

Stabilität und Sicherheit der Binnenschiffe - aus praktischer Sicht

Dipl.-Ing. Thomas Guesnet, Dipl.-Ing. Joachim Zöllner,
Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.

Der Ingenieur und Murphys Gesetz

Alle die sich mit dem Unfall der „Waldhof“ beschäftigt haben, mussten die Vielzahl von ganz unterschiedlichem, aber ungünstigen Umständen erkennen, unter denen die Havarie stattgefunden hat. Diese Tatsache führt zu dem Schluss, dass „Murphys Law“ in aller Strenge gilt:

„Whatever can go wrong, will go wrong“

„Alles, was schiefgehen kann, wird auch schiefgehen“

Es ist sehr interessant, dass die erste belegte Formulierung dieser Lebensweisheit auf der Erfahrung von Schiffbauern und Ingenieuren beruhte. Den folgenden Satz findet man im Protokoll der Sitzung einer Ingenieursgesellschaft aus dem Jahr 1877 [1]:

“It is found that anything that can go wrong at sea generally does go wrong sooner or later”

“Es stellt sich heraus, dass alles was auf See schief gehen kann, im allgemeinen früher oder später auch schief geht“

Die manchmal vertretene Auffassung, dass dieser und jener ungünstige Umstand bestimmt nicht gleichzeitig auftreten wird und deshalb bei der Planung und dem Betrieb nicht berücksichtigt werden braucht, ist schon deshalb grundsätzlich falsch. Es gibt auch eine ausführlichere Fassung des Gesetzes [2], die auf den amerikanischen Versuchsingenieur Edward A. Murphy zurückgeführt wird:

“If there's more than one way to do a job, and one of those ways will result in disaster, then somebody will do it that way.”

„Wenn es mehrere Möglichkeiten gibt, eine Aufgabe zu erledigen, und eine davon in einer Katastrophe endet, dann wird es jemand genau so machen.“

Diese Formulierung ist sehr zutreffend, vor allem weil sie den „HUMAN FACTOR“ mit einbezieht. Wenn wir die Sicherheit der Binnenschiffe im Hinblick auf die Stabilität betrachten, müssen wir Murphys Gesetz beachten. Das führt zu der Notwendigkeit, die Möglichkeiten auszuschließen, mit denen etwas falsch gemacht werden kann.

Querstabilität der Binnenschiffe

Die unten stehende Skizze zeigt die wichtigsten Beziehungen in der Schiffsstabilität:

- „B“ bezeichnet den zur eingetauchten Seite hin verschobenen Auftriebsschwerpunkt des krängenden Schiffes.
- „G“ bezeichnet den Gewichts-Schwerpunkt des krängenden Schiffes.
- „M“, das Metazentrum liegt auf dem Schnittpunkt der Linien „Schiffsmitte“ und „Auftriebskraft“
- Die Entfernung „G – M“ ist die metazentrische Höhe. GM ist das Ergebnis von hydrostatischen Berechnungen.

- GM wird auch für das aufrechte Schiff ohne Krängung berechnet und kennzeichnet die „Anfangsstabilität“ des Schiffes.
- Die Entfernung „G – Z“ wird als „aufrichtender Hebel“ bezeichnet. Der Hebel GZ, multipliziert mit der Verdrängung, ergibt das hier wirkende krängende Moment.

Um die in der Skizze gezeigte Krängung zu erreichen, muss ein Moment in der Größe von „Hebelarm GZ x Verdrängung“ auf das Schiff einwirken.

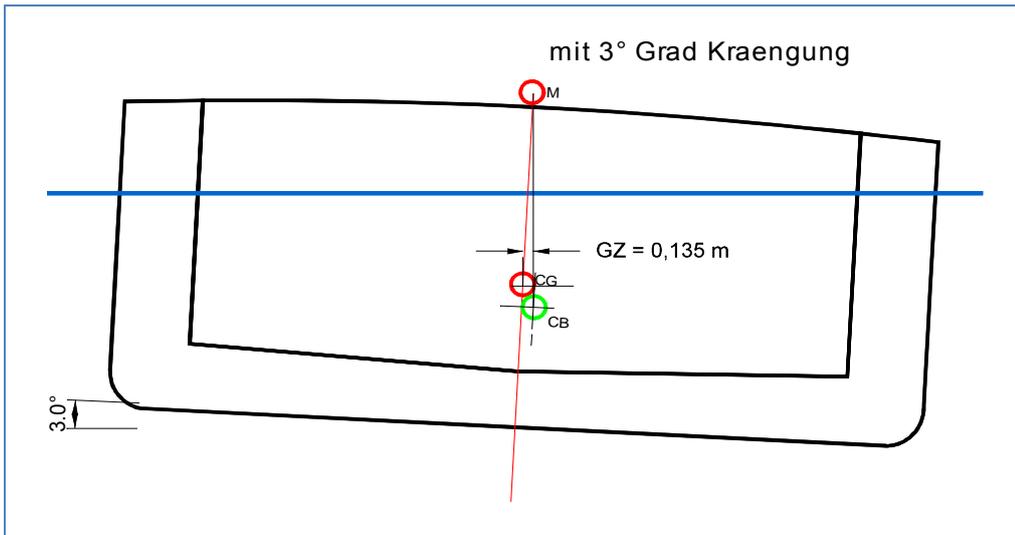


Bild 1: Aufrichtender Hebel am krängenden Schiff

GZ steigt bei kleineren Krängungswinkeln stetig an – aber nur bis Seite Deck zu Wasser kommt. Bis die in der Skizze gezeigte Krängung erreicht ist, muss eine bestimmte Arbeit aufgewendet werden, ähnlich wie bei dem Spannen einer Feder. Die erforderliche Arbeit errechnet sich aus der „Fläche unter der Hebelarmkurve“.

Die für Binnenschiffe gültigen Vorschriften orientieren sich an diesen Zusammenhängen und formulieren einfache Kriterien, mit denen die Stabilität genau bewertet werden kann:

Tabelle 1: Beispiel für Kriterien der Intaktstabilität

<p>9.3.2 Bauvorschriften für Tankschiffe des Typs C Randnummer 9.3.2.14.2: Für Schiffe mit Tankbreiten von mehr als 0,70.B sind folgende Stabilitätsanforderungen nachzuweisen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Innerhalb des positiven Bereiches der Hebelarmkurve bis zum Eintauchen der ersten nicht wetterdicht verschlossenen Öffnung, muss ein aufrichtender Hebelarm (GZ) von mindestens 0,10 m vorhanden sein. ▶ Die Fläche des positiven Bereichs der Hebelarmkurve bis zum Eintauchen der ersten nicht wetterdicht verschlossenen Öffnung, jedoch vor einem Neigungswinkel $\leq 27^\circ$ darf 0,024 m.rad nicht unterschreiten. ▶ Die metazentrische Höhe (MG) muss mindestens 0,10 m betragen.
--

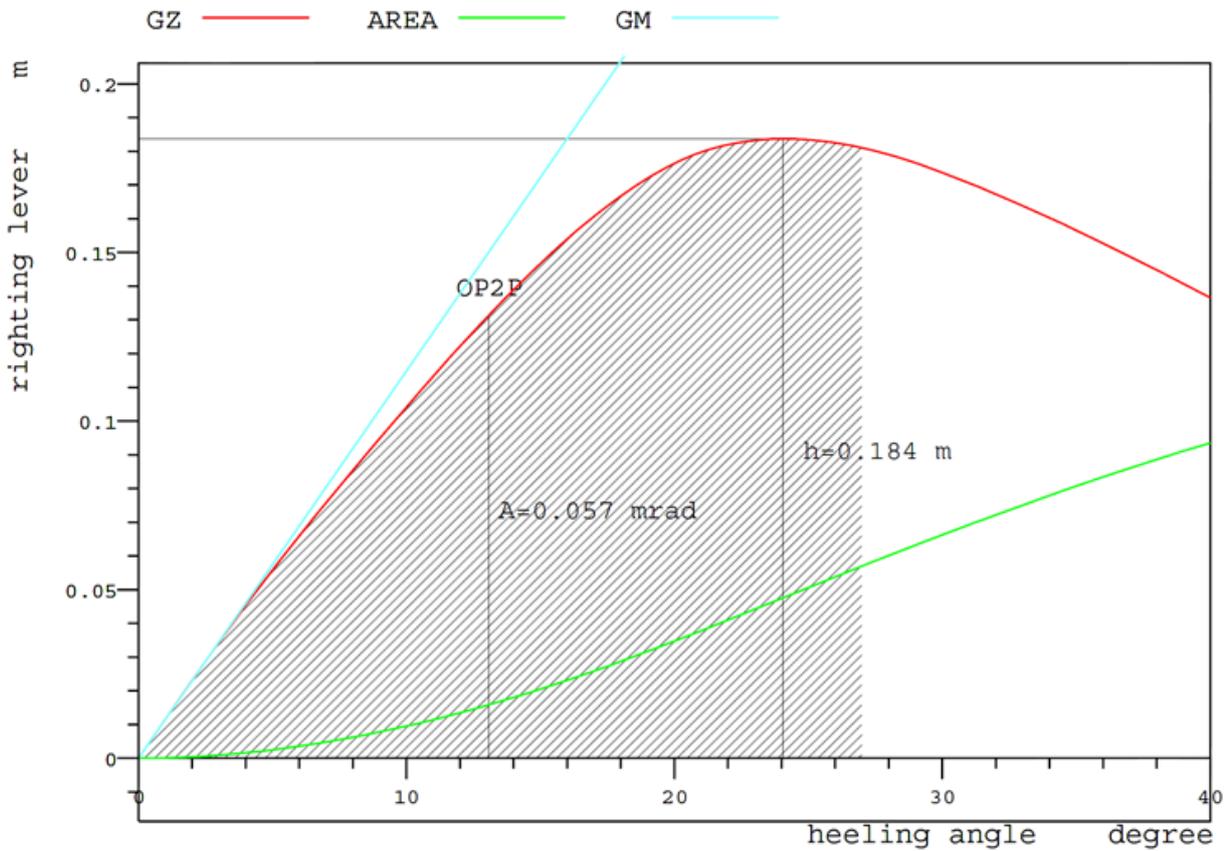


Bild 2: Beispiel für die Auswertung der Intaktstabilität

Tabelle 2: Beispiel für die Ergebnisse der Intaktstabilität

RCR	TEXT	REQ	ATTV UNIT	STAT
CRI142_A	Min Hebelarm bis Ein.	0.100	0.184 m	OK
CRI142_B	Fläche bis Eintauch.	0.024	0.057 mrad	OK
CRI142_C	Min GM	0.100	0.658 m	OK

Berechnungsmethoden

Die Grundlage für alle modernen bzw. computergestützten Berechnungsverfahren ist ein vollständig aufgelöstes Volumenmodell des Schiffes.

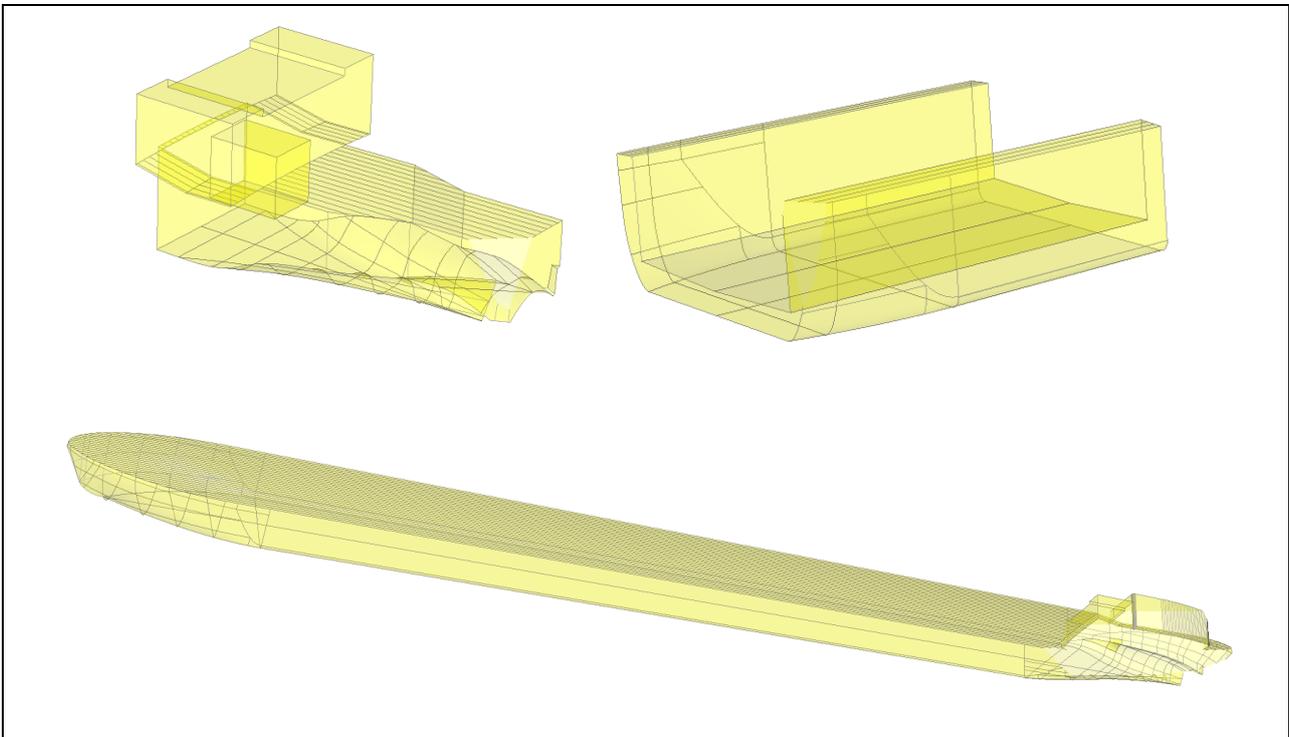


Bild 3: Volumenmodelle für Abteilungen und für den kompletten Auftriebskörper

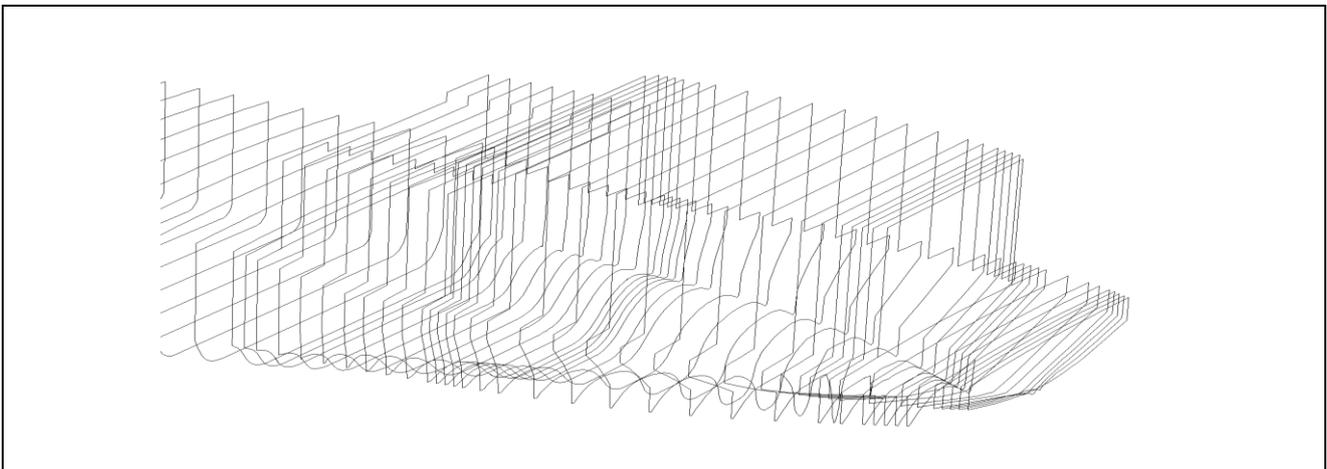


Bild 4: Berechnungsflächen für das Volumenmodell

Die Berechnung der Volumen und Schwerpunkte kann jetzt für beliebige Schwimmlagen bzw. Füllzustände der einzelnen Räume bzw. Abteilungen erfolgen. Die Genauigkeit dieser Berechnungen ist nicht mehr „ungefähr“ wie die früher benutzten manuellen Verfahren oder deren Varianten, die man manchmal auf EXCEL-Tabellen sieht, denn Abweichungen bewegen sich im Rahmen von +/- wenigen Litern für das Volumen.

Wir können dabei auch berücksichtigen, dass der Rumpf eines Binnenschiffes nicht haargenau gerade im Wasser liegt, sondern je nach Beladung eine Durchbiegung erfährt. Diese Durchbiegung kann zum Beispiel 0,12 m betragen und das Ergebnis der Verdrängungsrechnung um ca. 40 t verändern.

Die Genauigkeit dieser Berechnungen ist so hoch, dass auch kleine Abweichungen zwischen dem Ergebnis der Berechnung und den am Schiff festgestellten Werten relevant sind und Anlass zur Kontrolle geben sollten.

Stabilität der Containerschiffe

Bei dem typischen Rhein-Binnenschiff mit der Breite von 11,4 m kann man etwas falsch machen: Die Stauung von Containern in 4 Lagen kann bei ungünstiger Verteilung der Boxen die Stabilität des Schiffes gefährden.

Hier besteht das wesentliche Problem darin, dass der Schiffsführer oft keine verlässlichen Angaben zu dem Gewicht der einzelnen Container erhält. Die Beladung erfolgt nach bestem Wissen und Gewissen, aber es ist nicht ausgeschlossen, dass nicht doch eine Anzahl besonders schwerer Container auf der obersten Lage landet und dadurch die Querstabilität des Schiffes reduziert ist.

Um dieses Risiko zu vermeiden, ist eine rechnerische Überprüfung der Stabilität nicht ausreichend, weil die Daten des Inputs – das Gewicht der einzelnen Container – nicht zuverlässig dokumentiert sind. Hier muss eine Möglichkeit gefunden werden, das Ergebnis der Beladung zu kontrollieren. Eine Methode dazu ist die automatische Erfassung und Auswertung der Rollperiode des Schiffes:

- Ein elektronischer Krängungsmesser erfasst kontinuierlich die Krängung und die Krängungsschwingungen.
- Die Prozessor-gesteuerte Analyse der Krängungsdaten ermittelt laufend die Eigenfrequenz des Schiffes.
- Wenn die Eigenfrequenz einen bestimmten, von Schiff zu Schiff unterschiedlichen Wert überschreitet, ist das ein eindeutiger Hinweis auf eine nicht mehr ausreichende Anfangsstabilität.
- Ändert sich die Eigenfrequenz im Laufe der Fahrt, auch wenn dies in sehr kleinen Beträgen und/oder „schleichend“ passiert, ist das bereits ein eindeutiger Hinweis auf einen Störfall, z. B. Leck oder verschobene Ladung.
- In beiden Fällen wird Alarm ausgelöst, wesentlich früher als dies durch die Wahrnehmung der Besatzung möglich wäre.
- Auch wenn „auf dem Papier“ eine noch zulässige Anfangsstabilität nachgewiesen wird, erfolgt der Alarm selbsttätig.

Bezogen auf Murphys Law resultiert die Verbesserung der Sicherheit auf der automatisierten Kontrolle der Stabilität. Wenn der Schiffsführer weiß, dass die Beladung gecheckt wird, ohne dass er dies beeinflussen kann, wird er keinerlei Risiken eingehen wollen und dieses bei der Beladung des Schiffes beachten.

Sicherheit der Fahrgastschiffe

Die jetzt eingeführten genaueren Formulierungen der Vorschriften dürften dazu beitragen, das bereits hohe Sicherheitsniveau weiter zu verbessern und dauerhaft zu erhalten. Inzwischen soll für alle in Betrieb befindlichen Fahrgastschiffe ein rechnerischer Nachweis der Leckstabilität entsprechend dem Stand der Technik durchgeführt werden.

Weil die Intakt- und Leckstabilität jetzt genau erfasst wird, bestehen nur noch geringe Risiken in dieser Hinsicht. Nur in dem Fall, dass der Ausgangszustand des Schiffes von den berechneten Fällen abweicht, kann ein Problem auftauchen. Deshalb kann es sinnvoll sein, Trimm und Schwimmelage des Schiffes automatisch aufzuzeichnen und auszuwerten. Die entsprechenden Messgeräte für den Tiefgang sind auf dem Markt verfügbar und müssen nur durch eine automatisierte Überwachung ergänzt werden.

Wenn zum Beispiel über Nacht der Tiefgang des liegenden Schiffes signifikant angestiegen ist – auch wenn der Unterschied nur 5 mm beträgt – kann durch die automatisierte Überwachung ein stiller Alarm ausgelöst werden, weil diese, um ca. 5 Tonnen vergrößerte Verdrängung zum Beispiel durch ein undichtes Seeventil verursacht sein kann. Die Besatzung weiß jetzt, dass das Schiff tiefer liegt und kann Kontrollen durchführen bzw. den Alarm mit einer Angabe der Ursache quittieren. Wenn die Besatzung den Alarm nicht quittiert, kann der Alarm auch an die Reederei weitergeleitet werden.

Im Sinne von Murphys Law wird durch die Überwachung verhindert, dass „etwas schief gehen kann“, weil die Abweichungen von der normalen Schwimmelage sehr früh bemerkbar werden.

Der Ladungsrechner

Bei der Beladung eines Tankschiffes kann man davon ausgehen, dass die Ladungsgewichte sehr genau erfasst und dokumentiert werden, weil die Übergabe auf das Schiff über kalibrierte Tankuhren erfolgt. Die flüssige Ladung kann aber aufgrund der freien Oberflächen die Querstabilität des Schiffes stark beeinträchtigen, so dass hier auch die Möglichkeit besteht, etwas „falsch zu machen“. Dieses Risiko soll jetzt reduziert werden, indem auf jedem Schiff ein Ladungsrechner verwendet wird, mit dem der Ladefall kontrolliert werden kann.

Das **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die vollständige Darstellung eines Ladungsrechners, mit der Kontrolle der Intakt-Stabilität. Das sieht auf dem ersten Blick nicht einfach aus und die Anwendung erfordert etliches an Systemkenntnis und auch ein wenig Erfahrung.

Hier soll die Frage diskutiert werden, ob der Ladungsrechner an Bord die beste Methode ist, um eine zuverlässige Kontrolle der Stabilität zu erreichen. Dagegen spricht:

- Die Schiffsführer sind keine Experten der Schiffsstabilität.
- Die Eingaben erfolgen nicht so oft, dass damit wirklich Routine und Erfahrung entsteht.
- Was passiert, wenn das Ergebnis der Berechnung kein „grünes Licht“ ergibt? Dann bleibt der Schiffsführer doch wieder sich selbst überlassen.

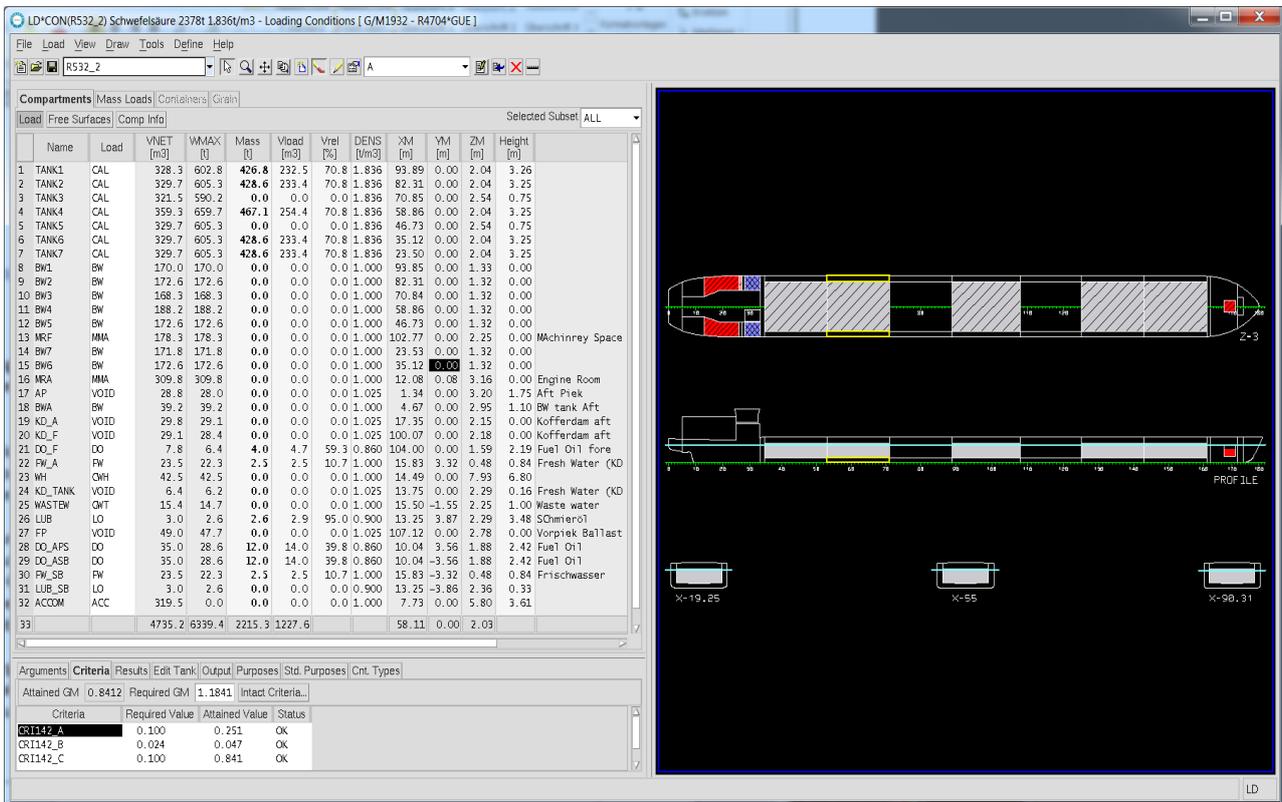
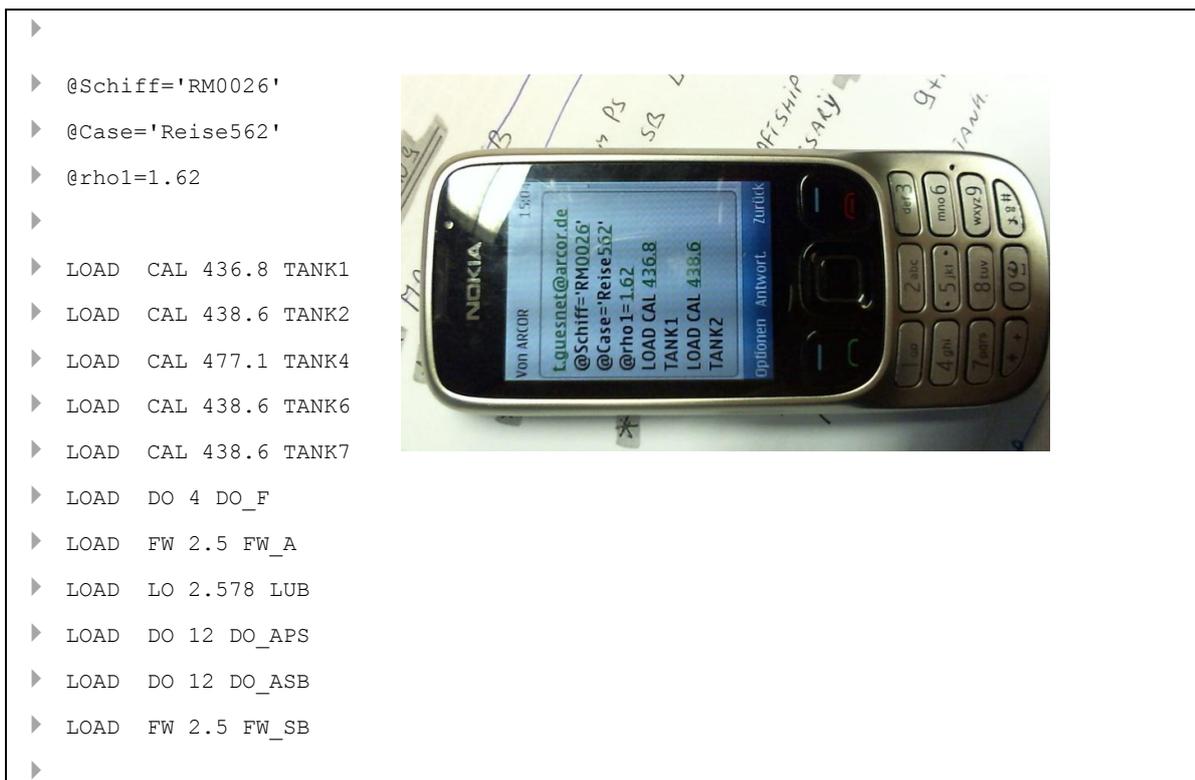


Bild 5: Benutzeroberfläche für einen Ladungsrechner

Tabelle 3: Beispiel für einen Input für den Ladungsrechner



Obwohl komplizierte Zusammenhänge berechnet werden, ist nicht viel Schreibearbeit nötig, um den Input für einen bereits konfigurierten Ladungsrechner zu erstellen. Die erforderlichen Eingaben beschränken sich auf einen kurzen Text. Dieser als Input formatierte Text kann auf jedem PC erstellt werden und als Email, Internetverbindung oder SMS zur Reederei oder bzw. dem beauftragten Büro übertragen werden.

Die Berechnung des Ladefalls kann dort automatisch durchgeführt werden, so dass innerhalb weniger Minuten die Ergebnis-Zeilen wieder in Form einer Email oder SMS an Bord vorliegen. Der Schiffsführer kann jetzt, wenn die Ergebnisse als „OK“ gekennzeichnet sind, die Kontrolle der Stabilität als erledigt abhaken und seine Fahrt antreten. Im Büro der Reederei sind die Daten für diese Reise ebenfalls vollständig dokumentiert. Die Ergebnisse der Berechnung sollten sehr genau mit den Tiefgangsmessungen am Schiff übereinstimmen; eine Abweichung von mehr als 5 mm kann hier schon Anlass für eine eingehende Kontrolle des Schiffes sein, um zum Beispiel Restmengen an Ballastwasser zu finden.

Tabelle 4: Beispiel für die Ausgabe des Ladungsrechners

Schiff RM0026, Reise 562, Datum 13.02.2013								
Ergebnisse der Stabilitätsberechnung:								
RCR	TEXT	REQ	ATTV	UNIT	STAT	MINGM m	MAXKG m	MOMNT tm
CRI142_A	Min Hebelarm bis Ein.	0.100	0.251	m	OK	0.398	2.561	0.0
CRI142_B	Fläche bis Eintauch.	0.024	0.047	mrاد	OK	0.456	2.503	0.0
CRI142_C	Min GM	0.100	0.841	m	OK	0.100	2.859	0.0
F L O A T I N G P O S I T I O N								

Draught moulded	2.957	m	KM	4.73	m			
Trim	-0.095	m	KG	2.12	m			
Heel, PS=+	0.2	deg						
TA	3.005	m	GM0	2.61	m			
TF	2.910	m	GMCORR	-1.77	m			
Trimming moment	-1362	tonm	GM	0.84	m			
						X	Frame	
Sagging moment	-2140.8	tm		29.52	m		53.33	
Hogging moment	-							

Sollten die Ergebnisse nicht „OK“ sein, kann automatisch oder mit dem Anruf des Schiffsführers eine Rufbereitschaft ausgelöst werden, so dass eine qualifizierte Person mit dem Schiffsführer zusammen die Eingabe überprüft bzw. eine Alternative zu der vorgesehenen Beladung entwickelt. Alle Ladefälle der Reederei werden jetzt zentral verwaltet und durch die Häufigkeit der durchgeführten Berechnungen entsteht dort eine zuverlässige Expertise. Die Updates der Software erfolgen über einen einzigen Computer, der die gesamte Flotte des Unternehmens verwaltet. Auch hier ergibt sich die Verbesserung der Sicherheit durch die vom Schiffsführer unabhängige Kontrolle der Beladung.

Havarie-Einsatzzentrum Tankschifffahrt

Die Einsatzzentralen „Emergency Response Service“ (ERS) sind zum Beispiel im Bereich der US Coast Guard bereits vorgeschrieben. Damit soll sichergestellt werden, dass im Fall von Havarien alle technischen Daten verfügbar sind und sofort qualifizierter Support geleistet werden kann. Auch für die Binnenschifffahrt kann solch eine Einsatzzentrale sinnvoll sein. Die Zentrale ist ständig in Rufbereitschaft und verfügt über die erforderliche Software und erfahrene Ingenieure und Nautiker, die im Fall einer Havarie innerhalb von kurzer Zeit den Schadensfall analysieren und Empfehlungen zu wirksamen Maßnahmen geben können. Dabei ist nicht an ein ständig besetztes Büro gedacht, sondern an eine Struktur, die mit modernen Kommunikationsmitteln unabhängig vom Ort einsatzfähig bleibt. Wichtigste Hardware ist ein Laptop, auf dem die Daten einer großen Flotte gespeichert werden können. Diese Einsatzzentrale kann als Service bei den Klassifikationsgesellschaften eingekauft werden oder auch von den Reedereien in eigener Regie betrieben werden. Bei einer Havarie stellen sich komplexe Probleme, die zum Beispiel die Querstabilität des Schiffes, die Längsfestigkeit oder den Verlust von Ladung betreffen. Moderne Software kann hier das wichtigste Werkzeug für die Bewältigung der Havarie darstellen. Hier kann man zum Beispiel Szenarien erarbeiten, mit denen eine Bergung in allen Phasen durchgerechnet wird.

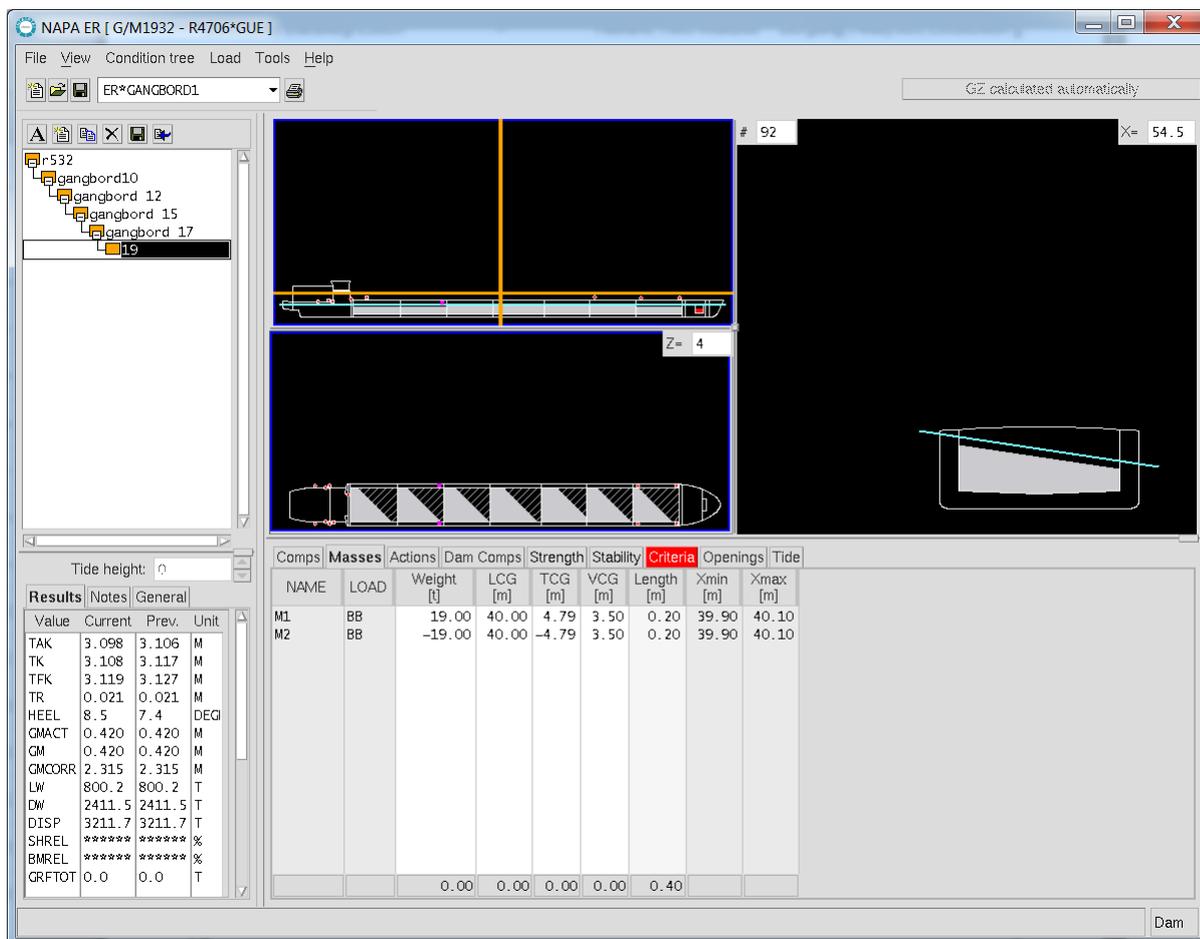


Bild 6: Benutzeroberfläche für die „Emergency Response“ Software beim DST

Für alle vom ERC betreuten Schiffe sind vollständige CAD-Datenmodelle, Daten der Ladungsrechner und relevante technische Unterlagen auf einem Server bzw. einem mobilen PC gespeichert. Darüber hinaus verfügt das ERC über

- die erforderlichen digitalen See- und Binnenwasserstraßenkarten,
- uneingeschränkten Zugang zu den relevanten Informationen der Havarie,
- Zugriff auf einen Schiffsimulator, z.B. SANDRA in Homberg

Wichtig ist in aber erster Linie, dass ein Team von erfahrenen Fachleuten zusammengestellt wird, das über eine Rufbereitschaft aktiviert werden kann. Dieses Team sollte auch regelmäßig Übungen durchführen, um die Zusammenarbeit zu perfektionieren. Das ERC kann zwar Havarien nicht verhindern, aber im Fall der Fälle den Schaden reduzieren.

Schlussfolgerungen

Es gibt Möglichkeiten, das unbestritten hohe Sicherheitsniveau der Binnenschifffahrt dauerhaft zu sichern und möglicherweise zu verbessern. Ein wichtiges Werkzeug dazu sind die Methoden der modernen Software zur Berechnung der Schiffsdaten und die Möglichkeit der automatisierten Überwachung von Betriebszuständen.

Literatur

[1] In the November 13, 1877 session, published 1878, Alfred Holt, "Review of the Progress of Steam Shipping during the last Quarter of a Century," pp. 2-11, here p. 8, Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Murphy%27s_law

"It is found that anything that can go wrong at sea generally does go wrong sooner or later, so it is not to be wondered that owners prefer the safe to the scientific.

It is also found that it is almost as bad to have too many parts as too few; that arrangements which are for exceptional and occasional use are rarely available when wanted, and have the disadvantage of requiring additional care. Their very presence, too, seems in effect to indispose the engineer to attend to essentials.

Sufficient stress can hardly be laid on the advantages of simplicity. The human factor cannot be safely neglected in planning machinery. If attention is to be obtained, the engine must be such that the engineer will be disposed to attend to it."