwindigkeit betrug wiederum 1 m/s, woraus sich die bereits erwähnte kinetische Energie von 1,11 MNm ergab. Als Reibungskoeffizient zwischen Schiff und Schleusentor sowie zwischen den Stemmknaggen wurde hier wie bei allen vorangegangenen Rechengängen $\mu = 0,30$ für den statischen und dynamischen Anteil (Haft- und Gleitreibung) angesetzt.

Bei der Variation der Materialdicken zeigte sich, dass bei gleichem Eindringweg des Schiffskörpers die Gesamtenergieumwandlung bei Ansatz geringerer Blechstärken höher liegt. Das wird auf den größeren Bereich der plastischen Dehnungen zurückgeführt.

Die Untersuchung unterschiedlicher Bugformen zeigte, dass beim Pontonbug infolge der größeren und stumpferen Kontaktfläche die Energie auf erheblich kürzerem Weg in das Schleusentor eingepreßt wird als beim Spitzbug. Deshalb liefert die Anfahrung mit dem Schubverband im Vergleich zu den Kollisionsfällen mit dem Motorgüterschiff (Spitzbug) andere Ergebnisse. Im Verlauf des mit der Berechnung simulierten Kollisionsvorgangs fängt der Schubverband an, mit dem Schleusentor zu interagieren. Der Kontakt tritt zwischen dem Boden des Schubverbandes und dem oberen Teil des Tores auf. Je mehr sich der Verband vorwärts bewegt, desto mehr drückt er in vertikaler Richtung auf den oberen Teil des Tores. Auf Grund der geometrischen Form eines Schubverbandes und des geringeren Abstands zwischen Schiffs- und Schleusenlängsachse sind die Kräfte auf das Tor und im Wendesäulenbereich nahezu symmetrisch.

5.3 Empfohlene Vorzugsvariante für die Torkonstruktion

Anhand der nachfolgend auszugsweise dargestellten rechnerischen Ergebnisse kristallisierte sich für eine ggf. zu wählende Torkonstruktion eine Vorzugsvariante heraus. In Verbindung mit einer Neubemessung sämtlicher Knaggen und (wegen der dünneren Hohlkasten-Bleche) bei spezieller Beachtung des Lastfalls „Eisdruck“ wird das Modell 3 empfohlen. Die Abweichung zum Modell 1 besteht lediglich in der Dickenreduzierung beim oberen Hohlkasten. Dies erlaubt im Anfahrfall eine größere Verformung des oberen Hohlkastenträgers, wodurch schließlich weniger Kraft die Stemmknaggen des Wendesäulenbereiches erreicht.

Unabhängig davon vollzieht sich das Schadensszenario stets in der Form, dass die Gesamtkollisionskraft so lange ansteigt, bis die obersten Stemmknaggenpaare des Schlagsäulenbereichs (vor allem S1 bis S3; Definition vgl. Bild 5) in Abhängigkeit vom Deformationsweg schrittweise und beginnend mit S1 nicht mehr in Kontakt stehen und die Kontaktkräfte an den oberen Stemmknaggen im Wendesäulenbereich des angefahrenen Torflügels erheblich zunehmen. Die Kräfte

erreichen Werte, die deutlich über denen aus dem hydrostatischen Wasserdruck liegen. Diese Situation ist am Beispiel von Tormodell 3A in den Bildern 6 und 7 dargestellt. Als Grenzdeformation wurde jeweils ein Weg von 2 m angenommen.

Den Verformungen aus den Verformungsdiagrammen lassen sich die entsprechenden Kräfte zuordnen.

Für Modell 3 wurden keine Werte für eine Schubverband-Anfahrung ermittelt. Auf der sicheren Seite liegend kann jedoch mit den für Modell 1 ermittelten Kräften (hier nicht weiter dargestellt) und mit den später in Bild 11 und 12 auch für die Schubverbandanfahrung gezeigten Verformungsgrößen gearbeitet werden.

Zum besseren Verständnis der gewählten rechnerischen Vorgehensweise ist eine Betrachtung der für alle Tormodelle ermittelten Energiebilanz der simulierten Anfahrungen zweckmäßig. Zur Vereinfachung der Berechnungen wurde, wie bereits unter Punkt 5.2 erwähnt, generell die Annahme getroffen, dass sich während des gesamten Anfahrvorgangs die Kollisionsgeschwindigkeit nicht verändert, weshalb die jeweilige kinetische Energie konstant bleibt. In der in Bild 8 am Beispiel des Tormodells 3A dargestellten Energie-

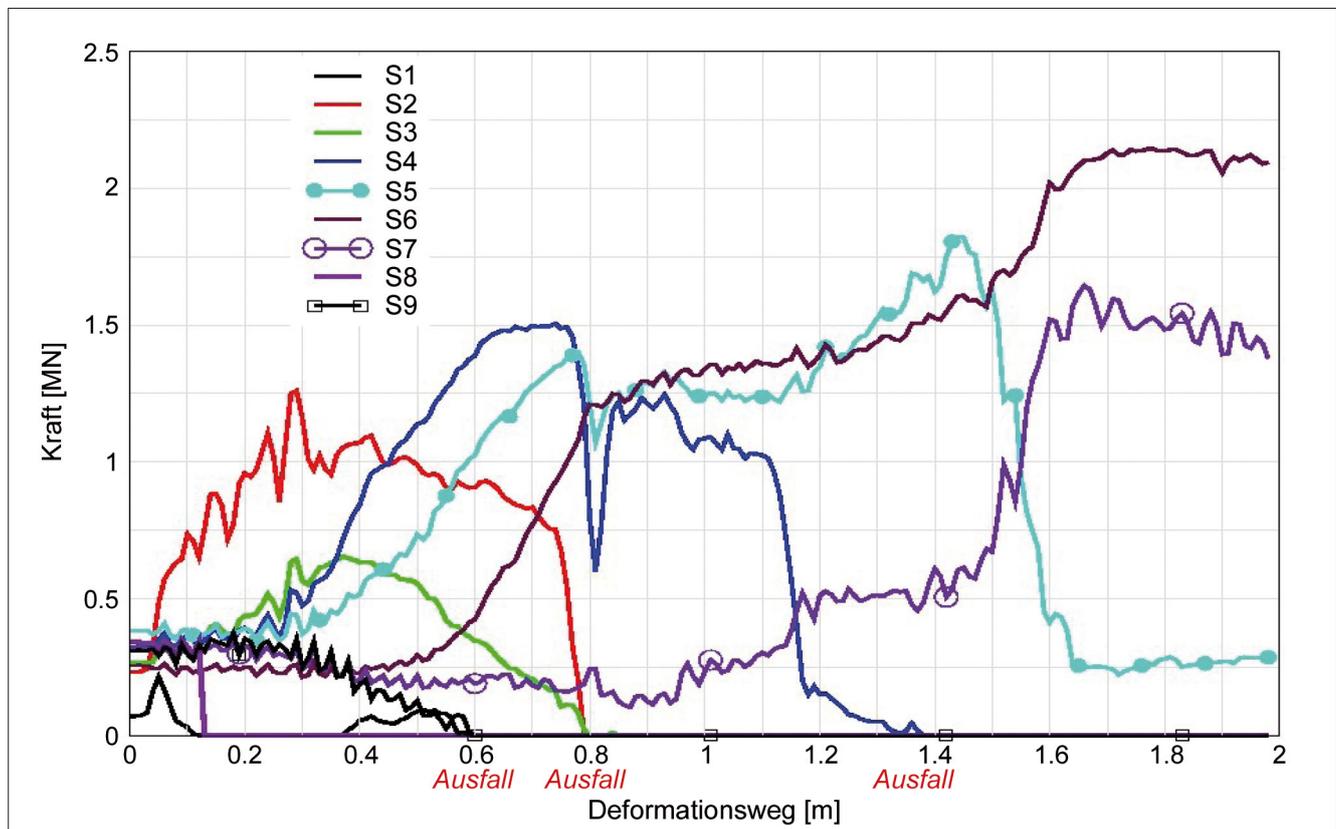


Bild 6: Kontaktkräfte im Schlagsäulenbereich (S1 bis S 9, Modell 3A)

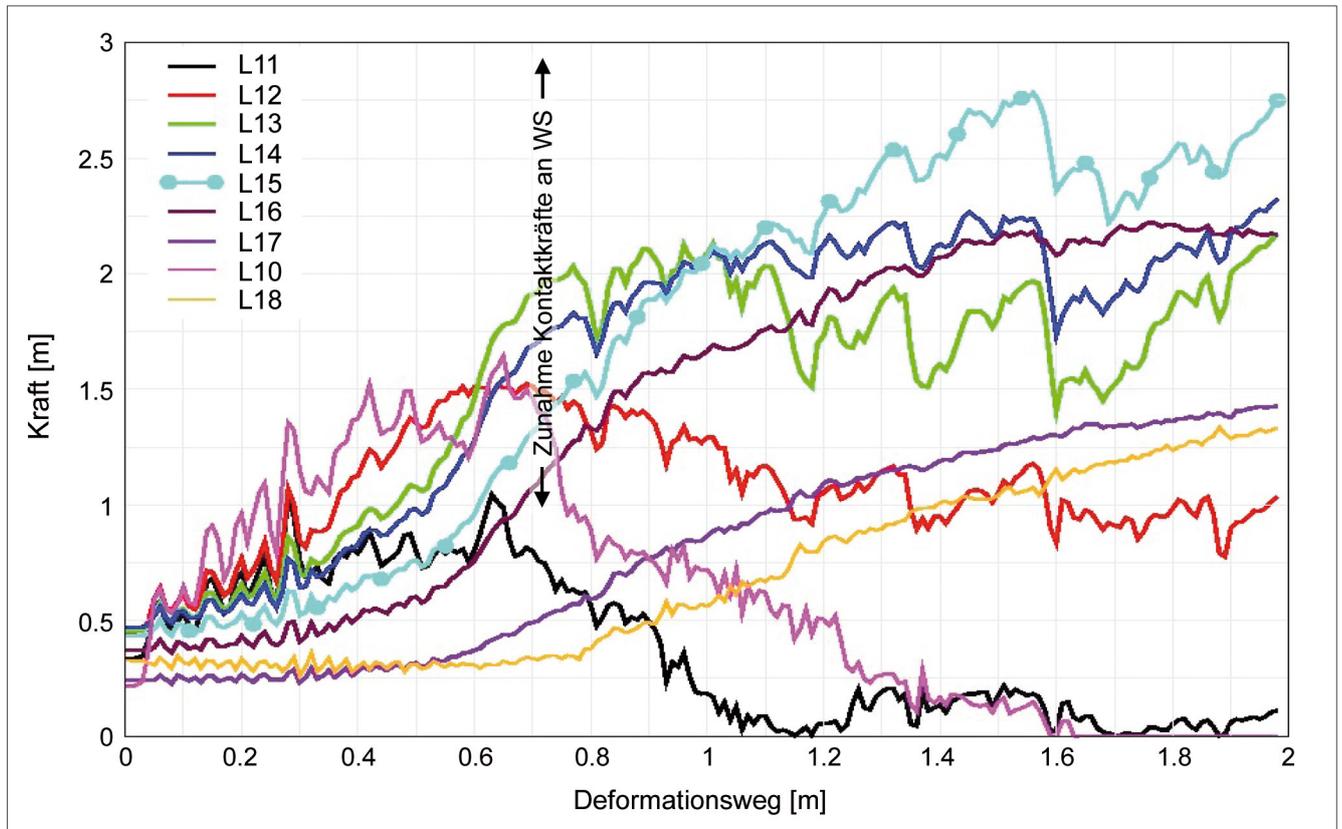


Bild 7: Kontaktkräfte im Wendesäulenbereich (L10 bis L18, Modell 3A)

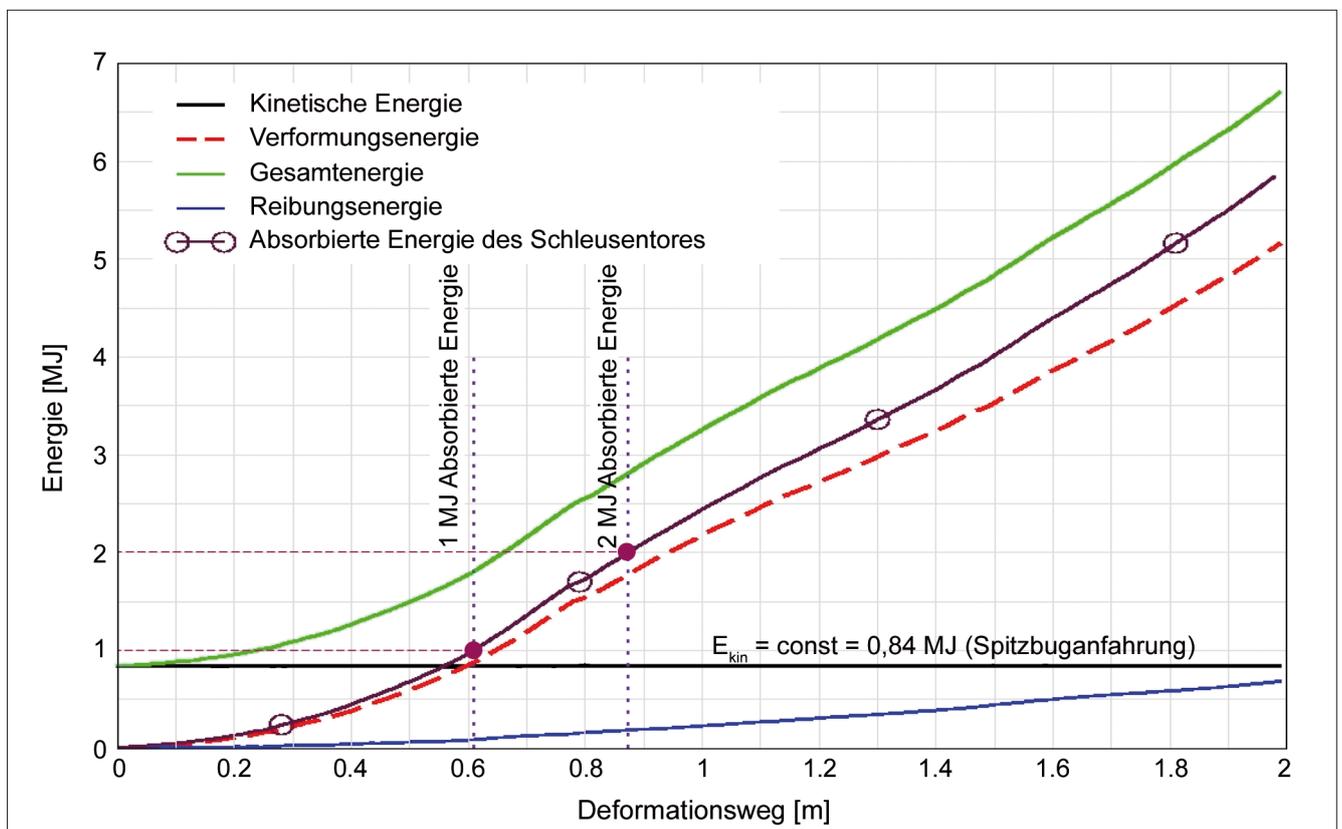


Bild 8: Energiebilanz der Simulation Tormodell 3 mit Spitzbug-Anfahrung

bilanz der Simulation wird erkennbar, dass sich unter dieser Voraussetzung die vom Schleusentor absorbierte Energie (lila Linie mit Kreisen) aus den Anteilen der Verformungsenergie (rote, gestrichelte Linie) und Reibungsenergie (blaue Linie) zusammensetzt. Die Werte 1 bzw. 2 MJ an absorbierter Energie werden bei den Deformationswegen 0,604 m bzw. 0,878 m erreicht (vgl. auch Bild 9 und 10).

Die Gesamtenergie (grüne Linie) ergibt sich letztlich in Abhängigkeit vom Deformationsweg aus der Aufsummierung der Werte aus absorbierter Energie (Reibungsenergie + Verformungsenergie) und der konstant verlaufenden kinetischen Energie. Die Gesamtenergielinie lässt sich damit, wie in Bild 8 dargestellt, durch Aufsattelung der Werte der vom Schleusentor absorbierten Energie auf die kinetische Energielinie $E_{\text{kin,Spitzbug}} = 0,84 \text{ MJ} (= 0,84 \text{ MNm})$ abbilden.

Die Festlegung und Untersuchung des unteren bzw. oberen Wertes 1 MNm bzw. 2 MNm für die vom Tor absorbierte Energie entsprechen der Spannbreite, wie sie in [9] für die Dimensionierung von separat angeordneten Stoßschiebern vorgegeben ist.

Das Ausmaß der Verformungen, welches für das Tormodell 3 bei den beiden Energieabsorptionsgrößen 1 MNm bzw. 2 MNm im Falle der Spitzbug-Anfahrung erwartet werden muss, ist in den Bildern 9 und 10 dargestellt. Es ist von einer maximalen Verformung in x-Richtung von 0,604 m auszugehen. Die Verformungsbilder zeigen, dass insbesondere für den Anfahungsfall mit 1 MNm Energieabsorption (Bild 9) eine gute Reparaturmöglichkeit durch Heraustrennen der stark verformten Teile und Richten der Restverformungen mit anschließendem Einbau neuer Teile gegeben erscheint.

Für den Fall der 2 MNm-Absorption (Bild 10) könnte der komplette Austausch des oberen Torflügelteiles die günstigste Lösung darstellen, zumal eine rechnerische Maximalverformung von 0,878 m (x-displacement) zu erwarten ist. Die in diesem Zusammenhang zu treffende Entscheidung wäre jedoch immer von den vorliegenden Gegebenheiten und dem konkret entstandenen Schadensumfang abhängig zu machen.

Bei Anfahrung eines Motorgüterschiffes (Spitzbug) wird, wie aus Bild 9 und 10 erkennbar ist, in der Regel nur ein Torflügel stärker beschädigt, während bei einer Schubverband-Anfahrung (Pontonbug), wenn auch in

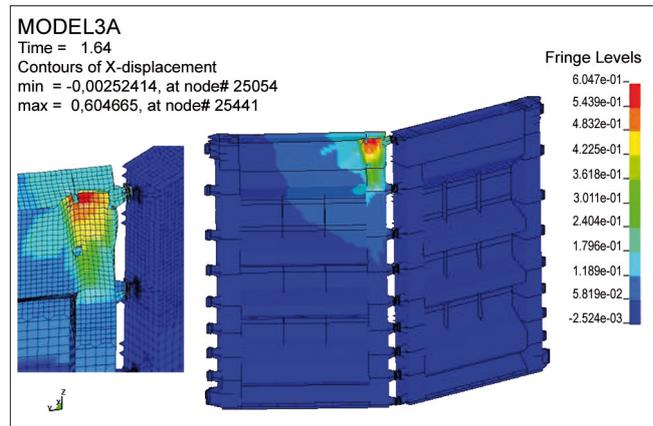


Bild 9: Tormodell 3, Verformungen in x-Richtung bei 1 MNm (Anfahrung mit Spitzbug)

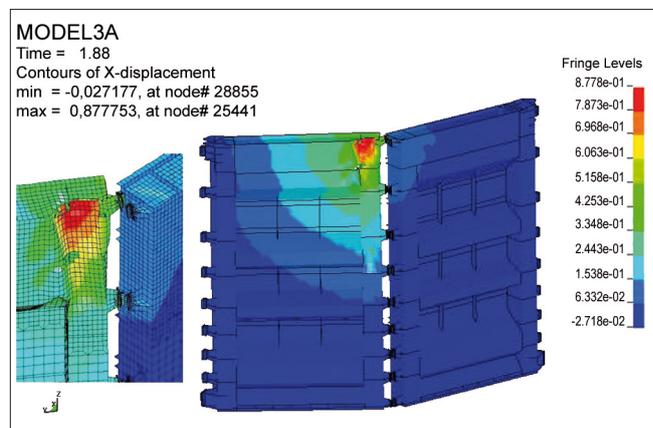


Bild 10: Tormodell 3, Verformungen in x-Richtung bei 2 MNm (Anfahrung mit Spitzbug)

geringerem Maße, beide Torflügel einschließlich Lagerung von Schäden betroffen sein können.

Die bei einer Schubverband-Anfahrung zu erwartenden Verformungsgrößen sind am Beispiel des Tormodells 1 in Bild 11 und 12 auf der folgenden Seite dargestellt. Es wird deutlich, dass infolge der anderen Bugform beim Schubverband und seiner im Kollisionsverlauf entstehenden Interaktion mit dem Schleusentor praktisch eine gleichmäßigere, nahezu symmetrische Lastverteilung erfolgt, wobei die örtlichen Beschädigungen geringer ausfallen als bei Anfahrung durch ein Motorgüterschiff. Der gleichmäßigere Lasteintrag drückt sich letztlich auch in der über die Torgesamtkonstruktion nahezu symmetrischen Verteilung der Verformungen wie auch der hier nicht weiter dargestellten Vergleichsspannungen aus.

Die maximale rechnerische Eindringtiefe des Pontonbuchs in das Tor (x-displacement gemäß Bild 11 und 12) beträgt 0,342 m bei 1 MNm absorbierter Energie und

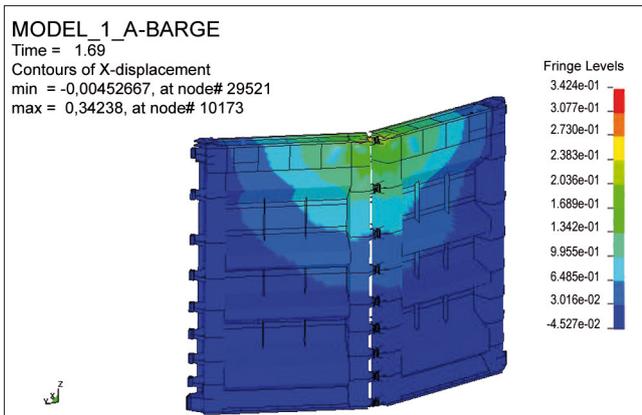


Bild 11: Tormodell 1, Verformungen in X-Richtung bei 1 MNm (Anfahrung mit Schubverband)

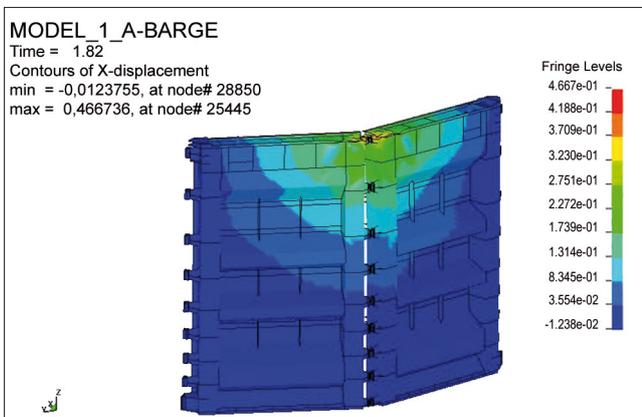


Bild 12: Tormodell 1, Verformungen in X-Richtung bei 2 MNm (Anfahrung mit Schubverband)

0,467 m bei 2 MNm. Gleich nach Überschreitung des Grenzwerts von 2 MNm wird bei einer Eindringtiefe von ca. 0,5 m eine maximale Kollisionskraft von 9 MN erreicht. Danach wird das Tor zunehmend plastisch deformiert, wobei die Kollisionskraft abfällt und bis zum Ende des betrachteten Verformungsweges um einen Wert von etwa 6,5 MN pendelt (Bild 13).

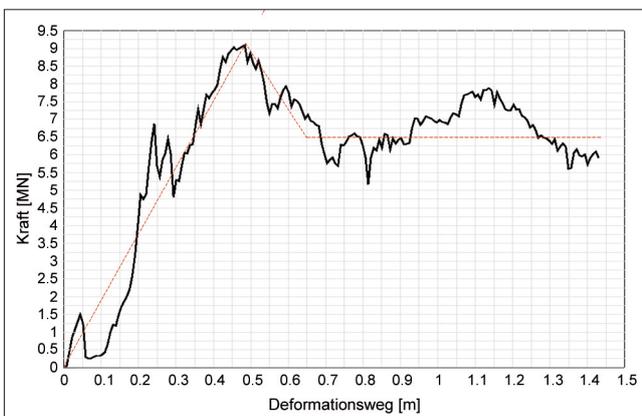


Bild 13: Tormodell 1, Kollisionskraft Schubverband

6 Schlussbetrachtung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich unter bestimmten Voraussetzungen und bei einer vorab definierten Vorgehensweise Möglichkeiten finden lassen, Schleusentore mit vertretbarem technischen und wirtschaftlichen Aufwand für die Eintragung von Schiffsstößen zu optimieren. Allerdings ergeben sich dabei auch konstruktive und bauart- bzw. funktionsbedingte Grenzen.

Es zeigte sich, dass es für ein möglichst günstiges Energieabsorptionsverhalten zweckmäßig ist, die Steifigkeit eines Verschlusskörpers im zu erwartenden Anfahrungsbereich möglichst niedrig zu halten, ihn also unter Beachtung der üblichen Konstruktionsgrundsätze, dort möglichst „weich“ auszubilden. Dabei ist allerdings einem ausreichenden Tragwerkswiderstand gegenüber der Aufnahme von Eisdruck Beachtung zu schenken, da die Tor konstruktion im eventuell betroffenen Bereich aus dünneren Blechen bestehen müsste. Anhand der Untersuchungsergebnisse erscheint es möglich, den voraussichtlich nur lokal im Anfahrungsbereich mehr oder weniger deformierten Verschlusskörper auch nach einer Energieabsorption von 1 ... 2 MNm auf der Grundlage eines vorab festgelegten Instandsetzungskonzeptes mit vertretbarem Aufwand zu reparieren. Dabei ist das von der Bugform des anfahrens Schiffs abhängige, hinsichtlich Lage und Umfang unterschiedliche Verformungsbild zu berücksichtigen.

Grundsätzlich zeigte sich, dass bei der Anfahrung von Stemmtorkonstruktionen der untersuchten Bauart nicht der eigentliche Verschlusskörper, sondern die Stemmknaggen an Schlag- und Wendesäule die Schwachpunkte darstellen. Hinsichtlich Berechnung und Ausbildung scheinen insofern, unabhängig davon, ob eine Anfahrung mit Spitz- oder Pontonbug erfolgt, die vorliegenden Knaggen-Konstruktionen eher unterbemessen zu sein.

Für zu untersuchende bzw. zu ersetzende Tore, die einen definierten Schiffsstoß aufnehmen sollen, sollten deshalb in jedem Fall die Knaggen überprüft und im Bedarfsfall verstärkt oder neu konstruiert werden. Generell sollten dabei die Stemmknaggen nicht nach den aus dem hydrostatischen Wasserdruck herrührenden Einwirkungsgrößen bemessen werden, sondern plan-

mäßig überdimensioniert werden. Dies betrifft vor allem die oberen Stemmnaggenpaare, die, wie die Untersuchungen belegen, im Anfahrungsfall zuerst versagen werden. Die schadensfreie Weiterleitungsmöglichkeit der Kräfte in den Massivbauteil ist dabei zu beachten.

Aus kollisionstechnischen Gesichtspunkten ist wegen der möglichen Reduzierung der Größe der Stemmkkräfte zu empfehlen, den Dremmelwinkel nicht zu flach zu gestalten. Allerdings vergrößert sich bei steiler werdendem Winkel die Stützweite der Stemmtorflügel, wodurch sich bei konstanter Kammerbreite letztlich die nutzbare Kammerlänge verringern würde. Bei den in letzter Zeit gebauten Falwerkstemmtoren wurde ein Dremmelwinkel vorgesehen, der mit ca. 18,4 ° eher im unteren Bereich liegt. Dremmelwinkel in der Größe von 21° sind jedoch durchaus ebenfalls üblich.

Abschließend bleibt festzustellen, dass mit den beschriebenen Untersuchungen einige Randbedingungen und erste Vorschläge für die Gestaltung einer Torkonstruktion aufgezeigt wurden, die eine Stoßbeanspruchung infolge Schiffs-Anfahrung gemäß den in [2] bzw. [9] geregelten Vorgaben ohne Gefährdung der Gesamttragwirkung (Ausschluss von Totalversagen) aufnehmen kann. Unvermeidlich ist dabei immer die Entstehung lokaler Schäden. Die gewählten Untersuchungsmethoden lassen jedoch die Möglichkeit erkennen, dass für die an der Torkonstruktion zu erwartenden lokalen Schadensbereiche rechnerisch vorab Schadensbilder definiert werden können, für welche zutreffende Instandsetzungsstrategien formulierbar sind. Generell ist zu beachten, dass für das Erreichen praktisch umsetzbarer Lösungen noch genauere, d. h. detaillierte und ggf. anlagenbezogene Untersuchungen, die spezielle Fragen der baulichen Durchbildung wie auch der schweißtechnisch günstigen Ausführbarkeit umfassen, durchgeführt werden müssen.

Die auf der Grundlage des Abschlussberichts der TUHH [8] vorgestellten Untersuchungsergebnisse zeigen erste Lösungsansätze auf. Sie befassen sich ausschließlich mit dem Verschlusssystem „Stemmtor“. Die Ergebnisse sind nur bedingt auf andere Torsysteme übertragbar. Allerdings stellen Stemmtore, mit einem Anteil von fast drei Vierteln, das an den Unterhäuptern der Schleusen der Bundeswasserstraßen am häufigsten verwendete Verschlusssystem dar. Zudem sind es gemäß [9] und auf Grund praktischer Erfahrungen

i. d. R. nur die Untertore, die mit geeigneten Maßnahmen gegen unbeabsichtigte Schiffs-Anfahrungen bzw. deren Folgen zu schützen sind.

7 Literatur

- [1] SCHROETER, P.: Die Wirksamkeit von Stoßschutzanlagen an Binnenschiffahrtsschleusen. In: Zeitschrift für Binnenschiffahrt und Wasserstraßen, 1974, H. 6
- [2] DIN 19704-1 Stahlwasserbauten, Teil 1: „Berechnungsgrundlagen“, Ausgabe Mai 1998
- [3] GRABAU, J.: Nachträglicher Einbau von Stoßschutzanlagen an Binnenschiffsschleusen - Beispiele Schleusen Varloh und Bollingerfähr. In: Stahlbau 6/2008, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [4] HERTIG, R.: Abschlussbericht zum FuE-Thema „Kollisionsbeanspruchungen im Stahlwasserbau - Untersuchungen zum Schiffsstoß auf Schleusentore und abzuleitende Maßnahmen“, BAW, Karlsruhe 2008, unveröffentlicht
- [5] DRUDE, O.: „Kollisionsbeanspruchungen mit großen Verformungen bei Stahlwasserbaukonstruktionen“, Vortrag zur Tagung „Hydraulik und Elektronik im Stahlwasserbau“, Lohr am Main, April 2002.
- [6] DRUDE, O.: „Elasto-plastisches Tragverhalten von Stahlwasserbaukonstruktionen unter Kollisionsbeanspruchung“, Dissertation 2004, VDI Verlag, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 4, Bauingenieurwesen, Nr. 201.
- [7] STAROSSEK, U., Koppelman J.: „Rechnerische Untersuchung zu Kollisionsbeanspruchungen von Stahlwasserbauten - Schiffsstoß auf Schleusentore“, Ergebnisbericht, TUHH - Technische Universität Hamburg-Harburg, 30.06.2005, unveröffentlicht.
- [8] LEHMANN, E., DARIE, I.: „Untersuchung zur Optimierung von Stemmtorkonstruktionen hinsichtlich Schiffsstoß“, Abschlussbericht, TUHH - Technische Universität Hamburg-Harburg, 30.09.2007, unveröffentlicht.
- [9] DIN 19703 Schleusen der Binnenschiffahrtsstraßen: „Grundsätze für Abmessungen und Ausrüstung“, Ausgabe November 1995