

# **Untersuchung zur Einschätzung von Schwimmlage und Stabilität an Bord von RoRo und RoRo-Passagierschiffen im Wassereinbruchfall**

---

Vom Fachbereich D der Abteilung Sicherheitstechnik der  
Bergischen Universität Wuppertal  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von

Herr Dipl.Ing(FH) Sascha Pristrom, MSc

aus

Schwerin, Deutschland

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. B.-J. Vorath

Univ.-Prof. Dr.-Ing. U.Barth

Datum der mündlichen Prüfung: 26. November 2010

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20110217-150738-0

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20110217-150738-0>]

# Danksagung

Den erfolgreichen Abschluß dieser Arbeit verdanke ich zum größten Teil meiner Frau Kathi. Ohne ihren Zuspruch und ihre Hilfe an den vielen arbeitsreichen Wochenenden an denen die Kinder versorgt werden mußten, wäre nicht an eine erfolgreiche Beendigung dieses Projektes zu denken gewesen. Ich bedanke mich auch bei meinem akademischen Ziehvätern Herrn Prof. Dr. phil. P. Trenkner und Herrn Prof. Dr.-Ing. T. Böcker, die nie den Glauben an meine Fähigkeiten und Kompetenz angezweifelt und mich bei meinem Vorhaben immer wieder unterstützt haben.

Daß die Einreichung dieser Arbeit überhaupt erfolgte konnte, beruht aber ganz allein auf der Initiative von Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. B.-J. Vorath, der sich engagiert bereit erklärt hat, die Arbeit bis zum erfolgreichen Ende zu begleiten.

Allen oben genannten Personen gehört mein Dank, ebenso den Reedereien DFDS und SCANDLINES, dem Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit der Technischen Universität Hamburg, den Kollegen und Delegierten der IMO, die mir bei meinen Fragen zur Seite gestanden haben und natürlich gehört ganz besonderer Dank meinen Eltern.

Sascha Pristrom

# Zusammenfassung

Diese Arbeit befaßt sich mit den Möglichkeiten zur Bestimmung der Schwimmfähigkeit und Stabilität durch das Bordpersonal auf RoRo- und RoRo- Passagierschiffen im Wassereinbruchfall. Die Einschränkung auf diesen Schiffstyp ist durch die Überlegungen gestärkt worden, daß das Risiko in der RoRo-Schiffahrt deutlich höher ausfallen kann, als auf den meisten anderen Schiffstypen. Der RoRo-Verkehr ist gekennzeichnet durch stark frequentierte Fährverkehrsgebiete, hohe Anforderungen an die Nautiker, die sich zur Einschätzung der Verkehrslage stark konzentrieren müssen und bei RoRo-Passagierschiffen (RoPax) zudem fähige *crowd management skills* nachweisen müssen. Durch die langen und durchgehenden RoRo-Ladedecks, die bei den hier untersuchten Beispielschiffen außerdem unterhalb des Schottendecks gelegen sind, ist die Wassereinbruchgefahr größer als auf vergleichbaren anderen Schiffstypen. Die Wassermassen können ja ungehindert in einem Leckfall eindringen. Deshalb erfordert der Betrieb von RoRo- und im Besonderen von RoPax-Schiffen, hohes Wissen und Können von Schiffsbesatzungen. Unumstritten ist zudem die Tatsache, daß die Schiffahrtsindustrie unter Mangel an qualifizierten Fachpersonal für den Bordbetrieb leidet.

Zunächst wird in der Arbeit die Bedeutsamkeit des RoRo- und RoPax-Verkehrs durch eine Flottenanalyse nachgewiesen, um damit eine wissenschaftliche Rechtfertigung zur Untersuchung dieses Schiffstyps vorzuweisen. Daraus hervorgehend ergibt sich der Rückschluß, daß der RoRo-Fährverkehr eine feste Größe im internationalen Seehandel, besonders im Kurzstreckenverkehr einnimmt. Prominente Seeunfälle von Ro-Ro-Passagierschiffen der Vergangenheit werden kurz erläutert und sollen die Notwendigkeit einer näheren Untersuchung zur Lecksicherheit untermauern. Im Anschluss daran wird auf den Prozess des Wassereinbruchs eingegangen, bevor durch die Analyse der schiffbaulichen Regeln

zum Bau von RoRo- und RoPax-Schiffen ein Abbild über die bauliche Charakteristik von RoRo- und RoPax-Schiffen gegeben wird. Dem Autor ist es wichtig, eine wissenschaftlich fundierte Verknüpfung zwischen Schiffbau und Betrieb von Schiffen herzustellen. Deshalb wurden auch kritische Anmerkungen zu den bestehenden Schiffbau- und Ausrüstungsvorschriften vorgenommen. Es wird in dieser Arbeit versucht, auf die Gefahren hinzuweisen, die aus dem unsicheren Betrieb solcher Schiffe hervorgehen und welchen Einfluss der Faktor Mensch hier ausübt. Dazu werden die bisherigen Ausbildungsvorschriften für nautische Schiffsoffiziere untersucht und mit den Anforderungen an Wissen und Können von Bordbesatzungen im Wassereinbruchfall verglichen. Der Autor hat den Versuch unternommen, nachzuweisen, daß die Besatzungen nicht genügend geschult sind, um einen Wassereinbruchfall richtig einzuschätzen und bekämpfen zu können. Zur Untermauerung dieser Hypothese wurden verschiedene Leckfälle anhand von mathematischen Modellen von zwei existierenden RoPax-Fähren simuliert. Bei der Berechnung und Modellierung der Leckfälle wurden erhebliche Mängel in der Stabilitäts-Borddokumentation ausgemacht. Demnach ist die Besatzung von RoRo- oder RoPax-Schiffen nach Ansicht des Autors nicht in der Lage, eine hinreichend genaue Bewertung der Schwimmfähigkeit und Stabilität im Leckfall vorzunehmen. Es wird zudem gezeigt, wie wenig Zeit zur Einleitung von Gegenmaßnahmen und zur Evakuierung von Passagieren und Besatzung in einigen Leckszenarien bleibt.

Weiterhin wurde das Ziel verfolgt, ein Konzept zu entwerfen, welches in Ausarbeitung eines IMO Modell-Kurses Stabilität und Schwimmfähigkeit im Leckfall mündet. Der Entwurf eines solchen IMO Modell-Kurses ist der Arbeit angehängt. Darüber hinaus kann durch die hier vorgestellten Möglichkeiten zur Erhöhung der Sicherheit im Leckfall ein Beitrag zur Entwicklung einer IMO-Resolution entstehen, die als *Handlungsempfehlungen für den Kapitän im Leckfall* betitelt werden kann.

# Abstract

This thesis aims to identify possible solutions for determining the floatability and stability on board of roro- and roro-passenger ships in a damage case. The constraint to limit the research to these ship types only derives from the risk related to the operation of such ships. Due to the fact that roro- and roro-passengerships usually trade in areas of high traffic-density, the officers on watch are exposed to higher stress levels while navigating in high-risk collision areas. Furthermore, crew members on roro- and roro-passenger ships need to be trained in effective crowd management techniques. A distinctive difference between roro- and roro-passenger ships and pure passenger ships is their different design. The unobstructed long roro-cargo decks, which on the two sample ships considered in this study are located below the bulkhead deck, pose a much higher threat of capsizing and sinking than on similar other ships types. This is a logical consequence as water once it enters the cargo deck can spread freely. Therefore, the operation of roro ships, and in particular roro-passengerships, requires well qualified and skilled professional crews.

Firstly, this thesis investigates the importance of roro shipping by means of an analysis of the existing fleet and the roro- and ropax-ships on order. This then warrants further research on the matter and leads to the analysis of the current situation on board roro-passengerships in this thesis. The first chapter concludes with the reasoning that roro shipping is a significant part of international shipping, especially in the short sea shipping sector. A number of well-known roro-passengership accidents of the recent past are analysed to underpin the need for further research on damage safety on those types of ships. In conjunction to the above conclusions, an analysis is carried out to detail the water ingress process from a scientific perspective.

Further, this thesis envisages to provide a brief summary of the current regulations on ship design, stability and damage stability of roro- and roro-passenger ships and to achieve a scientifically profound synergy between the work of ship builders and ship operators. To this effect, some critical analysis of the existing

regulations will be carried out. The author argues that crews on board ships are not sufficiently trained to assess and combat water ingress on their ship. To support this hypothesis a number of simulation case studies for the two sample ropax-ships were generated and the stability in the intermediate and final stages of flooding calculated. While modelling the mathematical scenario the author's findings lead to the conclusion that the stability and damage stability information on board were not sufficient. Hence it is further concluded that ships crews are not capable of assessing satisfactorily the floatability and stability of their ship in a damage case. The simulation carried out also shows the short amount of time available for the evacuation of passengers and crew if ships, like the ones examined are bilged. Time is an important factor in a case of damage as it significantly influences the evacuation process on board.

Finally, this thesis aims at developing an IMO model course for ship officers in order to consolidate their knowledge and to train them for the event of water ingress on their ship. A draft of such model course is annexed to this thesis. Furthermore, as this thesis provides a solution to improve ship safety in a case of damage it envisages, at some later stage, to develop an IMO resolution on "Guidance for masters in damage ship condition".

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Schiffssicherheit als Teilgebiet der Sicherheitswissenschaften . . . .	2
1.2	Schiffsunfälle mit Risiko auf Totalverlust . . . . .	17
2.1	Rich Picture Fähre . . . . .	67
2.2	Conceptual Model . . . . .	68
2.3	d-separation . . . . .	72
2.4	BN-Modell zum Wassereinbruch . . . . .	73
2.5	$P(t, \text{BelZu}, \text{Perm}, \text{SchottSt}=\text{geschl.})$ . . . . .	75
2.6	WE-Fall -BN mit Hugin . . . . .	76
3.1	Besonderheiten im RoPax-Verkehr . . . . .	82
3.2	Unzureichende Stabilitätsinformationen . . . . .	85
3.3	Schiffsdatenbank Beispielschiff <sub>1</sub> . . . . .	88
3.4	Beispielschiff 1 Hebelarmkurve im Intaktfall . . . . .	89
3.5	Zufallszahlengenerierung unter Verwendung empirischer Daten .	90
3.6	LKW-Gewicht Wahrscheinlichkeitsverteilung . . . . .	91
3.7	Crystall Ball Ablaufdiagramm . . . . .	93
3.8	Simulation Schaubild . . . . .	97
3.9	Übersicht Beispielschiff <sub>1</sub> . . . . .	106
3.10	Abteilungen Beispielschiff <sub>1</sub> . . . . .	107
3.11	Volumenstrom in Abhängigkeit von der Füllhöhe $h_2$ . . . . .	109
3.12	Leckfall <sub>1</sub> . . . . .	112
3.13	Leckfall 1 - Flutungszeit sensitivity . . . . .	114
3.14	Leckfall 1 - GMc sensitivity . . . . .	115
3.15	Leckfall <sub>2</sub> . . . . .	116
3.16	Leckfall <sub>3</sub> . . . . .	118
3.17	Organigramm Simulation an Bord . . . . .	121



3.18 Organigramm Leckbewertung (Ist-Zustand) . . . . .	122
3.19 Beispielschiff 2 . . . . .	123
3.20 Beispielschiff 2 . . . . .	124
3.21 Beispielschiff 2 - Programmaske (Leckfall 1) . . . . .	126
3.22 Sensitivity Chart: GM . . . . .	127
3.23 Sensitivity Chart - Krängungswinkel . . . . .	129
3.24 Sensitivity Chart: TF . . . . .	131
3.25 Beispielschiff 2 . . . . .	131
3.26 Beispielschiff 2 - Programmaske (Leckfall 2) . . . . .	133
3.27 Sensitivity Chart: List . . . . .	135
5.1 Durch die Simulation erzeugter Damage Control Plan . . . . .	155

# Tabellenverzeichnis

1.1	Die Flotte der Autofähren, RoRo, RoPax und Passagierschiffe . . . . .	6
1.2	RoRo age profile . . . . .	8
1.3	RoRo age profile Europe . . . . .	8
1.4	Passenger capacity . . . . .	9
1.5	German Flag ships . . . . .	10
1.6	RoRo and RoPax Order Book . . . . .	11
1.7	RoRo and RoPax by type . . . . .	11
2.1	Verbindliche Mindestanforderungen für die Erteilung von Befähigungszeugnissen an nautische Wachoffiziere auf Schiffen mit einer Bruttoreaumzahl von 500 oder mehr . . . . .	51
2.2	Verbindliche Mindestanforderungen für die Erteilung von Befähigungszeugnissen an Kapitäne und Erste Offiziere auf Schiffen mit einer Bruttoreaumzahl von 500 oder mehr . . . . .	53
2.3	P(Permeabilität/BelZu) . . . . .	74
2.4	P(t/BelZu, SchottSt) . . . . .	74
3.1	Summary Bsp.Schiff1 LF1 . . . . .	113
3.2	Summary Bsp.Schiff1 LF2 . . . . .	117
3.3	Summary Bsp.Schiff1 LF3 . . . . .	119
3.4	Summary Bsp.Schiff2 LF1 . . . . .	125
3.5	Vergleich der Krängungswinkel nach Berechnungsmethoden . . . . .	128
3.6	Vergleich der Tiefgänge nach Berechnungsmethoden . . . . .	130
3.7	Displacement-Fehler . . . . .	137
3.8	Flächemoment-Fehler . . . . .	140
D.1	Was ist ein 2-Abteilungsschiff? . . . . .	203

D.2	Ist ein 1-Abteilungsschiff nicht regelkonform, wenn es genau am wasser- dichten Schott getroffen wird und durch die Flutung von 2 Abteilungen sinkt? .	203
D.3	Um die Lage eines Schiffes stabil zu halten, sind an Bord so genannte Querflu- tungskanäle oder cross flooding valves installiert. Was ist deren hauptsächliche Aufgabe? . . . . .	204
D.4	Wasserdichte Abteilungsschotte nach SOLAS'90 müssen bei einer Flutung min- destens... . . . . .	204
D.5	Bitte geben Sie an, welche der folgenden Maßnahmen Sie im Falle eines nega- tiven GM-Wertes und einer starken Schlagseite ergreifen würden (Schiff intakt).	204
D.6	Ihr Schiff ist beschädigt und Wasser dringt ein. Ab welcher Leckgröße begin- nen Sie mit der sofortigen Evakuierung, wenn die fortschreitende Flutung der benachbarten Abteilungen nicht verhindert werden kann? . . . . .	205
D.7	Hängt die Menge des einströmenden Leckwassers (Einströmvolumen) bei ei- nem Leck unterhalb der Wasserlinie (WL) auch von der Tiefe des Lecks in Bezug zur WL ab und wird dies bei der Berechnung der Einströmmenge be- rücksichtigt? . . . . .	205
D.8	Welche Methoden der Leckrechnung sind gebräuchlich und wissenschaftlich anerkannt? . . . . .	205
D.9	Warum können die Zwischenflutungszustände im Leckfall eine größere Gefahr für das Schiff bedeuten als der Endzustand der Flutung? . . . . .	206
D.10	Das BM ( $BM = I/V$ ) des lecken Schiffes ist im Vergleich zum BM des intakten Schiffes : . . . . .	206
D.11	Was bezeichnet man mit Permeabilität oder dem Flutbarkeitsfaktor einer Ab- teilung? . . . . .	206
D.12	Sie wollen den neuen Tiefgang Ihres Schiffes im Leckfall nach der Methode der konstanten Verdrängung berechnen. Es sei eine Mittschiffsbeschädigung bei ebenen Kiel angenommen. Die beschädigte Abteilung ist im Endzustand des Flutungsprozesses nicht vollständig geflutet. Dann berechnet sich die Tief- gangszunahme wie folgt: . . . . .	207
D.13	Eine der Schwierigkeiten den Wassereintrich direkt zu berechnen ist die, daß die Menge des einströmenden Leckwassers nicht sofort bekannt ist (abgesehen von den Fällen bei denen die lecke Abteilung unterhalb der Intaktwasserlinie liegt). Eine hinreichend genaue Methode ist:... . . . . .	207
D.14	Welches ist die effektivste Art der Lecksicherung (Verkeilung der Leckfläche)? .	207

D.15 Um Ihr Schiff im Leckfall vor dem Kentern oder dem Sinken durch parallele Tiefertauchung zu bewahren, sollte Sie: . . . . .	208
D.16 Bordfunktionen der Befragten . . . . .	208



# Abkürzungsverzeichnis

<b>B</b>	Formschwerpunkt
<b>BIMCO</b>	Baltic and International Maritime Council
<b>BRM</b>	Bridge Resource Management
<b>BRZ</b>	Bruttoraumzahl; ersetzt die veraltete Bezeichnung BRT
<b>CB</b>	Crystall Ball - Das in dieser Arbeit verwendete Softwarepaket
<b>CGX</b>	Centre of Gravity (x-axis); Schwerpunkt in x-Richtung
<b>CGZ</b>	Centre of Gravity (z-axis); Schwerpunkt in z-Richtung
<b>CF</b>	Centre of Flotation; Schwerpunkt der Wasserlinienfläche
<b>CTU</b>	Cargo Transport Unit(Ladeeinheit, wie z.B. Container, Fahrzeuge etc.)
<b>DAG</b>	Directed Acyclic Graph
<b>EMSA</b>	European Maritime Safety Agency
<b>ERS</b>	Emergency Response Service (z.B. durch Klassifikationsgesellschaften)
<b>ETM</b>	Einheitstrimmoment; siehe auch $MCT_{1cm}$
<b>FSM</b>	Free Surface Moment; Moment der Freien Oberflächen
<b>GZ</b>	Hebelarm
<b>HSVA</b>	Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH
<b>IACS</b>	International Association of Classification Societies
<b>ISM Code</b>	International Safety Management (ISM) Code

<b>ISPS Code</b>	International Ship and Port Facility Security Code
<b>KG</b>	Höhe des Gewichtsschwerpunktes
<b>KM</b>	Metazentrische Höhe über Kiel
<b>KN</b>	Scheinbare Metazentrische Höhe über Kiel
<b>LCB</b>	Longitudinal Centre of Buoyancy - Volumenschwerpunkt des Unterwasserschiffes
<b>LCF</b>	Longitudinal Centre of Flotation - Wasserlinienschwerpunkt
<b>LCG</b>	Longitudinal Centre of Gravity - Längsschwerpunkt
<b>Lpp</b>	Länge zwischen den Loten
<b>MAIB</b>	United Kingdom Marine Accident Investigation Branch
<b>MCT</b>	Moment to Change Trim; entspricht dem ETM
<b>MoU</b>	Memorandum of understanding, z.B. Paris MoU
<b>IMD</b>	Institute for Maritime Dynamics in Canada
<b>ISM</b>	International Safety Management Code
<b>ISPS</b>	International Ship & Port Facility Security Code
<b>OCIMF</b>	Oil Companies International Marine Forum
<b>PSC</b>	Port State Control - Hafenstaatenkontrolle
<b>POR</b>	Point of no return im Flutungsfall
<b>RoPax</b>	Ro-Ro Passagierschiffe
<b>SDS</b>	The Working Group on Subdivision and Damage Stability
<b>SEM</b>	Static Equivalent Method
<b>SLF</b>	Sub-Committee on Stability and Load Lines and on Fishing Vessels Safety
<b>SNAME</b>	Society of Naval Architects and Marine Engineers

- SOLAS** Safety of Life at Sea; Konvention zum Schutz des menschlichen Lebens auf See
- SSM** Soft Systems Methodology
- TCG** Transverse Centre of Gravity - Schwerpunkt in Querrichtung
- TPC** Tonne per centimetre immersion - notwendige Masse zur Tiefertauchung des Schiffes um 1cm
- TSA** Total Stability Assessment
- VCG** Vertical Centre of Gravity - Höhengschwerpunkt
- WLA** Water Line Area = Wasserlinienfläche





# Inhaltsverzeichnis

Danksagung . . . . .	ii
Zusammenfassung . . . . .	iii
Abbildungsverzeichnis . . . . .	vii
Tabellenverzeichnis . . . . .	ix
Abkürzungsverzeichnis . . . . .	xii
<b>1 Zum Risiko des Wassereintritts auf RoRo- und RoRo-Passagierschiffen</b>	<b>1</b>
1.1 Einführung . . . . .	1
1.2 Lecksicherheit von RoRo-Passagierschiffen . . . . .	5
1.2.1 Zusammenfassung der RoPax-Flottenanalyse . . . . .	12
1.2.2 Die Unfalluntersuchung zur Ermittlung der Leckwahrscheinlichkeit . . . . .	12
1.2.3 Ursachen eines Leckunfalls . . . . .	13
1.2.4 Schiffbauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Lecksicherheit	21
1.2.5 Der Wassereintritt als physikalischer Prozess . . . . .	25
1.2.6 Zusammenfassung Kapitel I . . . . .	30
<b>2 Untersuchungen zum Wassereintrittsfall</b>	<b>31</b>
2.1 Bauvorschriften für RoRo-Passagierschiffe . . . . .	31
2.1.1 Stockholm-Übereinkommen . . . . .	32
2.1.2 SOLAS 90 Standard . . . . .	36
2.1.3 SOLAS 1990 Passagier-Lecksicherheitsvorschriften . . . . .	36
2.1.4 IMO Resolution A.265(VIII) . . . . .	37
2.1.5 SOLAS Lecksicherheitsvorschriften 2009 . . . . .	37
2.1.6 SOLAS Kap.II-1 (Probabilistische Einheitsrichtlinien) . . . . .	38
2.1.7 HARDER-Project und Anmerkungen zu SOLAS 2009 . . . . .	41
2.1.8 Bauvorschriften im Vergleich . . . . .	43

2.1.9	Formal Safety Assessment von RoRo-Passagierschiffen . . . . .	45
2.2	Der Einfluß des Human Element im WE-Fall . . . . .	48
2.2.1	Die Ausbildung der Schiffsoffiziere nach STCW . . . . .	49
2.2.2	Verantwortung des Flaggenstaates . . . . .	52
2.2.3	Verantwortung des Managements . . . . .	54
2.2.4	Der ISM-Code und Managementverantwortung . . . . .	57
2.2.5	Verantwortung des Kapitäns . . . . .	60
2.3	Ein Soft-Systems Versuch zur Verbesserung der RoRo-Sicherheit . . . . .	62
2.4	Risikobewertung mit Bayes'schen und probabilistischen Netzen . . . . .	69
2.4.1	Ein einfaches BN-Modell zum Wassereinbruch . . . . .	73
2.4.2	Zusammenfassung Kapitel II . . . . .	78
<b>3</b>	<b>Die Simulation als Hilfsmittel zur Bestimmung von Leckstabilität und Schwimmfähigkeit an Bord</b>	<b>81</b>
3.1	Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung . . . . .	81
3.1.1	Die Simulation als Hilfsmittel in Entscheidungsprozessen . . . . .	84
3.1.2	Modellierung und Simulation . . . . .	87
3.1.3	Der Leckfall in der Praxis . . . . .	99
3.1.4	Berechnungsmethoden zur Stabilität und Schwimmfähigkeit	101
3.1.5	Berechnungen zur Leckstabilität am Beispiel einer RoPax-Fähre - Beispielschiff 1 . . . . .	106
3.1.6	Analyse des Leckfalls 2 (Fluten der Abteilungen 12,13 und 14 (partiell) . . . . .	116
3.1.7	Analyse des Leckfalls 3 (Fluten der Abteilungen 12,13 und 14) . . . . .	118
3.1.8	Berechnungen zur Leckstabilität am Beispiel einer RoPax-Fähre - Beispielschiff 2 . . . . .	123
3.1.9	Fehleranalyse zur Leckrechnung . . . . .	136
3.1.10	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Beispielrechnungen . . . . .	142
<b>4</b>	<b>Schulung der Schiffsführung für den Leckfall</b>	<b>145</b>
4.1	Überblick über Notfallmaßnahmen im Wassereinbruchfall . . . . .	145
4.2	Training für den Leckfall: Schulung an Ladungsrechnern . . . . .	146

4.3	Feststellung des Schulungsbedarfs und Weiterbildungsmöglichkeiten . . . . .	147
4.3.1	Fragebogen zur Ermittlung des Schulungsbedarfs . . . . .	147
4.3.2	Interpretation der Fragebogenergebnisse . . . . .	150
4.3.3	Entwurf eines IMO Model Kurses für den Leckfall . . . . .	150
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>153</b>
5.1	Ergebnisse der Arbeit und Rechtfertigung der Hypothesen . . . . .	153
5.2	Realisierbarkeit und Ökonomie der vorgeschlagenen Maßnahmen	156
5.3	Empfohlene weiterführende Forschung zum Wassereinbruchfall .	158
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>159</b>
<b>A</b>	<b>Der Untergang der Herald of Free Enterprise 1987</b>	<b>165</b>
<b>B</b>	<b>Der Untergang der Princess of the Stars 2008</b>	<b>167</b>
<b>C</b>	<b>Entwurf: IMO Model Kurs Stability and Survivability in Damaged Ship Condition</b>	<b>169</b>
C.1	Introduction . . . . .	170
C.1.1	Purpose of the Model Course . . . . .	170
C.1.2	Use of the Model Course . . . . .	171
C.1.3	Lesson plans . . . . .	171
C.2	Part A: Course Framework . . . . .	172
C.2.1	Entry standards . . . . .	172
C.2.2	Course certificate . . . . .	172
C.2.3	Course intake limitations . . . . .	172
C.2.4	Staff requirements . . . . .	172
C.2.5	Teaching facilities and equipment . . . . .	172
C.2.6	IMO References . . . . .	173
C.2.7	Textbooks . . . . .	173
C.3	Part B: Course Outline . . . . .	174
C.4	Part C: Detailed Teaching Syllabus . . . . .	175
C.5	Part D: Instructor Manual . . . . .	177
C.5.1	Damage Stability and Survivability . . . . .	177
C.5.2	Ship design and subdivision of ships . . . . .	178

C.5.3	International Regulations and Guidelines on Subdivision and Stability of ships . . . . .	180
C.5.4	Good seamanship to minimize the risk of sinking in a damage ship condition . . . . .	181
C.5.5	On-board methods for determining the survivability of a damaged ship . . . . .	181
C.5.6	Flooding countermeasures . . . . .	183
C.6	Part E: Guidance on the implementation of model courses . . . . .	186
<b>D</b>	<b>Questionnaire</b>	<b>187</b>
D.1	Damage stability Questionnaire . . . . .	187
D.1.1	Subdivision and other shipbuilding measures to mitigate the adverse effects of a damaged ship . . . . .	189
D.1.2	On-board measures to assess a ships' stability and survivability . . . . .	191
D.1.3	Damage control measures . . . . .	194
D.2	Fragebogen . . . . .	195
D.2.1	Schiffbauliche Maßnahmen zur Lecksicherheit . . . . .	197
D.2.2	Bewertung der Stabilität und Schwimmfähigkeit an Bord . . . . .	199
D.2.3	Maßnahmen zur Leckabwehr . . . . .	202
D.3	Auswertung . . . . .	203
<b>E</b>	<b>Damage Card</b>	<b>209</b>



# Kapitel 1

## Zum Risiko des Wassereinbruchs auf RoRo- und RoRo-Passagierschiffen

### 1.1 Einführung

Diese Arbeit befasst sich mit der Lecksicherheit von Schiffen als einem Teilgebiet der gesamten Schiffssicherheit. Letztere ist eine Teilmenge der Sicherheitswissenschaft, die sich als interdisziplinär versteht [16]. Eine definitionsartige Umschreibung der Sicherheitswissenschaften wird durch die Gesellschaft für Sicherheitswissenschaft e.V. gegeben:

Die Sicherheitswissenschaft ist die Forschung und Lehre von der methodischen und systematischen Analyse und Kontrolle der Risiken speziell der Mensch-Technik-Umwelt-Systeme zum Zwecke der Verringerung der Häufigkeit und Schwere von Schäden und Verlusten mit risikologischen Strategien [15].

Die obere Abbildung <sup>1</sup> veranschaulicht die Eingliederung der Schiffssicherheit in die Gesamtheit der Sicherheitswissenschaften. Dabei stellen die Teilgebiete der

---

1

SOLAS - International Convention for the Safety of Life at Sea

MARPOL - International Convention for the Prevention of Pollution from Ships

FSS Code - International Code for Fire Safety Systems

LSA Code - Life-Saving Appliances Code

UVV See - Unfallverhütungsvorschriften See der See-Berufsgenossenschaft

VTS - Vessel Traffic Service

TSS - Traffic Separation Schemes

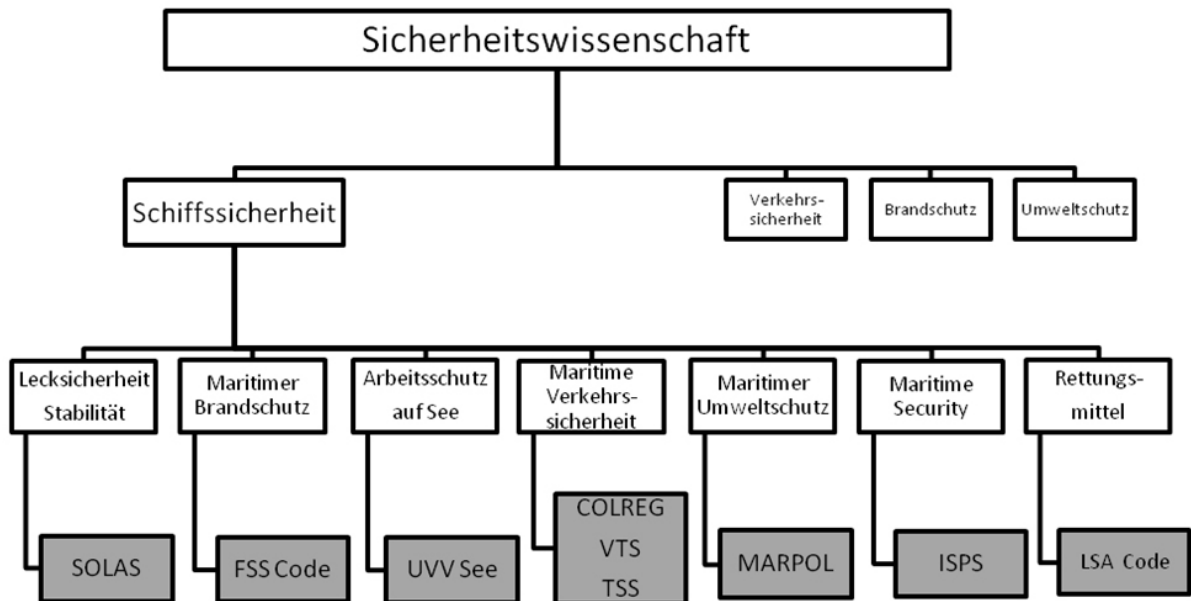


Abbildung 1.1: Schiffssicherheit als Teilgebiet der Sicherheitswissenschaften

Schiffssicherheit wie Maritimer Brandschutz, Arbeitsschutz auf See, Maritime Verkehrssicherheit und andere wiederum eine Teilmenge der Nomenklatur der großen Teilgebiete der gesamten Sicherheitswissenschaft dar, also Brandschutz, Arbeitsschutz, Verkehrssicherheit etc. Das Organigramm umfasst die maritime Sicherheit nicht vollständig, sondern reflektiert lediglich die relevanten Bereiche dieser Arbeit. So sind hier bewusst die Sicherheitsfelder ausgeklammert worden, die nicht vorrangig die Sicherheit des Schiffes oder deren Besatzung und Passagiere betreffen, wie beispielsweise die Ladungssicherheit, Datensicherheit der Ladungsdokumente oder Sicherheit im Umgang mit gefährlichen Betriebsstoffen an Bord. Im Verlauf der Arbeit wird genauer auf die baulichen Schiffssicherheitsmaßnahmen in der Werft und im Konstruktionsbüro sowie auf das Training der Besatzung im Not- und Routinefall eingegangen, aber auch auf die schiffbaulich-rechtlichen Grundlagen, die im obigen Diagramm grau unterlegt dargestellt sind.

Aus der oben angeführten Definition der Sicherheitswissenschaft wird auch deutlich, daß die Risiken und die Risikoanalyse wichtige Bausteine der wis-

---

COLREG - Collision Regulations

ISPS Code - International Ship and Port Facility Security Code



senschaftlichen Betrachtungen darstellen. Mit der Simulation von Leckfällen im Kapitel 3 wird eine solche Risikoanalyse durchgeführt und auf ihre Zweckmäßigkeit hin überprüft. Dabei werden die existierenden rechtlichen Instrumente der internationalen Seeschifffahrt zur Lecksicherheit und Stabilität von Schiffen genauer betrachtet. Diese bilden vor allem das Rückgrat der Arbeit der Internationalen Maritimen Organization (IMO), die auf eine zufriedenstellende Balance zwischen Zweckmäßigkeit und Effizienz der Schiffskonstruktion, Beanspruchung des Schiffskörpers im Seegang und auf ein Höchstmaß an praktikablen Standards in der Schiffs- und Lecksicherheit hinstrebt. Die Notwendigkeit zur Modifikation und Neuformulierung von schiffbaulichen Vorschriften ergeben sich vor allem aus den Schiffsunfällen der Vergangenheit. Neben den bekannten RoPax-Schiffsunfällen wie "Herald of Free Enterprise" (1987), "Jan Heweliusz" (1993), "Estonia" (1994), "Al Salam Boccacio 98" (2008), "Princess of the Stars" (2008), "Teratai Prima" (2009) sind auch zahlreiche weitere Führungslücke in der jüngsten Vergangenheit aufgetreten. Bedenkt man, daß allein das Führungsglück der "Princess of the Stars" etwa 845 Menschenleben gekostet hat und vergleicht dies mit den jährlich etwa 1200 Flugzeugtoten sowie den etwa 1000 tödlich Verunglückten im Eisenbahnverkehr [35], dann wird der Handlungsbedarf zur Verbesserung im Wassereinbruchfall offenkundig. Sowohl IMO, Europäische Maritimen Sicherheitsagentur EMSA und die Industrie unterhalten Datenbanken zur maritimen Unfällen. Der im Juni 2009 veröffentlichte Bericht der EMSA über Schiffsunfälle in Europäischen Gewässern für das Jahr 2008 [9] listet 754 Schiffe, die in 670 Unfällen verwickelt waren. Die Unfallfolgen umfassen Sinken, Kollisionen, Grundberührungen sowie Feuer, Explosionen und andere Unfallarten. Diese vergleichsweise hohe Anzahl von Unfällen allein im europäischen Raum verdeutlicht das Risiko für die hier operierenden Passagier und RoRo-Fähren im Besonderen.

Die heutigen Schiffsbesatzungen unterliegen einer großen Verantwortung für den sicheren Transport von Mensch und Ladung. So wird allein der Wert von einem großen Containerschiff von Schiffsversicherern mit etwa 1 Milliarde Dollar geschätzt. Ein einzelner Container kann Güter im Warenwert von bis zu 60 Millionen Dollar und mehr aufnehmen. Auch die Passagieranzahl der großen Kreuzfahrtschiffbauten wächst. Das 2009 fertiggestellte Kreuzfahrtschiff Genesis

kann mehr als 6400 Personen befördern. Die Besatzungen an Bord müssen im Hinblick auf solche neuen Entwicklungen geschult werden. So erfordern beispielsweise neue integrierte Brückensysteme oder Schiffsantriebe einen geschulten und fähigen Bediener, um einen sicheren Schiffsbetrieb zu gewährleisten. Ebenso müssen die Rettungsmittel und Sicherheitseinrichtungen souverän in ihrer Bedienung und Funktion beherrscht und gewartet werden. Dazu zählen die Passagierevakuierung im Notfall, die Wartung, die Pflege und das Testen der Feuerlöscheinrichtungen, Sicherheitszentralen und Rettungsmittel, aber auch soziale Fähigkeiten wie Mitarbeitermotivation, Mitarbeiterschulungen und die Integration der verschiedenen Kulturen an Bord sind von Wichtigkeit. Ein immer wieder viel diskutiertes Thema ist die Dokumentation, die von den Mitarbeitern in immer größerem Maße verlangt wird. Mit der Vielzahl an neuen Regularien, die die IMO oder Flaggenstaaten verabschieden oder die auf die Initiative der Europäischen Kommission zurückgehen, wird dem Nautiker ein hohes Maß an Regelwissen auferlegt. Zahlreiche Sonderabkommen erschweren dies noch zusätzlich, beispielsweise die Regionalen Abkommen zum Befördern von Gefahrgut<sup>2</sup> (z.B. Riga-Memorandum für die Ostsee).

John Waite, Direktor des renommierten Unternehmens Marine Investigation & Survey Services hat auf einer Lloyd's Tagung im Frühjahr 2008 auf die mangelnde Aufmerksamkeit der Industrie in Schiffsstabilitätsfragen hingewiesen. Seine Bedenken äußerte Waite vor allem im Umgang mit den tragischen Fällen der Vergangenheit die im Wesentlichen auf das Eindringen von Leckwasser und das Verrutschen von Ladung zurückzuführen waren. Schon eine Schlagseite von mehr als 22 Grad, so Waite, führt zum Ausfall der Generatoren an Bord. Besonders markant sind die Vielzahl von fehlerbehafteten Ship Stability Booklets, die nach Stabilitätsunfällen von Waite und seinen Mitarbeitern analysiert wurden [44].

Die unzureichende Stabilitätsinformationen sowie deren unangemessene Aufbereitung, die Seeunfälle der Vergangenheit, verbunden mit der Belastung der Nautiker im Kurzstreckenverkehr auf Ro-Ro-Passagierschiffen sowie die zu ver-

---

<sup>2</sup>Obwohl diese Abkommen primär dem Befrachter, Ablader oder Ladungseigentümer den Transport gefährlicher Güter vereinfachen, bedeuten sie für die Besatzung einen Mehraufwand. Es handelt es sich um Sondervorschriften, abweichend von dem international verbindlichen IMDG-Code

mutende unzureichenden Ausbildung des Schiffspersonals im Falle eines Wassereintruchs bilden die Grundlage für nachfolgende Hypothesen:

- 1. Das Schiffsführungspersonal an Bord von RoRo und RoRo-Passagierschiffen ist nicht ausreichend geschult, trainiert und mit den notwendigen Bordmitteln ausgestattet, um in einem Leckfall<sup>3</sup> eine hinreichend genaue Analyse der Schwimmfähigkeit und Stabilität des Schiffes vornehmen zu können.**
- 2. Die derzeit an Bord von RoRo- und RoRo-Passagierschiffen verwendeten Hilfsmittel zur Einschätzung der Schwimmlage und Stabilität nach einem Leckfall sowie die an Bord befindlichen Lecksicherungsmittel sind nicht ausreichend, um dem Risiko eines schweren Unfalls mit Wassereintruch gerecht zu werden.**

In den folgenden Abschnitten wird der versuch unternommen, die hier aufgestellten Hypothesen wissenschaftlich zu beweisen.

## **1.2 Lecksicherheit von RoRo-Passagierschiffen**

Um das Risiko für einen bestimmten Schiffstyp abschätzen zu können und aus der anschließenden Risikoanalyse konkrete Vorschläge zur Minimierung des Risikopotenzials zu formulieren, wurde im Folgenden der Schiffstyp RoRo und RoPax näher untersucht. Der Autor bediente sich hierzu der Datenbank von Clarkson's Shipping Intelligence Network, einem führenden Schifffahrtsanalytischen. In der unten stehenden Tabelle sind alle bei Clarkson's registrierten RoRo, RoPax und Passagierschiffe aufgelistet. Fahrzeugtransporter und Passagierschiffe werden in dieser Arbeit nicht untersucht, ungeachtet einer Reihe von Gemeinsamkeiten mit RoRo und RoPax-Schiffen im Wassereintruchfall.

Mit der nachfolgenden Analyse der RoRo- und RoPax-Flotte soll ein Überblick über die Bestände und deren Alter gegeben werden. Eng mit dem Alter der Schiffe sind nämlich die Bauvorschriften verbunden, die sich im Laufe der Jahre

---

<sup>3</sup>Ein Leckfall ist gegeben, wenn ein Schiff unbeabsichtigt Wasser aufnimmt. Dazu zählt auch das Fluten im Intaktfall, z.B. bei geöffneter Bugklappe.

stark verändert haben. Im 2.Kapitel wird dann auf diese Stabilitäts- und Bauvorschriften näher eingegangen. Nachweislich sind ältere Schiffe auch stärker in Unfälle verwickelt als neuere. Zu diesem Ergebnis kam der jüngste Bericht von Lloyds Register-Fairplay Research [53]. Allerdings gibt es diesem Report zufolge auch eine Korrelation zwischen der Größe der Schiffe und der Schwere des Unfalls. Die Lloyds Register-Fairplay-Analysten haben zudem aufgezeigt, daß die Unfallzahlen seit 2004 jedes Jahr stetig gestiegen sind. Dies betrifft sowohl die Unfälle selbst, die 2004 noch 1216 betrugten und bis 2008 auf 1974 anstiegen, als auch die Anzahl verunglückter Menschen an Bord. 2004 verloren 591 Menschen ihr Leben auf See, 2008 waren es 1045. Im Jahre 2006 erreichte die Zahl der Menschenopfer ihren Höchststand mit 1,747 Toten. Dieser Anstieg läßt sich vorwiegend auf die beiden großen Führungslücke von 2006 zurückführen, namentlich die der Al-Salam Boccaccio 98 und der Senopati Nusantara.

Die Notwendigkeit zu einer eingehenden Untersuchung zu den am meisten gefährdeten Schiffe, den RoRo-Passagierfähren, ist also gegeben. Im Folgenden soll kurz die derzeitige Flotte der fahrenden Schiffe untersucht werden:

### RoRo and Passenger Register

Ship type	Number*
Pure car Carrier (PCC)	685
RoRo Freight	937
RoPax	128
Passenger/car	1135
Passenger	232
Cruise	334
Total:	3451

\*Quelle: www.clarksons.net, accessed 11 Februar 2009

Tabelle 1.1: Die Flotte der Autofähren, RoRo, RoPax und Passagierschiffe

Aus der Tabelle 1.1 geht hervor, daß derzeit insgesamt 1263 RoPax-Schiffe existieren. Dazu zählen auch die Passenger/Car Ferries, die hier als Extra-Kategorie erfasst worden sind, obwohl Schiffe wie die Scandlines-Fähren "Prins Joachim", "Deutschland", "Mecklenburg-Vorpommern" ebenso als RoPax geführt werden

könnten. Clarkson's unterscheidet aber zwischen Passenger/Car Ferry (Clarkson-Typbezeichnung: Typ 850) und RoPax-Ferry (Clarkson-Typbezeichnung: Typ 680). Ersterer Typ nimmt mehr als 50 Passagiere auf und hat erfüllt folgende Ungleichung:

$$\text{Passagierzahl} > \text{Lademeter} * 0.25 .$$

Bei den RoPax-Fähren (Typ 680) hingegen gilt diese Ungleichung mit entgegengesetztem Vorzeichen aber gleichfalls mit der 50+ Passagieranzahl. Die Statistik von Clarkson's ist auch anderweitig nicht eben leicht nachzuvollziehen: So sind die Fährschiffe der Superfast-Serie einmal als Fast PCFerry, ein anderes mal als Passenger Car Ferry gelistet, obwohl die Schiffe nahezu baugleich sind. Der Autor hat unter Hinzunahme der Clarkson-Kategorien Pass/Car F., Ro-Ro, RoPax, Fast Pass, Fast PassCat, Fast PCCat, Fast PCFerry, Pass/Cargo, Pass/Cat, Ro-Ro/Cnt, Ro-Ro/Lo-Lo und Ro-Ro/Pass eine Gesamtsumme von 2278 Schiffen errechnet. Damit sind also auch Hochgeschwindigkeitskatamarane erfasst, nicht aber Schiffe unter 100 Tonnen Wasserverdrängung.

Das weltweite Altersprofil von RoRo-Schiffen ist in der unteren Tabelle dargestellt. Daraus geht hervor, daß etwa 51% der gesamten RoRo-Flotte älter als 19 Jahre ist. Analysiert man das Altersprofil der weiter oben klassifizierten 2278 RoRo-Schiffe, dann kommt man zu dem Ergebnis, daß 1156 Schiffe davon vor oder genau im Jahre 1987 in Dienst gestellt worden sind. In jenem Jahr ist die Herald of Free Enterprise gesunken und im Anschluß daran fand eine grundlegende Revision der schiffbaulichen Gesetze statt. Die Mehrheit der derzeit fahrenden RoRo-Schiffe ist also schon zu Zeiten des Unfalls der Herald of Free Enterprise unterwegs gewesen. Obwohl eine Reihe von Vorschriften für existierende Schiffe zur Erhöhung der Sicherheit von RoRo-Schiffen von der IMO erlassen worden sind, (siehe Analyse des Unfalls der Herald of Free Enterprise im Anhang A) zeigen die tragischen Unfälle der Vergangenheit, daß dringender Handlungsbedarf zur Erhöhung der Schiffssicherheit besteht. Lediglich jedes fünfte Schiff ist jünger als 9 Jahre.

Beschränkt man sich auf die Schiffe, die zum Teil durch ihr Fahrtgebiet<sup>4</sup> im

---

<sup>4</sup>Der Autor hat bei der Analyse die Flagge berücksichtigt und zudem die Schiffe ausgemacht, die zwar die so genannte Flag of Convenience führen, aber nachweisbar im europäischen Raum

## RoRo age profile

age category	Number of ships	%
<=1980	399	32%
1981 - 1990	240	19%
1991 - 2000	354	28%
2001 - 2009	270	21%
Total:	1263	

\*Quelle: [www.clarksons.net](http://www.clarksons.net), accessed 11 Februar 2009

Tabelle 1.2: RoRo age profile

Nord-und Ostseeraum bedingt, europäischen Standards genügen müssen, dann zeichnet sich auch hier kaum ein besseres Bild. Die Anzahl der Schiffe die älter als 29 Jahre sind, beträgt immer noch 24%. Knapp Dreiviertel der Flotte (74%) ist schon seit 2000 im Dienst.

## RoRo age profile (Europe)

age class	Number	%
<=1980	166	24%
1981 - 1990	128	19%
1991 - 2000	209	31%
2001 - 2009	177	26%
Total:	680	

\*Quelle: [www.clarksons.net](http://www.clarksons.net), accessed 11 Februar 2009

Tabelle 1.3: RoRo age profile Europe

Die Tabelle 1.4 verdeutlicht, daß etwa 41% der Flotte Passagierkapazitäten von 500 bis 1000 besitzt. Die hier zugrunde gelegte Gesamtzahl der RoPax-Schiffe beträgt nur noch 1028, weil für die fehlenden 235 Schiffe keine Passagierzahlen vorliegen. Dennoch wird deutlich, daß mehr als 78% der Schiffe über 500 Passagiere befördern können. Daß damit einhergehende Gefährdungspotenzial haben [55] und [7] separat analysiert. Ersterer hat bei der Untersuchung von 42 Schiffsunfällen aus den Untersuchungsberichten, die an der World Maritime University

operieren

## Passenger capacity

---

Passenger capacity	Number of ships
<=20	2
100	9
200	19
500	194
1000	425
1500	205
>1500	174
total	1028

---

\*Quelle: [www.clarksons.net](http://www.clarksons.net), accessed 11 Februar 2009

Tabelle 1.4: Passenger capacity

in Schweden zu der Zeit vorlagen, herausgefunden, daß sich 16 dieser Unfälle auf RoPax-Schiffen ereigneten. Obwohl die Unfallursachen sehr unterschiedlich gewesen sind<sup>5</sup>, so verdeutlicht es doch, wie stark dieser Schiffstyp, und damit die hohe Anzahl der Personen an Bord, gefährdet ist. Betrachtet man die deutsche RoRo- und RoPax-Flotte (vgl. 1.5), dann kommt man zu dem Ergebnis, daß das Durchschnittsalter 15.8 Jahre und damit deutlich, aber nicht erheblich jünger ist als das Durchschnittsalter der Gesamtflotte der knapp 2200 Schiffe der RoRo/RoPax-Flotte. Dieses liegt bei 21.4 Jahren. Mit einer Gesamtpassagierkapazität von über 12300 ist die deutsche RoPax-Flotte nicht unwesentlich gefährdet, berücksichtigt man die Untersuchungen von [55] und anderen Analysten.

### RoRo und RoPax-Neubauprogramm

Clarkson's Register hat insgesamt 171 Neubaufträge (siehe Tabelle 1.6 in der Datenbank<sup>6</sup> aufgenommen. Dazu zählen RoRo, RoPax und Passenger/Car Ferries. Alle diese Neubauten sind im Zeitraum 2009-2013 abzuliefern, wobei 70 Schiffe bereits 2009 in Fahrt gekommen sind. Für 2009 bedeutete dies ein Wachs-

---

<sup>5</sup>Hier wurden Strandung, Kollision, Grundberührung, Kentern u.a. Ursachen gleichermaßen berücksichtigt

<sup>6</sup>\*Quelle: [www.clarksons.net](http://www.clarksons.net), accessed 11 Februar 2009

## RoRo and RoPax Ships flying the German Flag

Ship type	Name	Passenger capacity	Cargo [lm]	dwt	built
Pass/Car F.	RoPax1	102		377	1993
Pass/Car F.	RoPax2	600		660	2005
Pass/Car F.	RoPax3	744		7200	2001
Pass/Car F.	RoPax4	744		6802	2001
Pass/Car F.	RoPax5	900		7800	1996
Pass/Car F.	RoPax6	900		2400	1997
Pass/Car F.	RoPax7	900		2400	1997
Pass/Car F.	RoPax8	975		331	1992
Pass/Car F.	RoPax9	1000		3100	1989
Pass/Car F.	RoPax10	1190		350	1995
Pass/Car F.	RoPax11	1413		300	2002
Pass/Car F.	RoPax12	1640		4150	1981
RoPax	RoPax13	84	1800	11300	1990
RoPax	RoPax14	400	2200	6176	1989
RoPax	RoPax15	114	3200	11682	1995
RoPax	RoPax16	300		6600	1995
RoPax	RoPax17	300		6600	1995
Ro-Ro	RoPax18	n/a	500	6494	1988
Ro-Ro	RoPax19	12	2170	13030	1982
Ro-Ro	RoPax20	12	2170	12800	1990
Ro-Ro	RoPax21	12	2240	11645	1981
Ro-Ro	RoPax22	n/a		4500	1996
Total:		12342		Average age:	15.8 years

\*Quelle: [www.clarksons.net](http://www.clarksons.net), accessed 11 Februar 2009

Tabelle 1.5: German Flag ships



## RoRo and RoPax Order Book

Year	Number of ships
capacity	
2010	73
2011	57
2012	29
total	159

\*Quelle: [www.clarksons.net](http://www.clarksons.net), accessed 21 April 2010

Tabelle 1.6: RoRo and RoPax Order Book

## Order Book by ship type

ship type	Number of ships
capacity	
Fast PCCat	8
Pass/Car Cat	1
RoPax	64
RoRo	50
Ro-Ro/Cnt	25
Ro-Ro/Lo-Lo	11
total	159

\*Quelle: [www.clarksons.net](http://www.clarksons.net), accessed 21 April 2010

Tabelle 1.7: RoRo and RoPax by type

tum der existierenden Flotte von 7.8%. Im Durchschnitt hat dieses Neubauprogramm eine Tragfähigkeit (dwt) von 10305 Tonnen, verglichen mit 5584 Tonnen der existierenden Flotte<sup>7</sup>. Dies bedeutet eine Ladekapazitätzunahme von 85%. Damit wächst die Flotte also nicht nur zahlenmäßig, sondern auch in der Größe.

### 1.2.1 Zusammenfassung der RoPax-Flottenanalyse

Die derzeitige Flotte von RoRo und RoPax-Schiffen beträgt 2190 Schiffe und hat ein Durchschnittsalter von 21.4 Jahren. Allein 2009 wächst die Flotte um 171 Schiffe. Die durchschnittliche Tragfähigkeit steigt um 4721t auf 10305t. Aus dieser Analyse geht hervor, daß 2 grundlegende Herausforderungen an die Besatzungen derzeit und in naher Zukunft bestehen werden. Dazu zählt das immer noch hohe Durchschnittsalter der Fähren und damit deren veralterter baulicher Standard. Zum anderen erhöht sich das Risiko für Passagiere und Schiffe, da durch das rasante Wachstum die Absolutunfallzahlen (Unfalltote beziehungsweise Versicherungsschäden) ebenfalls steigen werden, wenn es zu einem Unfall kommt. Die Notwendigkeit zur Untersuchung dieses Schiffstyps sind also durchaus gerechtfertigt, besonders vor dem Hintergrund der schwerwiegenden Verluste der Vergangenheit.

### 1.2.2 Die Unfalluntersuchung zur Ermittlung der Leckwahrscheinlichkeit

Erst mit dem verpflichtend werdenden *Code of the International Standards and Recommended Practices for a Safety Investigation into a Marine Accident or Marine Incident* [31] wird den Flaggenstaaten die Pflicht auferlegt, schwere Unfälle zu untersuchen. Dieser revidierte Code wurde auf der 84. Sitzung des Maritime Safety Committees verabschiedet und tritt durch mit den Änderungen im SOLAS Kapitel XI-1/6 am 1. Januar 2010 in Kraft. Aber auch in diesem Code wird im Kapitel 6 lediglich die Notwendigkeit zur Untersuchung von VERY SERIOUS MARINE CASUALTIES festgelegt, also sehr schweren Seeunfällen. Ein Leckfall ist aber nicht immer als schwerer Seeunfall zu klassifizieren und aus diesem Manko heraus, ist auch in naher Zukunft nicht mit einer besseren statistischen

---

<sup>7</sup>Die Tragfähigkeitsanalyse beruht auf 2151 Schiffen der existierenden Flotte und 155 der Schiffe im Bau. Für die restlichen Schiffe des Datensatzes lagen keine dwt-Informationen vor.

Unterfütterung zu rechnen. Dennoch versuchen verschiedene kommerzielle Anbieter, aber auch die IMO, mit Unfalluntersuchungsdatenbanken die Risikopotenziale aufzudecken. Mit dem Global Integrated Shipping Information System (GISIS), einer webbasierten Datenbank der IMO, können analysierte Unfallberichte statistisch ausgewertet werden. Der Autor hat in seinen Untersuchungen aber herausgefunden, daß viele Berichte nur sehr lückenhafte Angaben zu Leckunfällen machen. So sind in den meisten dokumentierten Fällen keine Angaben zur Leckgröße oder Lecktiefe gemacht worden. Krüger und Kehren [38] verweisen in ihrem Papier zur Monte-Carlo Simulation auf die geringe Anzahl der analysierten Unfälle zur Formulierung der Bauvorschriften für Tanker nach MARPOL Regel 15F(5). Dort wurden lediglich 52 Kollisionen und 63 Grundberührungen analysiert.

Als einer der größten kommerziellen Anbieter gesammelter Unfallstatistiken hat sich Lloyd's Register / Fairplay entwickelt. Aber auch hier gilt Gleiches: Die bereitgestellten Informationen sind zu mangelhaft um eine Aussage zum Leckrisiko treffen zu können, da lediglich die Information Kollision/Wassereinbruch als Unfallursache aufgenommen wird. Eine sinnvolle Leckstatistik muß sich aber an die geforderten Informationen von dem SLF-Unterausschuss der IMO halten, wie sie in der Damage Card aufgelistet sind. Annex 5 des gemeinsamen Circulars MSC-MEPC.3/Circ.1 beinhaltet die Damage Card (siehe Anhang E).

### 1.2.3 Ursachen eines Leckunfalls

Ganz allgemein läßt sich festhalten, daß ein Leckfall dann vorliegt, wenn unbeabsichtigt Wasser in das Schiffsinne eindringt und damit Reserveauftrieb beansprucht. Neben den im Nachfolgenden genannten Ursachen für Leckfälle sind zur Einschätzung der Schiffssicherheit weitere Aspekte zu berücksichtigen. Bei großen Krängungen beispielsweise ist mit Ausfall der Maschinenanlage und damit der Manövrierfähigkeit zu rechnen. Bei ungünstigen Wetterverhältnissen kann es dann zur weiteren Wasseraufnahme kommen<sup>8</sup>. Die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Schiffsverluste und schwerer Unfälle auf See ist

---

<sup>8</sup>Ein quer zur See liegendes Fahrzeug im manövrierunfähigen Zustand wird bei starken Rollbewegungen in der Regel bedeutend mehr Wasser aufnehmen als ein den Wellen langsam gegenanstampfendes Fahrzeug.

seit dem Titanic-Unglück weit vorangeschritten. Eine Reihe von schiffbaulichen Gesetzen, allen voran die Bestimmungen der SOLAS-Konvention, haben einen entscheidenden Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit und Überlebensfähigkeit von Schiffen im Leckfall geleistet. Dennoch kann die Vielzahl der Resolutionen, Richtlinien, Codes und Konventionen die die Internationale Schifffahrtsorganisation (IMO) bisher zur Sicherheit von Schiffen verabschiedet hat nicht darüber hinwegtäuschen, daß auch ein modernes Schiff nach wie vor nicht unsinkbar ist. Die Vereinigung skandinavischer Marineversicherer CEFOR hat in Auswertung ihrer Zahlen einen Anstieg der Schadenssummen um 86% über die letzten 5 Jahre verzeichnet. Die Kosten aus Strandungen und Kollisionen haben dabei die größten Steigerungsraten. CEFOR ist überzeugt, daß die engültige Analyse der Zahlen auch auf den gestiegenen Fehleranteil des Faktors Mensch zurückzuführen ist [12].

Auch die Internationale Marine Versicherungsunion IUMI zeigt sich besorgt, speziell wenn es um den Anstieg bei den Totalverlusten geht. Den Unterlagen der IUMI zufolge, belaufen sich die Zahlen für 2007 auf 82 Verluste, verglichen mit 67 im gleichen Zeitraum des Vorjahres<sup>9</sup>.

Das im Leckfall beschädigte Schiff wird durch die unsymmetrische Verteilung der einströmenden Wassermassen in der Regel eine Krängung erfahren. Selbst bei genügend großem Hebelarm wird ein Schiff unweigerlich kentern, wenn die Wassermassen das oberste durchgehende Deck überfluten und ungehindert in Schiffssöffnungen wie Lüfter, offene Schotten oder Luken eindringen<sup>10</sup>. Bei Vorschiffs- oder Achterschiffskollisionen kann die Schlagseite anfänglich geringer ausfallen als bei Seitenschiffskollisionen, da schiffbaulich bedingt, die Krängungsmomente geringer sind. Die Lecks müssen nicht immer durch Kollisionen oder Grundberührungen entstehen, sondern können auch absichtlich herbeigeführt werden, d.h. durch terroristische Aktionen wie Über- oder Unterwasserangriffe von außen, aber auch durch Platzieren von Sprengsätzen im Schiff. Ob-

---

<sup>9</sup>Diese Zahlen beziehen sich auf die bisherige Auswertung mit Stand Januar 2008 und repräsentieren den Stand der Untersuchungen bis zu diesem Zeitpunkt. So stiegen bis zum März 2007 die Zahlen für 2006 weiter und erreichten den Wert 112. Gleiches Verhältnis erwartete man auch für 2007

<sup>10</sup>Um dieses zu verhindern, wurden international verbindlich festgelegte Regelungen geschaffen, die in der Load Line Convention niedergeschrieben worden sind und unter anderem Mindestfreibordbestimmungen enthalten.

wohl eher selten, können solche Attacken das Schiff innerhalb kürzester Zeit zum Sinken bringen. Der Schiffsunfall der Al-Salam Boccaccio 98 (2006) hat gezeigt, daß auch Löschwasser auf dem RoRo-Fahrzeugdeck zum Totalverlust führen kann, also auch dieser Aspekt in die Evaluierung der Sinksicherheit einfließen muss. Ein immer wieder eigenständiges Forschungsthema ist das Verrutschen von Ladung. Das im Februar 2008 in schwerer See auf Grund gelaufene RoRo-Schiff *Riverdance* geriet in Seenot, weil Ladung verrutschte und das Schiff 60° Schlagseite bekam. Im Leckfall ergibt sich bei Beschädigung der Seitenwände immer eine Schlagseite und daraus resultierend erhöhte Beanspruchung der Laschinge an Bord. Nicht immer aber wird Ladung gelascht. Die im Kurzstreckenverkehr operierenden RoRo-Schiffe, beispielsweise im England-Europa-Festland - Verkehr, mit PKW-Ladungen bedürfen oft keiner Laschinge, wenn die Wetterbedingungen als gut eingeschätzt werden. Im Leckfall jedoch, kann dies verheerende Folgen haben.

Ein nach dem Titanic -Unglück fast wieder vergessener Aspekt der Schwimmfähigkeit ist die Eisklasse von Schiffen. Mit dem Untergang des MS "Explorer" stellen sich Experten die Frage, ob ein Befahren jenseits der Eisgrenze für Passagierschiffe ausreichend sicher ist. Die höchste Eisklasse einer Klassifikationsgesellschaft ist keineswegs mit Eisbrecherqualitäten zu vergleichen; besonders im Falle glazialer Eismassen. Verschlimmernd im Falle der Explorer kam hinzu, dass man nur offene Rettungsboote zur Evakuierung zur Verfügung hatte. Auch hier stellt sich die Frage, was gewesen wäre:

- wenn die Wetterbedingungen nicht so gut gewesen wären;
- wenn die Rettungskräfte nicht so früh eingetroffen wären oder
- wenn das Schiff schneller gesunken wäre

Nicht unberücksichtigt bleiben darf ein Leckfall, der durch die Ladung oder die Anlagen auf dem Schiff selbst verursacht wird. Auf dem Kühlschiff Horncliff ist durch übergegangene Kühlcontainer im Januar 2008 ein 30cm-Loch in die Backbord-Bordwand gerissen worden. Durch Abpumpen von Ballast hat die crew dieses Leck aber über der Wasserlinie halten können [43]. Neben den vorher genannten Gründen sei auch die Ermüdung der Schiffskonstruktion, auch als 'structural failure' bezeichnet erwähnt, ebenso das unbeabsichtigte Flu-

ten durch Fehlbedienungen des Ballastwasser- oder Lenzsystems. Das Blockdiagramm 1.2 zeigt die komplexen Zusammenhänge, die zur Bestimmung der Lecksicherheit in Betracht gezogen werden sollten.

Abbildung 1.2 zeigt aber auch mögliche Ursachen für Totalverluste von Schiffen. Das Beispiel Brand sei hier nur vollständigkeithalber erwähnt, denn das Augenmerk richtet sich auf die Fälle mit unbeabsichtigter Wasseraufnahme. Deshalb wird Löschwasser als Ursache eines Schiffsunterganges<sup>11</sup>, hier unter der Kategorie *Stabilitätsunfall* geführt. Demnach unterscheiden sich Schiffsbrände oder Explosionen, die ohne Wasseraufnahme verliefen von den hier untersuchten Unfallursachen<sup>12</sup>.

Aus der Übersicht geht klar hervor, daß Kollisionen nur eine Teilmenge der verlustgegangenen Schiffe ausmachen. Deshalb ein kurzer Abriss zu den anderweitig aufgeführten Ursachen:

Grundberührung: Ist die Beschädigung des Schiffskörpers durch den Seeboden<sup>13</sup>

Fehlbedienung des Lenzsystems Hier ist das Fehlbedienen des gesamten Schiffsröhrleitungssystems mit Außenbordsverbindung gemeint. Auch das unsachgemäße Verschließen solcher Systeme nach Reparatur- oder Wartungsarbeiten fließt hier mit ein. Besonders bei Seefiltern oder Arbeiten am Seekasten besteht die Gefahr des unbeabsichtigten Flutens.

Überbeanspruchung der Schiffskonstruktion: Diese Art Schiffsunfall ist besonders häufig in der Tank- und Schüttgutschiffahrt aufgetreten. Die Problematik hier liegt in den hohen Laderaten, die den Ballastkapazitäten der Bordanlagen überlegen sind, so daß sich starke Biegemomente entwickeln. Hinzu kommt, daß oftmals nur

---

<sup>11</sup> Wie im Falle der im Februar 2006 gesunkenen "Al-Salam Boccaccio 98"

<sup>12</sup> Totalverlust wegen Brand und Explosion war beispielsweise die "Hanjin Pennsylvania" (2002)

<sup>13</sup> Die Beschaffenheit des Seegrundes ist für das Ausmaß der Beschädigung ausschlaggebend; so ist sandiger oder morastiger Grund bedeutend ungefährlicher als felsiger oder steiniger.

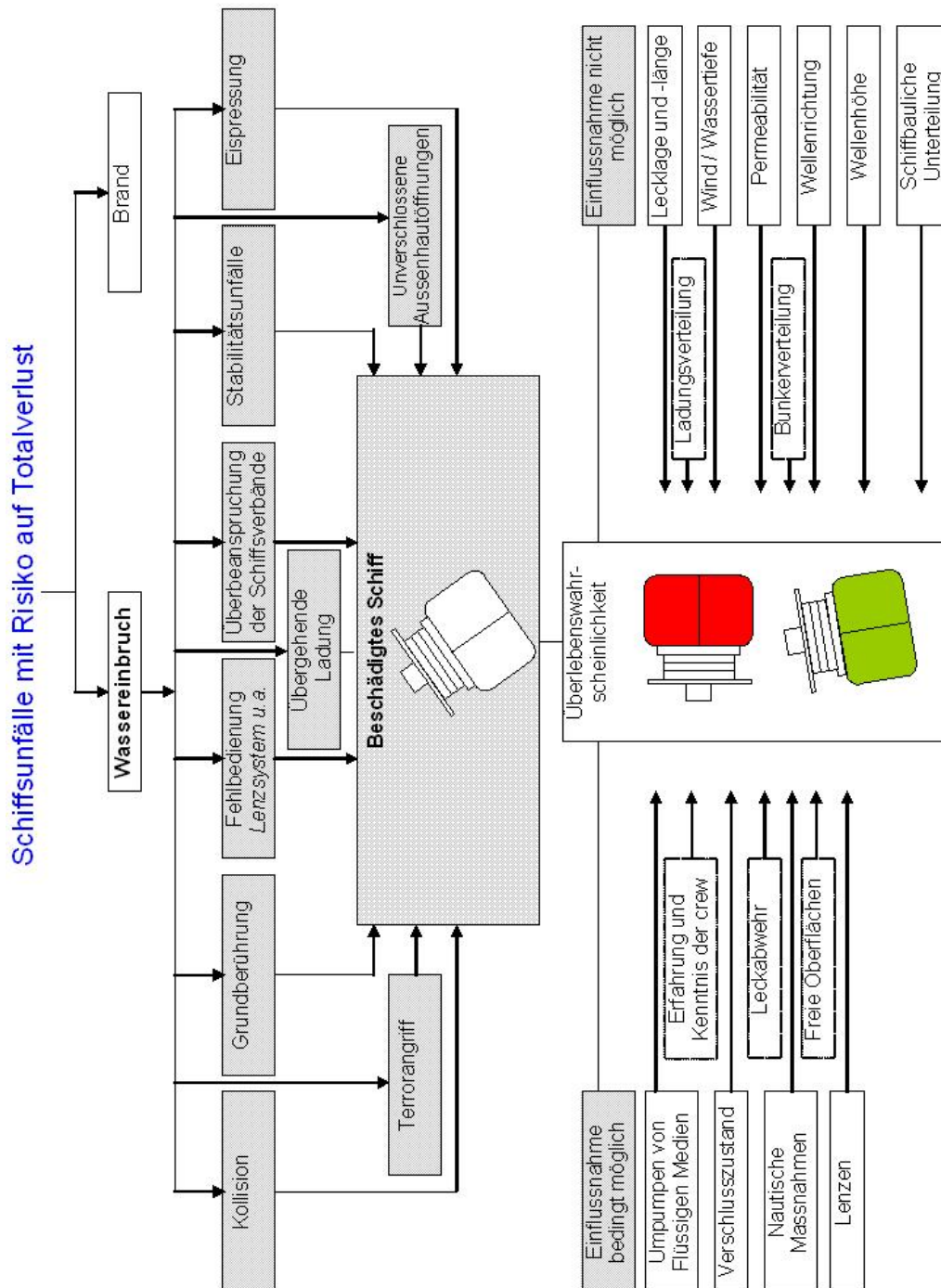


Abbildung 1.2: Schiffsunfälle mit Risiko auf Totalverlust

ein Laderaum oder Ladetank zur Zeit bedient wird und die Schiffskonstruktion unebenmäßig belastet. Besonders in den 70er Jahren, wo die Stabilitätsberechnung oftmals noch mittels unzureichender softwaretechnischer Unterstützung erfolgte, lag die Unfallrate bei diesen Schiffstypen besonders hoch. Obwohl nicht explizit in die Bezeichnung eingeflossen, soll hier auch die Problematik der Materialermüdung verstanden werden, auch als "structural failure" bezeichnet. Hier sei beispielhaft das Containerschiff "MSC NAPOLI" [46] genannt. Dieser Schiffsunfall lässt sich zu einem großen Teil dem fehlerhaften Design zuordnen. Die Klassifikationsgesellschaft hat für diesen Schiffstyp versäumt, die Knickbeanspruchung des Schiffes zu untersuchen. Es wurde keine Kalkulation der Knickbeanspruchung achterlich des Mitte Schiffsbereichs vorgenommen, weil zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Napoli solche Untersuchungen nicht durchgeführt wurden. Einsatzbedingt kam es dabei oftmals zu dem Fall, daß das Schiff auf einem Wellenberg hohen Knickbelastungen ausgesetzt war. Damit wirkten große Massen vor und achterlich des Auflagepunktes. Mittlerweile werden Knickbeanspruchungen untersucht und folglich die betroffenen Spantenbereiche verstärkt beplattet.

Stabilitätsunfälle: Hierunter fällt die gefährliche Krängung des Schiffes bis zum Kentern aufgrund mangelnder Stabilität. Die Ursachen dafür können unterschiedlich geartet sein. Dazu zählen 'Falsche Gewichtsdeklaration eines Kollas, 'menschliche Fehleinschätzung' oder Unwissenheit bei der Bestimmung der Stabilitätskriterien für den konkreten Ladefall sowie das Verrutschen von Ladung und dem damit einhergehenden zusätzlichen krängendem Moment. Stabilitätsmindernde Effekte durch Wind und See können ein intaktes und den Vorschriften der Intaktstabilität entsprechendes Schiff dennoch kentern lassen. Neben den so genannten "rogue waves", also gigantischen Wellen von denen man glaubt sie entstehen aus Überlagerungen verschiedener Wellenbilder, rückt ein weiteres Thema vermehrt in den Mittelpunkt der Be-



trachtungen: Es sind die Effekte der Parametrischen Resonanz und des Synchronen Rollens. Diese werden maßgeblich verantwortlich gemacht für die starken Verluste von Containerladungen auf großen und sehr großen Containerschiffen. Als synchrones Rollen bezeichnet man die Anregung des Schiffes durch querab einkommende Wellen. Diese haben eine Frequenz, die annähernd der eigenen Rollfrequenz entspricht. [32]

Übergehen von Ladung: Das Übergehen von Ladung, meist einhergehend mit unzureichender Ladungssicherung, ist ein wenig beachtetes und untersuchtes Unfallrisiko. So regeln nach Aussage der Zeitschrift *Cruise and Ferry* nur sehr wenige Staaten die Ladungssicherung auf ihren Schiffen [49]. In derselben Publikation wird darauf aufmerksam gemacht, daß selbst in Ländern, in denen die Ladungssicherung reguliert wird, schwerwiegende Mängel festgestellt werden können. So ergab eine schwedische Untersuchung von Trailern in Gothenburg, daß die Mehrzahl der gelaschten Trailer nur unzureichend für den Seetransport gesichert wurde. Dabei ist es nicht selten, daß die CTUs unsachgemäß durch die Speditionen beladen wurden und sich damit außerhalb des Einflussbereichs des Schiffes befanden. Ein einziger unzureichend gelaschter Trailer kann ausreichen, um eine kettenartige Verschiebung der Gesamtladung zu verursachen.

Eispressung: Diese Art Unfälle in den polaren Gewässern sind ein zunehmendes Problem, da Passagierschiffverkehrsunternehmen auch diese Gebiete vermehrt ansteuern. Eispressung ist jedoch zu unterscheiden von Kollisionen mit Eismassen.

Terrorangriff: Obwohl Terrorismus auf See in den vergangenen Jahren nicht zum Totalverlust von Schiffen führte, sind doch eine Reihe Anschläge verübt worden, die schlußendlich in der Verabschiedung des Amendments zu SOLAS (SOLAS Kapitel XI-2) und des ISPS- Codes mündeten. Beispielhaft seien hier genannt die Anschläge und Entführungen auf die *ACHILLE LAURO* (1985), auf die Tanker *PETRO RANGER* (1998) und *ALONDRA RAIN-*

BOW (1999) sowie auf USS COLE (2000) und LIMBURG (2002). Für einen längeren Zeitpunkt ist die maritime Terrorismusgefahr in den öffentlichen Diskussionen in den Hintergrund geraten, doch die schlagartige Erhöhung von Piraterieattacken vor der Küste Somalias und der Region des Westindischen Ozeans sind Experten der Ansicht, daß mit den Lösegeldzahlungen an die Piratengruppen auch Gelder an die militante Al-Shabab gehen, die wiederum terroristische Ziele verfolgen könnte. Im März 2010 wurde auch für die sicherer gewordenen Malakka-Straße eine Terrorwarnung [70] herausgegeben. Die Marine Singapurs hat diese mit dem Hinweis, daß eine Terrorismusgruppe Attacken auf Öltanker in der Malakka-Straße plane, an die Schifffahrt weitergeleitet. In Zusammenarbeit mit der kürzlich gegründeten Counter Terrorism Implementation Task Force (CTITF) der Vereinten Nationen versucht die IMO die Gefahren, die mit dem Transport von Massenvernichtungswaffen über See betreffen, zu untersuchen.

Aus der Abbildung 1.2 geht weiterhin hervor, daß mit der Beschädigung des Schiffsrumpfes eine Reihe von Faktoren die Überlebensfähigkeit der Schiffskonstruktion beeinflussen. Dazu wird hier unterschieden, ob es sich dabei um Faktoren handelt, die von der Besatzung beeinflussbar sind oder nicht. So hat die Bordbesatzung keinen Einfluss auf die Lecklänge oder -lage, ebenso wenig auf die Wind- und Seegangsverhältnisse. Auch die schiffbauliche Unterteilung oder die Flutbarkeitsfaktoren der beschädigten Abteilung(en) sind im Leckfall nicht unter dem Kontrollregime der Bordleitung. Ein wenig anders kann es sich bei der Ladungs- oder Bunkerverteilung verhalten; unter Umständen sind hier Umpumpoperationen möglich, die der Stabilität des Schiffes förderlich sind. Einen, zumindest bedingten, Einfluß haben Besatzungen bei pumpbaren Ladungen auf Tankern. Auch sind in der Regel Nautische Maßnahmen wie Kursänderung, Stoppen, Auf-Grund setzen etc. möglich. Besteht im Leckfall eine realistische Chance zur Leckbekämpfung, entscheidet nicht zuletzt die Erfahrung und Kenntnis der Schiffsleitung und der ausgebildeten Fachkräfte über den Erfolg der Maßnahmen.

#### 1.2.4 Schiffbauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Lecksicherheit

Um ein Schiff im Leckfall vor dem Sinken zu bewahren, nimmt man eine schiffbauliche Unterteilung in wasserdichte Abteilungen vor. So erhält man einen modularen Aufbau bei RoRo-Passagierschiffen unterhalb des Schottendecks, dem Deck bis zu dem die wasserdichten Schotten der Abteilungen hochgezogen sind. Eine Unterteilung wird aber auch oberhalb desselben durch den Einbau von Schotten sowohl in Längs-, wie auch Querrichtung vorgenommen. Somit läßt sich ein sehr hoher Unterteilungsgrad erreichen. Jedoch gilt der Grundsatz des vernünftigen Kompromisses zwischen Sinksicherheit, operativen Gesichtspunkten und Baukosten. So muß ein RoRo-Fährschiff zur effektiven Ausnutzung der Laderaumkapazitäten und zur schnellen Abfertigung im Kurzstreckenverkehr möglichst durchgehende Fahrzeugdecks aufnehmen.

Die IMO hat eine Reihe von schiffbaulichen Vorschriften zur Unterteilung von Schiffen erlassen und diese in SOLAS Kapitel II-1 Teil B eingearbeitet. Im Folgenden finden sich zusammengefaßt einige dieser Vorschriften:

Sowohl Fracht-, als auch Passagierschiffe <sup>14</sup> sind mit einem Kollisionsschott zu versehen. Dieses wasserdichte Schott ist das vorderste Querschott und bei Passagierschiffen in einem Minimumabstand von mindestens 5% vom vorderen Lot und einem Maximumabstand von  $3\text{m} + 5\%$  der Länge des Schiffes einzubauen. Für Schiffskomponenten, die unterhalb der Wasserlinie über das vordere Lot hinausreichen (beispielsweise der Wulstbug), werden die Bezugspunkte etwas anders gewählt (SOLAS Kapitel II-1 Regel 10.2)<sup>15</sup>. Das Kollisionsschott hat seinen Namen von der Art seiner Bestimmung, nämlich im Kollisionsfall als wasserdichtes Schutzschild für den achterlichen Schiffsrumpf herzuhalten. Gleich einer Knautschzone ist der vordere Bereich dann eine Art Puffer für die Kollisionskräfte.

Das Pendant zum Kollisionsschott bildet das Achterpiekschott, welches bei Acht-

---

<sup>14</sup>SOLAS Kapitel I Teil A Regel 2 definiert die Begriffe Frachtschiff und Passagierschiff. Laut Definition ist ein Passagierschiff ein Schiff im internationalen Verkehr mit mehr als 12 zugelassenen Passagieren. Alle anderen Schiffe im internationalen Verkehr sind Frachtschiffe.

<sup>15</sup>Für Frachtschiffe wird die Lage des Kollisionsschottes ebenfalls geregelt

erschiffskollisionen ein Mindestmaß an Sinksicherheit bieten soll. Auch der Maschinenraum muss durch wasserdichte Schotten begrenzt sein. Es gibt noch eine Reihe anderer Schotte mit unterschiedlichen Aufgaben, so beispielsweise Laderaumschotte oder Feuerschotte. Die Anzahl der Schotten, die der Unterteilung des Schiffes dienen, hängt von der maximalen Länge ab, die eine wasserdichte Abteilung eines Schiffes haben darf. Diese wird nach den Regeln von SOLAS 90 abgeleitet aus der zu erstellenden Flutbaren Länge eines Schiffes (nach SOLAS Kapitel II-1 Teil B Regel 4).

Neben den Querschotten bilden auch Längsschotten einen Beitrag zum Schutz des Schiffsrumpfes bei Beschädigungen und geben ihm gleichzeitig die nötige Festigkeit. Bei Tankern dient das durchlaufende Mittellängsschott neben der Unterteilung in wasserdichte Abteilungen auch der symmetrischen Ausführung, so daß sich meist gleich große Tankanordnungen bilden. In der Praxis wird man, selbst bei Teilladungen, immer die Ladungspartie symmetrisch verteilen, so daß sich keine zusätzlichen Stresskomponenten aus ungleichmäßigen Belastungen der Schiffskonstruktion ergeben <sup>16</sup>.

Manche Konstruktionen weisen aber auch 2 Längsschotten auf, so daß sich eine Anordnung aus 2 Seitentanks und einem Mitteltank ergibt.

Die Vorschriften für den *Doppelboden* sind bei SOLAS 2009, also für Schiffe, die nach dem 1. Januar 2009 gebaut wurden, in SOLAS Kapitel II-1 Teil B-2 Regel 9 festgelegt. Demnach gilt für Fracht- und Passagierschiffe <sup>17</sup>, daß der Doppelboden sich vom Kollisionsschott bis zum Achterpiekschott erstreckt und dabei eine Höhe zwischen 76cm - 200cm einhält. Unter bestimmten Bedingungen sind Abweichungen jedoch zulässig. Die Aufgabe des Doppelbodens besteht im Schutz der Schiffskonstruktion im unteren Bereich, also im Kielbereich und der angrenzenden Beplattung. In den Doppelbodenkammern sind meist Ballastwassertanks untergebracht, sie bieten also auch zum Schutz der angrenzenden Laderäume und deren Inhalt.

Aufgrund der operativen Anforderungen von Schiffen ergibt sich für den Schiffbauer eine Reihe von Schwierigkeiten die konstruktiv gelöst werden müssen. Der Tankereigentümer beispielsweise ist an einem Entwurf interessiert, der mög-

---

<sup>16</sup>Ein Stabilitätsproblem liegt bei beladenen Tankern im Intaktfall in der Regel nicht vor

<sup>17</sup>Tanker ausgenommen

lichst keine Stufungen, Absätze, Leitungen, offene Spanten in den Ladetanks enthält, weil das Tankwaschen dann viel zeit- und energieaufwändiger wird. Zur Lösung dieses Problems werden die Spanten und Versteifungen oftmals an Deck geführt, so daß sich eine fast ebene Struktur innerhalb der Tanks ergibt. Ähnlich verhält es sich bei Containerschiffen, die eine Schiffskonstruktion bevorzugen, die dem Standardcontainer angepasst ist und zudem bei einem Minimum an Bruttovermessung ein Maximum an Ladung transportieren sollen. Die Vermessung ist dabei ein ausschlaggebender Faktor für die Transitgebühren bei Passagen durch den Suez-, Panama- oder Kielkanal. Bei Containerschiffen bedeutet dies, daß der Eigner einen Entwurf bevorzugen wird, bei dem die Ladungsmenge *An Deck* ein Maximum erreicht. Der Konstrukteur von RoRo- und RoRo-Passagierschiffen hingegen wird angehalten, ein durchgehendes RoRo-Ladendeck zu entwerfen, so dass die Fahrzeuge ungehindert in Längsrichtung des Schiffes bewegen können. Bei einigen RoRo oder RoPax-Schiffen erfolgt das Beladen auch über die Bug- und Heckrampe. Andere Entwürfe verzichten auf die Bugrampe, besitzen jedoch eine seitliche Laderampe. Der Schiffseigner wird versuchen, den Schiffstyp an die Notwendigkeiten der Reise, der Terminalanlagen, der Seebedingungen oder den baulichen Vorschriften für ein bestimmtes Operationsgebiet anzupassen.

Aus Lecksicherheitsicht bedeuten alle Öffnungen in der Außenhaut ein Risiko. Dazu zählen neben den Ladetoren auch Lotsen- oder Bunkerpforten sowie See-einlaß- und Auslaßventile. Desweiteren sind auf RoRo-Fährschiffen die Abteilungsschotten oftmals mit Schottentüren versehen, die den ungehinderten Zugang innerhalb des Maschinenbereiches ermöglichen. An diese Schottenöffnungen sind eine Reihe von Kriterien gebunden, die in SOLAS Kapitel II-1 Teil B Regel 15 formuliert sind. So muß beispielsweise ein Indikatorsystem auf der Brücke den offenen oder geschlossenen Zustand der Schottendurchgänge anzeigen. Dabei ist der immerwährende Zustand der wasserdichten Schotten auf See nicht unumstritten. Auf der 51. Sitzung des SLF-Unterausschuss (SLF 51) waren sich die Delegierten nicht einig über eine einheitliche Regelung. Die wasserdichten Schotten haben primär die Aufgabe im Leckfall die Unterteilung in wasserdichte Bereiche zu gewährleisten. Im Routinebetrieb aber werden diese Schot-

tendurchgänge sehr häufig geöffnet, denn sie befinden sich zu einem Großteil im Maschinenraum- und Lagerraumbereich. Gerade auf deutschen Schiffen kam es zu einer Reihe von Unfällen mit oft tödlichem Ausgang, weil beim Schließen der Durchgänge Personen eingeklemmt wurden. Deshalb wird weitestgehend auf die automatische Schließung verzichtet und das Personal angehalten, die Schotten manuell vor Ort zu öffnen und zu schließen. Auf der Brücke von Passagierschiffen<sup>18</sup> muß zudem (Ausnahmen sind zulässig) ein zentrales System zum gleichzeitigen Schließen aller Schottentüren innerhalb von 60 Sekunden bei einer maximalen Schlagseite von 15° vorhanden sein. Zur Überwachung der RoRo-Fahrzeugdecks auf Wasseransammlung sind entweder spezielle Sensoren zu installieren, oder aber ein TV-System. Bei letzterem sind die Anlagen so programmierbar, daß die Monitore jeden einzelnen Raum in einer Art Diashow darstellen.

Eine bauliche Maßnahme zur Reduzierung der Krängung im Wassereinbruchfall sind sogenannte cross-flooding valves, im Deutschen: Querflutungskanäle. Diese sind unterschiedlich ausgeführt, bewirken aber immer einen Ausgleich der Leckwassermassen mit dem symmetrisch gegenüberliegenden Tank. Ein Minimum an Luftzirkulation ist vorgeschrieben, um den Gegendruck im gegenüberliegenden Tank gering zu halten.

Weiter oben wurde die stabilitätsmindernde Wirkung von Löschwasser angemerkt. Wenn das Drainage-System ausreichend funktionstüchtig ist, dann ist dies aus Stabilitätsbetrachtungen heraus noch unbedenklich. In der Vergangenheit jedoch kam es immer häufiger zu Vorfällen bei denen Schiffe in Schwierigkeiten gerieten, weil das Löschwasser nicht ablaufen konnte. Die Ursachen sind unterschiedlich, beruhen meist aber auf blockierte Speigatten auf dem Fahrzeugdeck. Diese werden verursacht durch Reste von Laschmaterial, Müll, Sand, der den Fahrzeugen anhaftete, Verpackungen und Ähnliches. Diese Verstopfungen sind oftmals über einen längeren Zeitraum entstanden und es muß durch die Besatzung getestet werden, ob die Speigatten ausreichenden Abfluss gewährleisten. Um derartigen Verstopfungen in Zukunft vorzubeugen, hat man Verbesserungen an den Speigatten vorgenommen. So lassen sich beispielsweise Käfigformen über den Speigatten montieren, die als eine Art Filter wirken. Eine gleiche

---

<sup>18</sup>Gilt für Passagierschiffe, die nach 1 Februar 1992 gebaut wurden

Wirkung erzielt man durch den Einbau großflächige Gitter, die weit über die Normmaße herkömmlicher Speigatten hinausgehen.

Um einen Leckfall wirksam eindämmen zu können, ist nach Maßgabe von SOLAS Kapitel II-1 Teil B Regel 11 an Bord von Schiffen ein Lenzsystem zu installieren. Dieses Leitungssystem mit den dazugehörigen drei Pumpen (Minimum) erfasst jede wasserdichte Abteilung im Schiff. Nicht immer sind eigens zu diesem Zweck ausgerüstete Pumpen an Bord vorhanden. Oftmals ist das System so konstruiert, daß durch fernbediente hydraulische Ventile die Lenzoperationen mit Hilfe der Ballastwasser- oder Feuerlöschpumpen erfolgen kann. Nach SOLAS-Vorschrift muss die Lenzleistung jeder einzelnen Pumpe mindestens  $2m^3/s$  in der Hauptlenzleitung<sup>19</sup> betragen.

### 1.2.5 Der Wassereinbruch als physikalischer Prozess

Grundsätzlich werden zwei wesentliche Schiffseigenschaften im Falle eines Wassereinbruchs beeinträchtigt:

1. Stabilität
2. Verlust von Reserveauftriebskapazitäten

Wenn ein Schiff mit komplett geschlossenen wasserdichten Decks ausgestattet und auch alle Öffnungen wasserdicht verschließbar wären und die gesamte Aufbaukonstruktion dem Druck des Wassers widerstehen könnten, dann bliebe ein solcher Entwurf im Leckfall so lange schwimmfähig, bis die ungehindert einströmenden Leckwassermassen die gesamte Reservekapazität des Schiffes aufgebraucht haben. Das dabei auftretende Stabilitätsproblem soll bei dieser Betrachtung unberücksichtigt bleiben. Weil aber solch ein Entwurf nicht existiert, geht man von davon aus, dass bei Überfluten des Freiborddecks ein Schiff mit hoher Wahrscheinlichkeit sinkt. Wenn sich also bei der Leckrechnung die kalkulierten Tiefgänge über das Freiborddeck erstrecken, muss mit einer weiteren Flutung in das Schiffsinne gerechnet werden. Bis zu SOLAS' 90 orientierten sich die schiffbaulichen Vorschriften daher an der Margin-Line, einer Linie 76mm

---

<sup>19</sup>Der Durchmesser der Hauptlenzleitung wird nach einer Formel bestimmt, wonach sich eine Abhängigkeit aus der Breite, Länge und der Seitenhöhe des Schiffes ergibt.

unterhalb des Freiborddecks. Wenn ein Schiff den Vorschriften entsprechen soll, muss der Nachweis erbracht werden, daß für vorgegebene Leckfälle diese nicht eingetaucht ist. Problematisch ist dies besonders bei RoRo-Schiffen mit niedrigem Freiborddeck.

Im Falle eines Wassereintruchs gibt es bislang kein hinreichend verlässliches System, das dem Kapitän die Beurteilung der Schwimmfähigkeit und Stabilität hinreichend genau abnimmt. Gerade auf RoRo- und RoPax-Schiffen ist die Zeit zur Beurteilung der Lage sehr begrenzt. Zum anderen sind die dynamischen Bedingungen der See und des Wetters oftmals ebenfalls entscheidend für das Überleben des Schiffes. Wie bereits zuvor erwähnt, wird schiffbaulich zur Erhöhung der Schwimmfähigkeit eine Unterteilung vorgenommen. Je nach Schiffstyp und Ausführung sind Quer- oder Längsschotten ein Mittel zur wasserdichten Abgrenzung der Räume.

Die Einteilung in wasserdichte Abteilungen bietet keinen vollständigen Schutz, denn Beschädigungen können sich auf mehrere wasserdichte Abteilungen ausbreiten und damit die Schwimmfähigkeit unmöglich machen. Einen wesentlichen Entwicklungssprung aus schiffbaulicher Sicherheit begann mit dem Untergang der Titanic. SOLAS selbst ist aus diesem Unglück hervorgegangen. Mit den Katastrophen der RoPax-Schiffe der jüngsten Vergangenheit sind die schiffbaulichen Vorschriften erneut in sehr starkem Maße der Revision unterzogen worden. Viele Konstruktionsideen haben aber schon eine längere Historie. So ist sowohl der Doppelboden aber auch das Kollisionsschott keine Neuerung der vergangenen Jahre. Gerade bei Vorschiffskollisionen wird deterministisch über die Überlebenswahrscheinlichkeit entschieden, wobei sich die Überlegungen der Schiffbauer auf die Bereiche Vor- und Achterschiff sowie Doppelboden konzentrieren (WEGMENT,1998) [68].

Das Überleben eines Schiffes hängt dabei von zwei Bedingungen ab:

Erstens muss ein genügend großer Resthebelarm das Schiff so weit aufrecht halten, so dass kein Wasser über das oberste durchgehende Deck des Schiffes hineingelangt und damit zusätzlich Wasser aufnimmt. Und zweitens muss genü-



gend Restauftrieb vorhanden sein. Ist ein Schiff so weit geflutet, dass durch einströmende Wassermassen der Auftriebsverlust gleich dem verbleibenden Auftrieb ist, kann selbst bei ruhigem Wetter das Schiff nicht gehalten werden (WEGMENT, 1998). Dynamische Bedingungen sind in diesen Überlegungen noch unberücksichtigt. Nach Aussagen des Stabilitätsforschungsinstitutes der Universität Strathclyde (WEGMENT, 1998) [68] korreliert die statische Reststabilität im Leckfall mit der Kenterwahrscheinlichkeit; was sich leicht nachvollziehen lässt, denn ein leckgeschlagenes Schiff im Endzustand der Flutung, also ein Zustand ohne weitere Massezunahme durch weiter eindringendes Wasser, gleicht dem bewußten Laden eines Raumes beziehungsweise dem bewussten Fluten mit Ballastwasser. Auch die unsymmetrische Verteilung dieser Ballast- und Ladungsmassen im Schiffsbetrieb ist ein Routineproblem an Bord. Starke Schlagseitenzunahme bei gleichzeitigem großen Massenzuwachs erfährt z.B. ein RoRo-Eisenbahnschiff beim Beladen von schweren Eisenbahnwaggons. Dies wird dann mit leistungsstarken Anti-heeling Anlagen ausgeglichen, die große Wassermengen in kürzester Zeit transversal umpumpen und damit den Krängungswinkel gering beziehungsweise das Schiff in aufrechter Lage halten. Diese Anti-heeling Anlagen sind oft automatisiert, d.h. das Umpumpen erfolgt nicht mehr manuell, sondern die Anlagen können so konfiguriert werden, dass beispielsweise ein Pumpvorgang erst bei einem Krängungswinkel  $\geq 0.5^\circ$  startet und bei einem Tankinhalt von weniger als 10% abgebrochen wird.

Wegment (1998) unterscheidet folgende schwerwiegende Leckfälle:

- Vorschiffs-Kollisionen mit anderen Schiffen
- Strandungen mit Rumpfbeschädigungen
- Aufreißen des Rumpfes verursacht durch Kontakt mit Unterwasserobjekten
- Seitenkollisionen ohne Beschädigung eines Abteilungsschottes
- Seitenkollisionen mit Beschädigung eines Abteilungsschottes
- Bugklappenbeschädigungen bei RoRo-Schiffen .

Bei letzterem Punkt weist Wegment (1998) [68] noch darauf hin, dass bei den zwei großen Fährunglücken der Vergangenheit, namentlich "Herald of Free Enterprise" und "Estonia", die Schiffe mit großer Voraugeschwindigkeit fuhren und damit besonders viel Wasser aufnahmen. Wassereinbrüche, die aus Seitenkollisionen resultieren, sind im Zeitfaktor zu vorgenannten Unfällen zu unterscheiden, weil die Wasseraufnahme in der Regel deutlich langsamer verläuft.

Die Bauvorschriften lassen zwei gleichwertige Vorschriften zum Nachweis der Lecksicherheit zu: Entweder nach Resolution A.265(VIII) beziehungsweise SOLAS 2009, also der probabilistischen Methode nach Wendel, oder aber nach SOLAS 90 Kap.II - 1. Im ersten Fall geht die Definition von Leckstabilitätskriterien einher mit dem Unterteilungsindex (A), entwickelt von Wendel und der IMO im Jahre 1968 vorgestellt. Dieser Unterteilungsindex (A) beruht auf dem Wahrscheinlichkeitsprinzip, d.h. die Wahrscheinlichkeit eines Lecks bei der eine oder mehrere Abteilungen betroffen sind.

Für den Fall, dass ein Schiff trotz starker Beschädigung noch schwimmfähig bleibt, kann es zu erheblichen Problemen mit den Aussetzvorrichtungen der Rettungseinrichtungen kommen. Laut den Vorschriften müssen Hersteller lediglich das Aussetzen bis zu einem Schiffskrängungswinkel von  $20^\circ$  und einem Trimmwinkel von bis zu  $10^\circ$  garantieren (SOLAS Kap.III Reg.16) [27]. Die Berechnung der Leckstabilität und Bewertung der Schwimmfähigkeit sowie Grundkenntnisse zur praktischen Leckabwehr sind Grundvoraussetzungen zur Entscheidungsfindung an Bord. Das Internationale Übereinkommen vom 7. Juli 1978 über Normen für die Ausbildung, die Erteilung von Befähigungszeugnissen und den Wachdienst von Seeleuten (STCW Code) regelt die Mindestkenntnisse und Fähigkeiten für Schiffspersonal (siehe Kapitel 2.2.1 für weitere Ausführungen zum Training und der Ausbildung nach STCW).

Demnach muss nach Tabelle A - II/2 des STCW Codes ein nautischer Offizier des Management-Levels<sup>20</sup> folgenden Kenntnisstand nachweisen können:

- Wissen über Trimm- und Stabilität des Schiffes nach einer Beschädigung des Schiffsrumpfes und nachfolgendem Wassereinbruch sowie über einzuleitende Gegenmaßnahmen

---

<sup>20</sup>Management-Level: Erste Nautische Schiffsoffiziere und Kapitäne

- Schiffbau und Leckabwehr

Im Zuge dieser Arbeit wurde ein Fragebogen zusammengestellt, der Reedereien die Möglichkeit gibt, ihr Safety Management System auf die Komponente Leckstabilität hin zu überprüfen, beziehungsweise die kontinuierliche Ausbildung, besonders der Junioroffiziere, sicherzustellen. Dieser Fragebogen kann als Ausgangspunkt der Entwicklung eines eigenständigen Lehrmodul Leckstabilität dienen. Der Autor ist überzeugt, dass Bordbesatzungen in dieser Hinsicht nicht ausreichend geschult sind. Dies liegt vor allem in der Tatsache begründet, dass die Berechnung der Leckstabilität nicht Teil der Routineaufgaben eines Nautikers sind.

Ein womöglich erstaunliches Phänomen ist die Tatsache, daß nach Meinung einiger Experten die Beurteilung der Schwimmfähigkeit und Stabilität im Wassereinbruchfall gar nicht an Bord durchzuführen ist, sondern Experten des Emergency Response Teams an Land überlassen werden sollte. So hat Matthias Galle vom Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) [13] in seinem Vortrag zum Emergency Response Service folgende Bemerkung gemacht:

Wer kann Fragen zur Leckstabilität und Festigkeit beantworten ? Schiff (Ladungsrechner)? NEIN ! Beschädigungen können nicht simuliert werden. Während eines Notfalls ist die Schiffsführung mit anderen Aufgaben beschäftigt.

Solche Aussagen verdeutlichen, dass Schiffsbetreibern und ihren Besatzungen ein Sicherheitsgefühl vermittelt werden soll, welches nach Ansicht des Autors nicht geben kann. Weitere Ausführungen werden dazu im Abschnitt zum ISM-Code (2.2.1) gemacht.

### 1.2.6 Zusammenfassung Kapitel I

Zu Beginn dieses Kapitel wurde die Relevanz zur Untersuchungen des Wassereinbruchfalls von RoRo-Passagierschiffen aufgezeigt. Dazu wurde nachgewiesen, dass dieser Schiffstyp in hoher Anzahl bei relativ hohem Durchschnittsalter operiert. Die Risiken eines Wassereinbruches sind dabei besonders hoch, da dieser Schiffstyp eine hohe Anzahl Menschen in stark frequentierten Gewässern transportiert. Die Auftragszahlen bis Ende 2012 umfassen 159 Schiffe<sup>21</sup> und zeigen, dass die Nachfrage nach Schiffen mit RoRo-Decks weiterhin hoch ist.

Die Ausführungen im Abschnitt 1.2.2 sollen verdeutlichen, wie lückenhaft die Unfalldokumentation im Leckfall noch ist. Dies hat zur Folge, daß statistische Auswertungen auf ohnehin schon geringe Datensätze zurückgreifen müssen. Ferner wurden auch die Ursachen für Leckunfälle aufgezeigt, die in ihrer Natur und Schwere stark variieren können. Bezugnehmend auf die Unfallmöglichkeiten hat die IMO schiffbauliche Standards mit SOLAS verabschiedet, die einer ständigen Revision unterliegen. Grundsätzlich wird eine höhere Sinksicherheit mit der Unterteilung des Schiffes in wasserdichte Abteilungen erreicht. Andere schiffbauliche Komponente zur Erhöhung der Schiffssicherheit im Leckfall wurden ebenso umrissen und in ihrer Wirkung beschrieben. Das folgende Kapitel geht näher auf die geltenden Rechtsvorschriften ein. Aus den Ausführungen des physikalischen Prozess des Wassereinbruchs wurde die Problematik erläutert, das dem Kapitän an Bord von Schiffen aus Sicht des Autors kein verlässliches System zur Beurteilung der Lecksituation zur Verfügung steht. Diese grundsätzliche Aussage wird in den folgenden Kapiteln noch näher untersucht.

---

<sup>21</sup>Quelle: [www.clarksons.net](http://www.clarksons.net), accessed 21 April 2010

# Kapitel 2

## Untersuchungen zum Wassereinbruchfall

### 2.1 Bauvorschriften für RoRo-Passagierschiffe

Um zu vermeiden, daß ein Schiff im Wassereinbruchfall zu sinken beginnt, unterteilt man es in wasserdichte Abteilungen. Die Grundidee dabei ist, daß jedes Schiff, welches unter dem SOLAS-Regime zugelassen ist, einen Leckfall bei Beschädigung mindestens einer dieser wasserdichten Abteilungen überleben muß. Ein Schiff, das jede beliebige Beschädigung von zwei Abteilungen übersteht, ist nach Definition dann ein 2-Abteilungsschiff. Dabei sind aber zu einem gewissen Grade die dynamischen Bedingungen durch Wind und See ausgeklammert. Diese lassen sich nämlich nur schwer quantifizieren. Für intakte Schiffe hat die IMO das Wetterkriterium als Stabilitätsnachweis erlassen (Intact Stability Code, par.3.2). Bei beschädigten Schiffen ist eine einheitliche Vorschriftenlage schwierig, denn durch eindringende Wassermassen und damit einhergehenden Veränderungen bei Trimm und Krängung in Abhängigkeit vom Beladungszustand lässt sich wegen der Vielfalt der möglichen Endzustände nur schwer ein Einheitsrichtwert festlegen.

Die SOLAS-Vorschriften zur Unterteilung und Leckstabilität haben sich innerhalb der letzten Jahre stark verändert. Das Maritime Safety Committee (MSC) hat in den Versammlungen immer wieder nachgebessert und nach einem einheitlichen Konzept zur Bestimmung der Leckstabilität und Unterteilung sowohl für

Passagier- als auch für Frachtschiffe gesucht. Das nunmehr vereinheitlichte SOLAS Kapitel II-1: *Bauart, Bauweise, Unterteilung und Stabilität, Maschinen und elektrische Anlagen* schätzt die Lecksicherheit eines Schiffes nach dem Wahrscheinlichkeitsprinzip ein, wie es bisher nur für Frachtschiffe galt. Neben den internationalen Regeln zur Lecksicherheit gibt es mit dem Stockholm-Übereinkommen auch eine europäische Sondervorschrift zur Beurteilung der Lecksicherheit von RoRo-Passagierschiffen. Dänemark, Finnland, Irland, die Niederlande, Schweden, Großbritannien, Norwegen und Deutschland haben mit dem Stockholm-Übereinkommen auf die RoRo-Passagierunfälle der 90-er Jahre reagiert und unter anderem den Aspekt "Wasser an Deck" in die Vorschriften aufgenommen.

### 2.1.1 Stockholm-Übereinkommen

Inkrafttreten: 1 April 1997

Anwendung: Gilt nur für RoPax-Schiffe nach SOLAS Regel II-2/3 im internationalen Verkehr, die die Häfen der Vertragsstaaten regelmäßig anlaufen und Passagiere transportieren

Gründerstaaten: Dänemark, Finnland, Irland, die Niederlande, Schweden, Großbritannien, Norwegen, Deutschland

Standard: SOLAS '90 Regel II-1/8.2.3 + 50cm Wasser auf dem RoRo-Fahrzeugdeck

Das Stockholm Agreement ist ein regionales Abkommen und als IMO Circular Letter 1891 von der IMO verabschiedet worden. Es ist die Antwort der Nordwesteuropäischen Länder auf den schweren Seeunfall der "Herald of Free Enterprise" 1987. Dabei wurde dem besonderen Umstand der durchgehenden RoRo-Laderäume von RoRo Passagierschiffen Rechnung getragen. Um eine einheitliche Lösung innerhalb der Europäischen Union zu gewährleisten, wurde mit der Direktive 2003/25/EC die Stockholm-Vereinbarung für alle Mitglieder der Europäischen Union verbindlich. Sie gilt jedoch nur für RoRo-Passagierschiffe im regulären internationalen Verkehr die die Flagge der Vertragsstaaten führen oder aber fahrplanmäßige Abfahrten zwischen den Häfen der Unterzeichner-

staaten anbieten.

Als ganz wesentliche Aspekte des Stockholm-Abkommens gelten zwei Neuerungen gegenüber den SOLAS '90 Bestimmungen nach Regel II-1/8:

Erstens hat man den Seegangseffekt in die Überlegungen miteinbezogen (signifikante Wellenhöhe<sup>1</sup>) und zweitens kommt der vorher schon erwähnte Faktor *Wasser an Deck* hinzu.

Anfänglich bediente man sich zur Bestimmung der Wasserhöhe an Deck des Krängungswinkel im Ausgleichszustand bei  $\theta_{max}$ , also des Winkels, bei dem das aufrichtende Moment am Größten ist. Daraus ließe sich die Wassermenge ableiten, die nötig ist, um das Schiff in die indifferente Lage zu krängen. Diese rein statische Berechnung von der maximalen Wassermenge ist demnach definiert als *Static Equivalent Method (SEM)*. Dieses Modell nach dem das Danish Maritime Institute experimentierte, wurde aber aufgegeben und man einigte sich auf der Stockholm Konferenz auf die Höhe des Wasserspiegels über Deck und nicht, wie SEM es vorgibt, auf die Wassermasse. Damit ist die Stockholm-Höhe des Wasserspiegels direkt abhängig von dem Restfreibord des betreffenden Schiffes nach der Flutung, maximal aber 0,5m. Kritisierend merkten Vassalos und Papanikolaou an, dass die Grundlage der dänischen Untersuchungen immer der Mittschiffsleckfall war, also Schäden innerhalb der Toleranz  $\pm 0,1L$ . Dabei seien Schäden außerhalb des Mittschiffpunktes aber besonders gefährlich [66].

Das Abkommen schreibt zudem auch Überlebenswahrscheinlichkeit eines RoPax-Schiffes nach dem so genannten  $A/A_{max}$  vor. Die Grundlage dafür bildet Res. A.265(VIII). Diese wurde vereinfacht und als MSC/Circ.574 veröffentlicht. Nach dem Stockholm-Übereinkommen müssen RoPax-Schiffe spätestens 2002 einen  $A/A_{max}$ -Wert von 97,5% oder mehr erreichen.

In den erklärenden Notizen zum Stockholm Abkommen weist die Britische Maritime Coast Guard Agency (MCA) darauf hin, daß schon mit SOLAS 90 eine implizite Berücksichtigung von "Wasser an Deck" erfolgte [47]. Nach Untersu-

---

<sup>1</sup>Signifikante Wellenhöhe  $H_s$ : gibt die maximale Wellenhöhe an, die zu 90% in dem jeweiligen Seegebiet über den Zeitraum von einem Jahr vorliegt

chungen von Seeunfällen ist man zu der Erkenntnis gekommen, daß sich 89 % der Kollisionen bei einer signifikanten Wellenhöhe  $h_s$  von 1.5m oder weniger ereigneten (MSC/Circ.153). Der SOLAS'90 Standard bietet für diese Seegangsverhältnisse ausreichend Sicherheit, das heißt SOLAS'90 kann als Äquivalent zu  $H_s = 1.5\text{m}$  angesehen werden. Weil bei 99% aller Kollisionen die signifikante Wellenhöhe von 4m nicht überschritten wurde, hat man bei Stockholm die Komponente „Wasser an Deck“ aufgenommen, die eine Sicherheit bis zu  $H_{s_{max}} = 4\text{m}$  bietet. Basierend auf den Untersuchungen des Institutes for Maritime Dynamics (IMD) sowie denen von SNAME hat man sich auf eine maximale Freibordhöhe von 2.0m geeinigt. Dies gründet sich im Wesentlichen auf die Erfahrung, daß ab einem Verhältnis: Freibord / Signifikante Wellenhöhe von über 0.5 die Menge des Wassers an Deck gegen Null tendiert [47]. Demnach ist bei einem maximalen Freibord von 2m und einer maximalen Wellenhöhe von 4m das Verhältnis genau 0.5. Als Restfreibord in diesem Zusammenhang wird die Minimumdistanz zwischen Wasserlinie an der Leckstelle und dem beschädigten RoRo-Fahrzeugdeck verstanden, und zwar in Ausgleichslage.

Demnach läßt sich Stockholm wie im Folgenden beschrieben zusammenfassen:

Ein RoPax-Schiff wird mit verschiedenen Leckszenarios konfrontiert. Obwohl das RoRo-Fahrzeugdeck als beschädigt angenommen wird, rechnet man Szenarien für Beschädigungen unterhalb des Schottendecks. Das Fahrzeugdeck selbst hat eine genau definierte Wassermasse aufzunehmen. Diese Wassermasse hängt vom Restfreibords des Schiffes nach Beschädigung der wasserdichten Abteilungs(en) ab und variiert in der Höhe zwischen 0 und 0.5m bei gleichmäßiger Verteilung über Deck. Es scheint ein wenig irreführend: Man berechnet die Schwimmelage nach Beschädigungen unterhalb des Schottendecks, also nach Beschädigungen der wasserdichten Abteilungen und erhält eine neue Schwimmelage mit Restfreibord und Krängungswinkel aus der sich die Wassermasse auf dem Fahrzeugdeck ableitet. Lecklage und Leckgröße des womöglich beschädigten Fahrzeugdecks sind also irrelevant. Neben dem Vorschreiben von Grenzwerten nach Stockholm Annex 2 bleibt es den Schiffbauern jedoch frei, die Regelkonformität auch mittels eines *Modell Tests*, wie im Annex 3 des Abkommens beschrieben, nachzuweisen [22]. Neben der numerischen Simulation existiert al-



so die Alternative der *Numerischen Äquivalenz* [66]. Laut Vassalos herrscht bis zum bisherigen Zeitpunkt Unsicherheit und Misstrauen in der Schifffahrtsindustrie über die deterministischen Methoden vor. Deshalb wird mehr und mehr der Modellversuch favorisiert, beziehungsweise das TSA. TSA steht für *Total Stability Assessment* und kann als Rundumtest aller Überlebenskriterien beschrieben werden, also die Konformität nach A.265, SOLAS 90, Stockholm, Stockholm Modell Test und in Zukunft auch nach SOLAS 2009. Dies ist zum Teil auch auf die Nachteile der einzelnen Lecksicherheitsstandards zurückzuführen.

Bei der Entwicklung der Standards nach Stockholm hat man in Modelltests festgestellt, daß bei *large scale floodings*, also bei Flutung des RoRo-Decks die Schlagseite zunächst verhältnismäßig langsam zunimmt. Dieser Zustand dauert an, bis der *point-of-no-return* erreicht ist und das Schiff innerhalb sehr kurzer Zeit krängt und schließlich kentert. Der point of no return ist also in der Darstellung des Rollwinkels über der Flutungszeit und mathematisch betrachtet, ein Knickpunkt. In dem Papier von der Universität Strathclyde [66] wird ein Modellversuch beschrieben, wo mit Flutung des RoRo-Decks der maximale Rollwinkel in den ersten 600 Sekunden maximal  $10^\circ$  betrug, 30 Sekunden später etwa  $20^\circ$  und nach weiteren 20 Sekunden  $60^\circ$ . Die Simulationsergebnisse offenbarten weiterhin, daß ein Schiff in der Dynamik des Seegangs merklich mehr Wasser zum Kentern erfordert als im statischen Fall. Die Zeitfenster sind jedoch durch die sehr große Wasseraufnahme nach Überschreiten des *point-of-no-return* (POR) so klein, daß dies keine praktische Bedeutung hat. Vielmehr hat man zur Bestimmung der Komponente Wasser an Deck, den POR als Basis genommen. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist auch, daß innerhalb dieser Untersuchung die aufrichtenden Momente des Schiffes kurz vor dem Kenterzeitpunkt am größten waren.

Im Mittelpunkt der Regeln zum Stockholm-Übereinkommen steht also die Frage nach der Wellenhöhe, bei der ein RoPax-Schiff mit einem gefluteten Fahrzeugdeck von 50cm Höhe kentert<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup>RoRo Fahrzeugdeck ist das durchgehende Deck oberhalb der Konstruktionswasserlinie. Ausgedrückt wird dies durch den Überlebensfaktor  $s_j$ .

### **Kritische Anmerkungen zum Stockholm-Übereinkommen**

Ein anderer Ansatz [42] bei der Leckwahrscheinlichkeit ist die Betrachtung der schweren Führungglücke der Vergangenheit als ein Intaktproblem. Viele der Unfälle waren nicht auf Beschädigungen der wasserdichten Abteilungen zurückzuführen, sondern der Wassereintrich hatte seinen Ursprung anderweitig<sup>3</sup>. Demnach lässt sich die Problematik aus Sichtweise des intakten Schiffes eventuell besser einordnen. Diesem Prinzip folgend, kann schiffbaulich eine Mindestmenge an Leckwasser festgelegt werden, die unter bestimmten Bedingungen einzuhalten sind. Der Umstand, daß Stockholm Leckfälle unterhalb des Schottendecks zur Grundlage hat, ist nach diesen Überlegungen fragwürdig.

#### **2.1.2 SOLAS 90 Standard**

Passagier- und RoPax-Schiffe die nach dem 29 April 1990 gebaut wurden, müssen dem SOLAS 90 Standard genügen. In den 1992 und 1995 Amendments zu SOLAS wurde dann beschlossen, daß auch RoPax-Schiffe, die vor 1990 gebaut worden sind, den neuen SOLAS'90 entsprechen müssen. Die Übergangsphasen wurden nach dem  $A/A_{max}$  Verhältnis geregelt, also Schiffe mit dem kleinsten  $A/A_{max}$  Wert mussten zuerst nach SOLAS'90 Regeln konvertiert werden. Im Oktober 2010 müssen dann spätestens alle derzeit existierenden Schiffe mindestens SOLAS'90 genügen.

#### **2.1.3 SOLAS 1990 Passagier-Lecksicherheitsvorschriften**

Die bisherige Lecksicherheit bei Passagierschiffen erfolgte auf Grundlage des SOLAS-Kapitels II-1 Teil B, Regel 8 oder, als Alternative, nach den Vorschriften der Resolution A.265, auch bekannt als IMO-Äquivalent. Während die erste Methode ein deterministischer Entwurf ist, orientiert sich Resolution A.265 an der Wahrscheinlichkeitstheorie. Dabei ist das Wahrscheinlichkeitsprinzip zur Beurteilung der Lecksicherheit keineswegs eine Neuerung der letzten Jahre. Der von Wendel konzipierte probabilistische Ansatz zur Einschätzung zur Lecksicherheit wurde der IMO 1968 vorgestellt. Der Vorschlag stieß auf breite Zustimmung und im folgenden Jahr wurde Resolution A.265 von der IMO verabschiedet.

---

<sup>3</sup>Führungglücke "Herald of Free Enterprise" oder "Estonia"

#### 2.1.4 IMO Resolution A.265(VIII)

Das Ergebnis war oben genannte Resolution, die auch als Äquivalent zum bestehenden SOLAS Kapitel II-1 anerkannt wurde. Die Resolution gilt allerdings nur für Passagierschiffe, bildet aber die Grundlage für das probabilistische Prinzip im Allgemeinen und formt auch die Grundlage der neuen SOLAS 2009-Vorschrift. Nach A.265(VIII) Regel 5 werden Leckschäden sowohl in der Länge als auch in der Tiefe begrenzt. Diese Festlegungen hat man nach Auswertung von Unfällen mit Beschädigungen des Schiffsrumpfes getroffen. Neben anderen gewonnenen Erkenntnissen hat man auch festgestellt, dass die Lecktiefe in keinem der Fälle die Mittschiffslinie überschritten hat. Daraus folgend hat man sich auf Maximalwerte in der Penetration der Außenhaut geeinigt.

Die maximalen Lecklänge wird im Sinne dieser Regel so interpretiert, dass kein Abteilungschott betroffen ist. Unter Berücksichtigung aller oben genannter Faktoren müssen Passagierschiffe nach A.265 einen Minimum-GM-Grenzwert erfüllen und einen maximalen Krängungswinkel  $7^\circ$  bei Beschädigung von nur einer Abteilung nicht überschreiten. In keinem Falle aber darf das Schottendeck eingetaucht sein. Für den Zeitraum bis zum Erreichen des Equilibriums gilt, dass der Krängungswinkel  $20^\circ$  nicht überschreiten darf und durch Querverbindungen benachbarte transversale Räume nach 10 Minuten ausgeglichen sein müssen (cross-sections).

#### 2.1.5 SOLAS Lecksicherheitsvorschriften 2009

Die Änderungen des SOLAS Kapitels II-1 sind durch MSC-Rundschreiben 216 beschlossen worden und gelten für Schiffe, die am oder nach dem 1 Januar 2009 auf Kiel gelegt wurden. Für alle anderen Schiffe gilt nach wie vor SOLAS 1974, wobei RoPax-Schiffe, die die Flagge der Länder des Stockholm-Übereinkommens führen, hier ausgenommen sind und dem letztgenannten Regelwerk unterliegen. Für RoRo- und RoPax-Schiffe, die nach 2009 gebaut werden, gelten demnach SOLAS und Stockholm Vereinbarung weiterhin parallel.

### 2.1.6 SOLAS Kap.II-1 (Probabilistische Einheitsrichtlinien)

Der Einfachheit wegen soll hier der Begriff "Probabilistische Einheitsrichtlinien" als Synonym für SOLAS 2009 und MSC(194)(80) stehen. Es wird im Folgenden aufgezeigt, was sich gegenüber der bisherigen SOLAS '90 geändert hat und ob ein erhöhtes Sicherheitsmaß nach SOLAS 2009 gefordert wird.

Der große Vorteil in den neuen Lecksicherheitsvorschriften liegt darin, daß von nun an eine einheitliche Anwendung der Regeln, sowohl auf Fracht- als auch auf Passagierschiffen zur Pflicht wird. Damit wird auch ein besseres Verständnis der Schiffskonstrukteure zum probabilistischen Ansatz erwartet. Weil aber die Anwendung der neuen Richtlinien nicht immer eindeutig ist, hat die SDS-Arbeitsgruppe (Working Group on Subdivision and Damage Stability [SDS]) der IMO Interpretationsrichtlinien zu SOLAS Kapitel II-1 ausgearbeitet. Diese sogenannten Explanatory Notes sind als Ergänzung der eigentlichen Vorschriften anzusehen und geben Hilfestellung zur Umsetzung des teilweise diffusen Regelwerks. Ein besonderes Augenmerk hat man während des SLF 51 Unterausschuss-Sitzung RoRo-Passagierschiffe gewidmet, denn diese sind durch ihre langen ungeteilten RoRo-Decks und der oftmals hohen Anzahl von Passagieren als besonders gefährdet eingestuft worden. Die Aufgabenbeschreibung für die entsprechende SLF-Arbeitsgruppe (Correspondence Group) schreibt unter anderem vor, daß sich die Experten mit dem Sicherheitsstandard des Stockholm Übereinkommens im Vergleich zu SOLAS 2009 auseinander setzen sollen. Damit wird die Frage aufgeworfen, ob die Stockholmer Sonderregelung noch sinnvoll ist.

Natürlich spielen diese schiffbaulichen Vorschriften für den Bordbetrieb eine untergeordnete Rolle, da im Seebetrieb darauf kein Einfluss genommen werden kann. SOLAS verlangt aber, daß dem Kapitän eines Schiffes ausreichend Stabilitätsunterlagen vorliegen müssen, damit er in den verschiedenen Beladungssituationen schnell und einfach eine ausreichend genaue Stabilitätsanalyse erstellen kann. Dazu gehören nach Regel 5-1 Kurven oder Tabellen, die das Minimum  $\overline{GM}$  gegenüber Tiefgang darstellen oder, alternativ,  $\overline{KG}_{max}$  Kurven oder Tabellen mit jeweiligem Tiefgang. Gleichwertige Alternativen werden auch hier eingeräumt. Außerdem müssen alle weitere Unterlagen oder Hilfsmittel zur Verfügung stehen, um die Intakt- und Leckstabilität bewerten zu können. In den Unterlagen

zur Stabilitätsbestimmung müssen auch verschiedene Trimmfälle berücksichtigt werden, es sei denn die unterschiedlichen Beladungszustände ändern den Trimm eines Schiffes um weniger als  $0.005 * L_s$ .

Die Grundidee der Probabilistischen Einheitsmethode ist die, daß ein Unterteilungsindex  $R$  für ein bestimmten Schiffstyp festgelegt wird und mit dem erreichten Unterteilungsindex  $A$  eines konkreten Schiffes verglichen wird. Es muß gelten:  $A \geq R$ . Für die partiellen A-Indizes, die sich auf die 3 Grundbeladungszustände  $d_s$ ,  $d_p$  und  $d_l^4$  beziehen, also  $A_s$ ,  $A_p$  und  $A_l$ , muss gelten:  $A \geq 0.9R$ .

Ein Schiffbauer kann die Anzahl der wasserdichten Schotten durchaus variieren und muß lediglich sicherstellen, dass  $A$  genügend groß wird. Dabei tragen alle wasserdichten Abteilungen zum Erreichen von  $A$  bei.

### Unterteilungsindex R

Der **Unterteilungsindex R** berechnet für Passagierschiffe wird berechnet nach:

$$R = 1 - \frac{5000}{L_s + 2.5N + 15225}$$

$L_s$  = Unterteilungslänge  $L_s$

$N$  =  $N_1 + 2N_2$

$N_1$  Anzahl der Plätze in den Rettungsbooten

$N_2$  Anzahl der über  $N_1$  hinaus erlaubten zusätzlichen Personen die das Schiff befördern darf (einschließlich Offizieren und Besatzung).

Der Koeffizient  $C$ , der hier als Dividend den Wert 5000 annimmt, ist aus der Analyse von Beispielschiffdaten unter Anwendung der Regressionsanalyse ermittelt worden [26].

---

<sup>4</sup> $d_s$ : deepest subdivision draught (entspricht Sommer-Freibordtiefgang;  
 $d_p$ : Partial subdivision draught (Die Teilladelinie ist die Wasserlinie, die sich aus der Summe des Leerschiffstiefganges und 60% der Differenz von Leerschiffstiefgang und Sommer-Freibordtiefgang ergibt.)  
 $d_l$ : Light service draught (Leerschiffstiefgang)

### Erreichter Unterteilungsindex A

Der **Erreichte Unterteilungsindex A** berechnet sich wie folgt:

$$A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_1 .$$

Es werden nun alle Leckfälle für jeden einzelnen der drei Tiefgänge  $d_l$ ,  $d_s$  und  $d_p$  berechnet, so daß sich der Gesamtindex A nach folgender Formel berechnet:

$$A = \sum_{i=1}^n p_i s_i .$$

Wobei:

- i jede Abteilung oder Gruppe von Abteilungen, die in die Berechnung einbezogen wurde, repräsentiert;
- $p_i$  dem angenommenen Umstand Rechnung trägt, daß nur die in der Berechnung angenommene Abteilung oder Gruppe von Abteilungen geflutet werden, ungeachtet jedweder Längsunterteilung wie in Regel 7-1 beschrieben und
- $s_i$  die Wahrscheinlichkeit des Überlebens der betrachteten gefluteten Abteilung oder Gruppe von Abteilungen darstellt; hier aber unter Berücksichtigung der Längsunterteilung wie in Regel 7-2 beschrieben

### Berechnung des Faktors $p_i$

Die Berechnung von  $p_i$  ist sehr komplex und beruht, wie der Entwurf Wendels, auf die Auswertung von Schiffsunfällen. Das mathematische Modell hinter den neuen SOLAS-Vorschriften bleibt also unkommentiert; auch deshalb, weil im Sinne dieser Arbeit keine Erkenntnisse für den Bordbetrieb daraus erwartet werden können. Das Grundprinzip des probabilistischen Ansatzes bildet die Unfallstatistik mit Beschädigungen des Schiffskörpers. Die Projektgruppe HARDER [62] hat im Auftrage der IMO eine Analyse der aufgetretenen Schiffsunfälle erstellt und damit Wahrscheinlichkeiten für Beschädigungen des Schiffsrumpfes definiert. Auf dieser Basis lassen sich Leckquader definieren, die die in der Praxis aufgetretenen Lecks widerspiegeln und an denen man den Sicherheitsstandard eines Schiffes messen kann. Aus dieser Tatsache ergibt sich dann, daß die Sum-

me aller Wahrscheinlichkeiten Eins ergeben muß (vgl. mit Abschnitt 2.4.1).

$$\sum p_i \stackrel{!}{=} 1.$$

### 2.1.7 HARDER-Project und Anmerkungen zu SOLAS 2009

Leider scheint die Berechnung des Unterteilungsindizes in einiger Hinsicht kompliziert. Gerade bei Fehlern in der Berücksichtigungen der Öffnungen an Deck kann der Wert für  $A$  schnell verfälschen. Schon van Dyck (zitiert in: [39]) hat auf Fehler bis zu 5% bei der Benutzung unterschiedlicher Software hingewiesen. Das Grundproblem der probabilistischen Lecksicherheit ist, daß nur unzureichende Datensätze vorhanden sind. Die genauen Leckausdehnungen sind meist nicht protokolliert, gerade bei kleineren Lecks [38] (vgl. mit Abschnitt 1.2.2).

Wegen der Komplexität von Leckbedingungen kann SOLAS 2009 nur bedingte Lecksicherheit bieten. Dazu hat man folgende Vereinfachungen getroffen [29]:

- Räume innerhalb einer Abteilung die keine verzögerte Flutung verursachen, werden als *sofort geflutet* betrachtet. Dies umfasst einen Zeitraum von 60 Sekunden. Anders verhält es sich bei Räumen die zwar nicht wasserdicht, aber doch eine bauliche Trennung vorweisen. Diese gelten zwar nicht als wasserdichte Abteilung, verhindern aber durch die bauliche Trennung eine sofortige Flutung. Im letzteren Falle müssen Zwischenstadien der Flutungen berücksichtigt werden.
- cross flooding: diese Räume haben so genannte Querflutungskanäle zu ihren gegenüberliegenden symmetrisch gelegenen Räumen. Diese bauliche Maßnahme dient dem Krängungsausgleich im Leckfall. Der Nachteil dieser Querflutung ist ein weitere Tiefgangszunahme.

Der Entwicklung der neuen harmonisierten Leckstabilitätsvorschriften ging die Arbeit des HARDER-Projekts [62] voran. Dieses EU-finanzierte Projekt hat im Wesentlichen die neuen SOLAS 2009 - Vorschriften entwickelt. Die Arbeitsgruppe um HARDER hat jedoch bestätigt, daß an dem Prinzip und der Methode von WENDEL festgehalten wurde.

Dies gilt vor allem für die Bestimmung des *s-Faktors*, also der Überlebenswahrscheinlichkeit eines Schiffes im Leckfall.

Dazu wurden Modelltests mit 7 verschiedenen Schiffstypen durchgeführt. Im Einzelnen waren die RoRo-, RoPax-, Passagier-, Schüttgut- und Containerschiff(e). Die Seegangsbedingungen in Nordsee und Nord-Atlantik wurden durch spezielle Wellenerregungen typisch für diese Regionen nachempfunden. Ein wichtiger Aspekt dieser Untersuchungen war der Einfluss des Freibords auf die *Überlebenswahrscheinlichkeit s*.

Für Schiffe mit hohem Freibord wurde herausgefunden, daß selbst bei geringem aufrichtenden Hebelarm das Schiff moderaten Seegang übersteht, dann allerdings auch zum Rollen angeregt wird. Dieses Rollen kann bei größeren Wellenhöhen zum Kentern führen. Jedoch bleiben solche Schiffe selbst bei gefordertem Minimum GZ von 0.05m bis zu einer signifikanten Wellenhöhe von 4m im Leckfall-Versuch stabil und schwimmfähig. Somit sind Schiffe im Endzustand der Flutung mit einem Freibord von 2m und mehr als Schiffe mit hohem Freibord zu klassifizieren, berücksichtigt man eine relative Bewegung des Schiffes von  $\frac{H_s}{2}$  mit  $H_s(max)$  von 4m. Die signifikante Wellenhöhe von 4m als Obergrenze ergibt sich aus der Auswertung von Leckstatistiken.

RoRo-Schiffe mit niedrigem Freibord sind besonders kenteranfällig. Dies ergibt sich durch die langen durchgehenden Ladedecks in Nähe der Leckwasserlinie. Bei Schiffen mit ausreichend Reststabilität wird der Pumpeffekt im Seegang ein Endzustand erreichen, bei dem sich einströmende und abfließende Wassermassen die Waage halten. Im Falle von nicht ausreichender Stabilität kentert das Schiff leeseitig.

Bei Nicht-RoRo-Schiffen mit kleineren inneren Räumen ergibt sich ein anderes Bild. Wenn diese Schiffe kentern, dann in der Regel luvseitig. Allerdings läuft Wasser vom Wetterdeck auch schnell ab und somit kommt es nicht, wie bei beschädigten RoRo-Schiffen, zum Ansammeln großer Wassermassen.

Für jedes beschädigte Schiff gilt jedoch, daß selbst bei glatter See ein solches nicht zu halten ist, wenn nicht ein positiver aufrichtender Hebelarm auf beiden



Seiten der y-Achse wirkt [62].

### **Untersuchungen an ausgewählten RoPax-Schiffen nach dem probabilistischem Prinzip**

Eine im Auftrage der finnischen Regierung gegebene Studie zur Untersuchung der SOLAS 2009 - Bestimmungen an ausgewählten Passagierschiffen beim finnischen Elomatic Marine Engineering Oy (ELOMATIC, 2007) [58] ist zu folgenden Ergebnissen gekommen:

Acht RoRo-Passagierschiffe wurden hinsichtlich der neuen Kriterien untersucht. Alle Schiffe erfüllen die Vorschriften des Stockholm-Übereinkommens (IMO Circular Letter No. 1891). Wie bereits weiter oben erwähnt, berücksichtigt SOLAS 2009 nicht mehr die Komponente „Wasser an Deck“. Sieben Schiffe sind mit SOLAS 90 konform, eines nach Resolution A.265. Die Untersuchungen haben ergeben, daß 3 der Schiffe nicht den notwendigen Unterteilungsindex A erreicht haben.

#### **2.1.8 Bauvorschriften im Vergleich**

Die Arbeitsgruppe (correspondence group) für Subdivision and Damage Stability (SDS), die auf der 51.Sitzung des SLF-Unterausschusses der IMO gebildet worden ist, hat die Aufgabe zugewiesen bekommen, die einzelnen Schiffbauvorschriften, also SOLAS'90, Stockholm Übereinkommen und SOLAS 2009, hinsichtlich des Schiffssicherheitsniveaus hin zu untersuchen. Falls diese Gruppe Unterschiede im Sicherheitsstandard feststellt, soll die SDS mit Lösungsvorschlägen aufwarten, wie diese Sicherheitsunterschiede beseitigt werden könnten. Die Arbeit der SDS Correspondence Group umfasste auch die Analyse bestehender Forschungsprojekte um die neuen SOLAS 2009-Vorschriften. Dazu wurde der Bericht des EUROYARDS Konsortiums zu einem entsprechendem Forschungsprojekt analysiert [33]. Dieses Projekt kam zu dem Ergebnis, daß bei den meisten der untersuchten Schiffstypen, darunter existierende und in Fahrt befindliche Schiffe, mit SOLAS 2009 höhere Anforderungen an das GM gestellt werden als bei SOLAS 90 + Stockholm. Lediglich kleinere Schif-

fe mit weniger Personen an Bord bildeten die Ausnahme. Das Ergebnis dieser Studie ist aber die Bekräftigung, daß SOLAS 2009 einen höheren Sicherheitsstandard darstellt als die etablierten deterministischen Schiffbauregelungen SOLAS'90 + Stockholm. Die Ergebnisse der Forschungen um das Safety-at-Sea/Deltamarin Konsortiums sind ebenfalls zitiert in [33]. Dort wird das Stockholm-Abkommen (SOLAS'95) als höchster Sicherheitsstandard gewertet, gleichzeitig aber eingeräumt, daß bei Konformität mit SOLAS'95 und SOLAS 2009 einige der untersuchten möglichen Kollisionsfälle nicht überstanden werden können. Safety-at-Sea/Deltamarin schlagen deshalb eine erneute Revision von SOLAS vor. Der dritte von der SDS untersuchte Forschungsbericht [33] war eine Untersuchung des HSVA Konsortiums an zwei unterschiedlichen RoPax-Fähren. Auch hier werden die neuen SOLAS 2009-Vorschriften gegenüber den existierenden SOLAS'90 + SOLAS'95-Kriterien als niedrigerer Sicherheitsstandard eingestuft. Dabei kam man zu dem Schluß, daß besonders der kleinere der beiden Entwürfe nur ein ungenügendes Stabilitätsvermögen aufweisen konnte, obwohl die Unterteilung SOLAS 2009 entsprach. Obwohl der größere Schiffsentwurf deutlich bessere Stabilitätsmerkmale aufwies, ist bei Beschädigung des unteren Laderaums ein schnelles Kentern und Sinken selbst bei ruhigem Wetter unvermeidlich. Eine Beschädigung des unteren langen Laderaums und die damit einhergehende Einbuße an Stabilität und Auftrieb bleibt eines der Kernprobleme in der Beurteilung der SOLAS 2009 Kriterien. Ein ernstzunehmendes Problem bilden also SOLAS2009-konforme RoPax-Schiffe mit langen unterem Laderaum und einem B/10-Längsschott zum Schutz vor Seitenbeschädigungen. Trotz dieses spezifischen Problems haben die Simulations- und Modellergebnisse bei ausgesuchten Leckfällen zu dem Schluß geführt, daß keines der beiden Schiffe 4.0m hohe Wellen überstehen kann. Das Resumè der HSVA ist demnach, daß eine Konformität nach SOLAS 2009 Schiffskonstruktionen mit Sicherheitsdefiziten hervorbringen kann. Deshalb schlägt die HSVA in Analogie zum Stockholm Übereinkommen (SOLAS'95) das Wasser-an-Deck Kriterium für RoPax-Schiffe auch für SOLAS 2009 vor. Ein aus Sicht des Autors bemerkenswerter Beitrag in der Diskussion der SDS ist der Kommentar der USA. Diese empfinden das Überstehen aller möglichen Flutungsszenarien als Widerspruch zum probabilistischen Konzept von SOLAS 2009 und argumentierten, daß wenn dies das Ziel der Schiffbauvorschriften sein soll, eine Rückkehr zum deterministischen Kon-

zept erfolgte, und damit einhergehend, eine geringeres Maß an Flexibilität im Designkonzept. Außerdem bemerkenswert ist Deutschlands Vorschlag zur Einführung des *Kenterindex C*. Dieser soll nur dann zum Tragen kommen, wenn das Schiff entweder kentert oder direkt sinkt. Damit sollen die Leckszenarios reduziert werden, die den Totalverlust des Schiffes zur Folge haben.

Die Diskussion um die Gleichwertigkeit der Sicherheitskonzepte von SOLAS'90, SOLAS'95 und SOLAS 2009 dauert an, auch weil die Correspondence Group mit nur 7.5<sup>5</sup> Stimmen gegen 5.5 Stimmen für die Gleichwertigkeit der Schiffbauvorschriften gestimmt hat. Schiffseigner und Bauwerft sind demnach gut beraten, wenn sie ihren RoPax-Entwurf bis zur Revision von SOLAS 2009 auf Konformität nach mehreren Schiffbauvorschriften testen lassen (vgl mit 2.1.1). Die im RoPax-Bau spezialisierte Flensburger Schiffswerft hat auf das Problem der grenzwertigen Auslegung der Schiffbaurichtlinien durch die Auftraggeber mit dem Hinweis kommentiert, daß Reeder durch einschlägige Vorschriften im Schiffbau nicht nur die Konformität in Stabilitätsfragen nachweisen sollten, sondern auch ein gutes Seegangsverhalten sicherstellen sollten [8]. Die Werft führte dazu das Beispiel eines Neubau-RoPax-Projektes an, welches, obwohl voll konform mit IMO's Stabilitätsvorschriften, bei Wellenhöhen von 5m bereits bis zu 30 Grad krängte und durch die Dynamik der See sehr kenteranfällig reagierte. Dies, so die Flensburger Schiffbauer, sei auf die Kompromisslosigkeit der auftraggebenden Reeder zurückzuführen, die ein Maximum an Ladungskapazität erzwingen wollen.

### 2.1.9 Formal Safety Assessment von RoRo-Passagierschiffen

Das *Formal Safety Assessment* (FSA) ist mit IMO MSC.Circ.1023 [24] Bestandteil der Richtlinien der IMO-Gesetzesentwicklung. In Paragraph 2 des Dokuments [24] wird die Absicht des FSA näher erläutert. FSA ist demnach ein rationaler und systematischer Prozess zur Analysierung des Risikos im Bereich der maritimen Sicherheit und des maritimen Umweltschutzes. Zudem ist es ein Werkzeug zur Evaluierung der Kosten und des Nutzens im IMO Entscheidungsprozess zur Reduzierung dieses Risikos. Damit bildet FSA eine wichtige Größe im IMO

---

<sup>5</sup>Deutschland hat mit halber Stimme für und eine halbe Stimme gegen das Konzept und damit für ein generelle Gleichwertigkeit gestimmt, was aber nicht für bestimmte Designkonzepte gelte.

Entscheidungsfindungsprozess.

Für den Bereich der RoRo-Passagierschiffahrt wurde speziell im Rahmen des Forschungsvorhabens SAFEDOR nach FSA-Methoden geforscht. Der dänischen Forschungsbericht (Vorlage zur 85.MSC-Sitzung mit Dokument MSC 85/17/2) detailliert das Forschungsprojekt zum FSA (Formal Safety Assessment), welches zur Aufgabe hatte, die Risiken von RoPax-Schiffen zu untersuchen und dabei die Risikokontrollmöglichkeiten (risk control options - RCO) abzuschätzen. Schlußfolgernd aus den Ergebnissen der Untersuchung hat man ein Risikomodel entwickelt, das den Anteil von Kollision (11%), Auf-Grund-Laufen (12%), Wasseraufnahme aus anderweitigen Gründen (50%) mit gesamt 73% festlegt und damit das Gros der Unfälle umfasst. Grundsätzlich hat man folgende Schwerpunktbereiche festgelegt, die zur Erhöhung der Sicherheit auf diesem speziellen Schiffstyp maßgeblich beitragen:

- Verbesserung der Sicherheit der Navigation  
(erweitertes BRM, verbesserte Navigationshilfen zur Vermeidung von Kollisionen und Grundberührungen)
- verbesserte Leckstabilität (unter anderem durch Erhöhung des Indexes A)
- verbesserte Feuerschutzmaßnahmen
- verbesserte Evakuierungsmaßnahmen (technisch und personell)

Damit richtet sich ein Hauptaugenmerk der Studie auf die Leckstabilität von RoPax-Schiffen und der Untersuchung zur Erhöhung der Überlebenswahrscheinlichkeit im Leckfall. Die Forscher kamen zu dem Schluss, dass weniger als USD 3 Millionen<sup>6</sup> für solche schiffbauliche Maßnahmen aufzuwenden sind. Dennoch beschränkt man sich nicht auf solche Maßnahmen allein. Ebenso wichtig wie effektiv sind Verbesserungen in der nautischen Sicherheit und beim Feuerschutz. Die oben genannten Vorschläge stützen sich im wesentlichen auf die Untersuchungen von Schiffsunfällen von 1994 - 2006 mit gewissen Beschränkungen zur Qualifikation als RoPax-Führungsglück. Ausgeschlossen wurden Schiffe, die kleiner als 1000 GRT sind, ebenso wurden keine Unglücksfälle berücksichtigt, die während Werftreparaturen oder der Zeit erfolgten, als ein Schiff in Warteposition (lay-up) verbrachte. Dabei hat die Studie nur RoPax-Schiff-Unfälle bis 2006

---

<sup>6</sup>Diese Zahl bezieht sich auf die gesamte RoPax-Flotte

erfasst. Die tragischen Unfälle der jüngsten Vergangenheit wie etwa der der *Princess of the Stars* im Juni 2008 mit 800 zu Tode gekommenen Menschen, konnte genauso wenig berücksichtigt werden, wie der Unfall der *Tera Tai Prima*, deren genaue Opferzahl nicht einmal bekannt ist. Schätzungen gehen aber von etwa 200-300 Toten aus.

Ein wichtiger Aspekt, der auch im Hinblick für die Empfehlungen die aus dieser Arbeit hervorgehen relevant ist, sind die angenommenen Besatzungsstärken. Die Untersuchungen gehen im Durchschnitt von etwa 100 Personen reine Besatzung aus. Diese Zahl wird vom Autor angezweifelt, da die viele Fährlinien im kurzen Europaverkehr operieren und wegen der kurzen Transitzeiten weniger Personal zur Betreuung der Fahrgäste zur Verfügung stehen. Eine Erklärung könnte sein, daß die Studie sich an den Informationen des Fährbetreibers Color-Line Norwegen orientiert hat. Diese unterhält sehr große RoRo-Passagierschiffe im Mittelstreckenverkehr und beschäftigt damit auch größeres nicht-seemännisches Personal (Restaurantbetrieb, Wellness etc.).

Für die Betrachtung der Konsequenzen für das Schiff selbst, sind diese Erhebungen aber irrelevant. Im Hinblick auf die Auswirkungen bestimmter Gefahrenquellen, hat die Expertenkommission das Entscheidungsbaumverfahren angewendet. Die gewonnenen Erkenntnisse daraus geben Aufschluss über die möglichen Konsequenzen eines einzelnen Ereignisses. So kann im Kollisionsfall, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.0125 per Schiffjahr eintritt, davon ausgegangen werden, daß 16% von den Kollisionen auf hoher See<sup>7</sup> als schwerer Schiffsunfall klassifiziert werden. Für den Fall, daß das Schiff sinkt, wird eine Wahrscheinlichkeit von 0.5 angenommen, daß dieses dann schnell sinkt. Im Gegensatz dazu, nimmt man für den Fall des Auf-Grund-Laufens bei freier Flutung an, daß hier das Risiko des schnellen Kenterns bei 0.165 liegt. Im Entscheidungsbaum zum Unfall durch Flutung\*<sup>8</sup> hat man eine Dreiteilung vorgenommen. Hier sind Wasseraufnahmen durch 1. Seeschlag, 2. durch offene Rumpfföffnungen oder 3. über das Fahrzeugdeck möglich. Dabei ist man zu dem Ergebnis gekommen, daß unter 1. Seeschlag das Risiko eines schnelles Kenterns bei 0.5 liegt, wenn die Wasseraufnahme über die Bugklappe erfolgt. Das gleiche Szeanrio, aber mit

---

<sup>7</sup>diese machen 63% der Gesamtzahl aller Kollisionen aus

<sup>8</sup>Flutung hier: alle Fälle, die nicht durch Bombenanschlag, Kollision oder Grundberührung entstammen (Intaktfall)

Wasseraufnahme über die Heckklappe führt zu einer Risikobewertung mit 0.1 Hinreichend anschaulich ist damit das tragische Ereignis des Untergangs der Estonia reflektiert.

Die Notwendigkeit für eine eingehende Untersuchung zur verbesserten Lecksicherheit von RoPax-Schiffen wird mit diesem Report unterstützt. Aus den bisher öffentlich gemachten Informationen aber, wird der Bereich Training für den Leckfall selbst aber nicht genannt. Gerade aber die Unfälle der jüngsten Vergangenheit haben aber gezeigt, daß durch präventive Maßnahmen und ein höheres Bewusstsein für das Überleben eines Schiffes im Leckfall eine Reihe von schweren Unfällen hätten vermieden oder aber doch in ihrem Ausmaß gemildert werden können. Dieses Manko scheint bisher wenig Beachtung unter den Experten der Branche zu finden, die die Operateure der Schiffe oft ausklammern. Die rein technologische Betrachtung mit verbesserter Hardware und ausgereifteren Konzepten ohne Berücksichtigung des Human Element wird auch in Zukunft nicht ausreichend sein, um schwerwiegende Unglücke zu vermeiden.

## 2.2 Der Einfluß des Human Element im WE-Fall

Der Wassereinbruch kann, wie im Kapitel I beschrieben, unterschiedliche Ursachen haben. In der Regel ist es ein Versagen der gesamten Qualitätspolitik innerhalb des Systems Schiff, des Systems Schiffsbetriebes an Land und den Schnittstellen beider Systeme. Nur sehr selten sind meteorologische Ursachen alleinverantwortlich für schwere Schiffsunfälle. So haben Unfalluntersuchungen der schwedischen maritimen Behörde ergeben, daß 70% der Schifffahrtsunfälle auf menschliches Versagen zurückzuführen sind. Darunter fallen schlechtes Management, Übermüdung und mangelnde Kommunikation (Dinwoodie, 2007, p.16 [5]). Nordstrom kommt zu einem gleichen Ergebnis und verallgemeinert, daß 70% aller Unfälle auf See auf den Faktor Mensch zurückzuführen sind (in: Dinwoodie, 2007, p.17 [5]). Eine genaue Quantifizierung des menschlichen Faktors in der Unfallanalyse ist durch die Art der Untersuchung schwierig, weil die Ziele der Auswertung von den Auftraggebern festgelegt werden und sich in den wenigsten Fällen mit denen der akademischen Analyse decken (Schröder, 2003 [55]).

Unbestritten ist jedoch der Einfluss des menschlichen Faktors als Hauptursache

von Schiffsunfällen jedweder Art, auch wenn die Quantifizierung sich schwer gestaltet. Die Ursachen darin liegen sicher nicht nur in der steigenden Tonnage, sondern vor allem im Mangel an qualifizierten Fachkräften (manpower shortage). Der norwegische Klassifizierer DNV hat in einer Untersuchung festgestellt, daß sich die Unfallzahlen in den letzten 5 Jahren verdoppelt haben [17] und erklärt dies mit dem Mangel an Offiziersnachwuchs und des somit einhergehenden Erfahrungsdefizites und dem starken ökonomischen Druck in der Schifffahrtsbranche. Gleichzeitig wächst der Druck und die Frustration beim fahrenden Personal, weil Ablösezeiten nicht eingehalten werden können oder die Urlaubszeiten wegen Personalmangel verkürzt ausfallen. Die Karriere auf See hat auch anderweitig an Attraktivität verloren, bedenkt man die kurzen Liegezeiten fernab der Städte mit wenig Freizeitmöglichkeiten, den großen psychischen und physiologischen Druck bei kurzen Terminalzeitfenstern, das fehlende gesunde soziale Umfeld und die Kriminalisierung von Seefahrern<sup>9</sup>.

### 2.2.1 Die Ausbildung der Schiffsoffiziere nach STCW

Zum derzeitigen Zeitpunkt<sup>10</sup> befindet sich die International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW-Konvention) sowie der zugehörige STCW-Code in einem umfassenden Erneuerungsprozeß. Bei der Diplomatischen Konferenz im Juni 2010 in Manila soll dann die revidierte STCW Konvention und der dazugehörige Code verabschiedet werden. Das Inkrafttreten der neuen STCW wird dann für 2012 erwartet. Das für die Revision zuständige Organ der IMO ist der STW-Unterausschuss. Dort werden die Anforderungen an Schiffsbesatzungen und damit die Ausbildungsnotwendigkeiten diskutiert. Schon auf der 40.Sitzung dieses Ausschusses hat der Interessenverband der Ölindustrieflotte OCIMF einen Änderungsentwurf zum STCW-Code Teil A vorgelegt (IMO Dokument STW 40/7/36). Nach diesem Entwurf reicht es nicht mehr nur aus, daß zur Erneuerung des auf 5 Jahre begrenzten Befähigungszeugnisses ausreichend Seefahrtszeit nachgewiesen wird. Ähnlich wie bei

---

<sup>9</sup>Ein Rickmers Kapitän wurde nach einem Anlegemanöverunfall für mehrere Monate in einem US-Hochsicherheitsgefängnis inhaftiert

<sup>10</sup>Stand: April 2010

Berufswiedereinsteigern möchte die Ölindustrie, die in großem Maße Tanker aller Art chartert und durch sogenannte vetting inspections die Qualitätsstandards durch unabhängige Vetting-Inspektoren feststellen lässt, durch Prüfungen oder Teilnahme an Kursen mit Prüfungsleistung sicherstellen, daß Schiffsoffiziere ihr Wissen auffrischen und sich weiterbilden. Bis zum derzeitigen Zeitpunkt reicht es zur Neuausstellung der Zeugnisse aus, wenn Schiffsoffiziere nachweisen können, daß sie innerhalb der vergangenen 5 Jahre seit Ausstellung des Befähigungszeugnisses mindestens 12 Monate in ihrer Funktion zur See gefahren sind. Diese Haltung der Industrie reflektiert das gestiegene Sicherheitsbewußtsein innerhalb der Branche und es wird deutlich, daß nicht nur eine Auswahl von bestimmten Fähigkeiten einer regelmäßig wiederkehrenden Prüfung unterzogen werden soll, sondern dass die Anforderungen des gesamten STCW-Spektrums getestet werden müssen. So kann es durchaus sein, dass ein 2.Nautischer Offizier über viele Jahre in dieser Funktion tätig ist und seit langem das Befähigungszeugnis als Kapitän besitzt. Wird er dann im Eilverfahren als Kapitän eingesetzt, ist die Wahrscheinlichkeit von großen Wissenslücken groß. Dies gilt auch rekursiv für einen lang gefahrenen Kapitän. Der Vorschlag OCIMF's nimmt deshalb ein zusätzliches Kriterium auf, um das Befähigungszeugnis neben der bestehenden nachzuweisenden Seefahrtszeit verlängern zu lassen. Demnach müssten Inhaber von Befähigungszeugnissen nach 5 Jahren eine Prüfung erfolgreich ablegen, die ihrem bisherigen Befähigungszeugnis entspricht. Diese Forderung ist nicht beschränkt auf bestimmte Schiffstypen und Inhaber von Befähigungszeugnissen als Kapitän oder Erster Nautischer Offizier könnten alle 5 Jahre entsprechend in ihrem Wissen zur Leckstabilität und Lecksicherung geschult werden. Dieser Vorschlag hat sich aber nicht durchgesetzt und damit wird auch in der neuen Fassung von STCW dem Umstand nicht Rechnung getragen, daß Seeleute über die Dauer ihrer Dienstzeit an Bord von Schiffen nicht über Lecksicherheitsfragen nachgeschult werden müssen.

Aus den Kompetenzanforderungen von STCW (siehe Tabelle 2.1) geht klar hervor, daß von Wachoffizieren kein theoretisches Grundlagenwissen oder -können der Leckstabilität verfügen müssen. Es wird lediglich Wissen über die einzuleitenden Maßnahmen bei teilweisem Auftriebsverlust angefordert. Bei Kapitänen und Ersten Offizieren verlangt STCW (siehe Tabelle 2.2) zusätzlich:



Tabelle A-II/1: Aufrechterhaltung der Seetüchtigkeit des Schiffes

Befähigung	Theoretische Kenntnisse und praktische Fertigkeiten	Methoden für den Nachweis der Befähigung	Kriterien für die Bewertung der Befähigung
Aufrechterhaltung der Seetüchtigkeit des Schiffes	<p>Schiffsstabilität: Für den regulären Betrieb ausreichende Kenntnis und Anwendung von Stabilitäts-, Trimm-, und Streßstabellen, Diagrammen und Hilfsmitteln zur Belastungsberechnung</p> <p>Theoretische Grundkenntnis der Maßnahmen, die im Falle eines teilweisen Verlustes der Schwimmfähigkeit zu treffen sind</p> <p>Theoretische Grundkenntnis des Verschlusszustandes eines Schiffes</p> <p>Schiffbau: Allgemeine Kenntnis der wichtigsten schiffbaulichen Verbände eines Schiffes und der korrekten Bezeichnungen für die verschiedenen Teile</p>	<p>Prüfung und die Bewertung von Nachweisen, die in einer oder mehrerer der nachstehend aufgeführten Ausbildungsformen erbracht worden sind:</p> <p>anerkannte im praktischen Dienst gewonnene Erfahrung</p> <p>anerkannte Erfahrungsdienstzeit auf einem Ausbildungsschiff</p> <p>gegebenenfalls anerkannte Ausbildung am Simulator</p> <p>anerkannte Ausbildung an Laborgeräten</p>	<p>Die Stabilitätsbedingungen entsprechen den geltenden Stabilitätskriterien der IMO bei allen Ladebedingungen</p> <p>Die Maßnahmen zur Sicherstellung und Aufrechterhaltung des Verschlusszustandes eines Schiffes entsprechen der allgemeinen üblichen Praxis</p>

Tabelle 2.1: Verbindliche Mindestanforderungen für die Erteilung von Befähigungszeugnissen an nautische Wachoffiziere auf Schiffen mit einer Bruttoreaumzahl von 500 oder mehr

Kenntnis der Auswirkungen von Wassereinbruch in eine Abteilung auf die Trimmlage und die Stabilität eines Schiffes als Folge eines Schadens sowie der zu treffenden Gegenmaßnahmen

Ausgiebige theoretische Grundlagen werden hier nicht formuliert. Im Regelfall erwartet der Autor dann das Abarbeiten einer Checkliste, die von der Reederei für den Leckfall erarbeitet worden und in den meisten Fällen im ISM Manual des Schiffes verankert ist. Die Checklisten, die der Autor an Bord beziehungsweise in der Borddokumentation der ausgewählten Beispielschiffe gefunden hat, waren sehr allgemein gehalten und damit in ihrer Anwendung sehr limitiert. Die Bewertung der Lecksituation, einschließlich der Leckstabilität, ist entweder gar nicht beschrieben oder nur beiläufig erwähnt. Die genauen Mittel zur Leckanalyse fehlten in allen vom Autor eingesehenen Bordunterlagen.

### 2.2.2 Verantwortung des Flaggenstaates

Der Flaggenstaat ist verantwortlich für die Sicherheitsstandards auf den Schiffen. Neben schiffbaulichen Vorschriften umfassen diese auch die nautisch-technische Ausrüstung sowie Ausbildungsstandards der Besatzung. In der Regel sind diese Standards IMO-konform, da 168 Staaten als Mitglied dieser Organisation fast den Gesamtbestand der Welthandelsflotte repräsentieren und sich auch mit der Sicherheitsgesetzgebung der IMO identifizieren. Gleichzeitig obliegt dem Flaggenstaat aber auch die Kontrolle zur Einhaltung dieser Standards. In Deutschland wird nach wie vor zweigleisig geprüft. So ist das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie zuständig für Baumusterprüfungen von Nautischen Geräten und Anlagen sowie von Funkanlagen, die teilweise auch an Bord überprüft werden. Das zweite Standbein der Flaggenstaatenkontrolle bildet die Seerberufsgenossenschaft. Deren Verantwortungsbereich liegt in der Schiffssicherheit. Dazu gehören, *inter alia*, die Ausstellung des Schiffssicherheitszeugnisses, die Zulassung von Rettungsmitteln, Besichtigung von Schiffen sowie Bordkontrollen zum ISM Code. Die Überprüfung von Schiffen unter ausländischer Flagge erfolgt unter dem Regime der Hafenstaatenkontrolle (PSC). Um einen gleichwertigen Standard innerhalb einer Region zu garantieren und damit die Harmonisierung voranzutreiben, sind benachbarte Flaggenstaaten oft einem örtlichen

Tabelle A-II/2: Kontrolle von Trimm, Stabilität und Belastung

Befähigung	Theoretische Kenntnisse und praktische Fertigkeiten	Methoden für den Nachweis der Befähigung	Kriterien für die Bewertung der Befähigung
Kontrolle von Trimm, Stabilität und Belastung	<p>Grundkenntnis des Schiffbaus und der die Trimmlage und Stabilität berührenden Theorien und Faktoren zur Erhaltung von Trimm und Stabilität und der dafür vorgeschriebenen Maßnahmen</p> <p>Kenntnis der Auswirkungen von Wassereintrich in eine Abteilung auf die Trimmlage und die Stabilität eines Schiffes als Folge eines Schadens sowie der zu treffenden Gegenmaßnahmen</p> <p>Kenntnisse der IMO-Empfehlungen über die Stabilität von Schiffen</p>	<p>Prüfung und die Bewertung von Nachweisen, die in einer oder mehrerer der nachstehend aufgeführten Ausbildungsformen erbracht worden sind:</p> <p>anerkannte im praktischen Dienst gewonnene Erfahrung</p> <p>anerkannte Erfahrungsdienstzeit auf einem Ausbildungsschiff</p> <p>gegebenenfalls anerkannte Ausbildung am Simulator</p>	<p>Die Stabilitäts- und Belastungszustände bewegen sich jederzeit im Rahmen sicherer Grenzen</p>

Tabelle 2.2: Verbindliche Mindestanforderungen für die Erteilung von Befähigungszugnissen an Kapitäne und Erste Offiziere auf Schiffen mit einer Bruttoreaumzahl von 500 oder mehr

Memorandum of Understanding (MoU) beigetreten. Insgesamt 27 europäische Nationen haben einen Mindeststandard im Paris MoU vereinbart. Dieser besagt, daß ein Flaggenstaat mindestens 25% aller anlaufenden Schiffe unter fremder Flagge kontrollieren muß. Zunehmend werden aber in der Branche Unmutsäußerungen laut, weil die Effektivität dieses Organs angezweifelt wird. Die philippinischen Behörden werden beispielsweise mitverantwortlich für das Führungsglück der *Princess of the Stars* gemacht. Der Vorwurf lautet hier, daß die viel zu seltene und laxe Untersuchung an Bord schwerwiegende Mängel einfach übersieht. So beschränkten sich einige Bordinspektionen lediglich auf die Kontrolle einiger weniger Schiffspapiere. Dabei hat die Vergangenheit offenbart, daß Rettungseinrichtungen oder Überlebensausrüstungen oftmals gar nicht in Augenschein genommen worden sind [64]. Eine Untersuchung von LLOYD's MIU, einem führenden Analysten der Schifffahrtsbranche, ergab, daß das Fährunternehmen Sulpicio innerhalb der letzten 28 Jahre eine erstaunlichen Unfallstatistik von 45 Fällen aufzuweisen hat, davon 7 Untergänge. Einer dieser Unfälle, namentlich der der *Orient* zeigt Analogien zum Schiffsunfall der *Princess of the Stars* mit dem Ergebnis, daß 200 Menschen ihr Leben ließen [18]. Beide Schiffe wurden von Sulpicio betrieben. Darüber hinaus werden auch Stimmen der Kapitäne laut, die die Praxis des geringen Umstandes einiger PSC Beamten anprangern, bei dem also PSC Kontrolleure ein offensichtlich gut gewartetes Schiff ein dem Anschein nach nicht-konformes Schiff vorziehen [11].

Zusammenfassend lässt sich also formulieren, daß der Flaggenstaat in die Pflicht genommen ist, den Sicherheitsstandard seiner Flotte nicht nur zu regulieren, sondern auch zu kontrollieren hat. Dabei bleibt es den Behörden überlassen, inwiefern sie dieses selbst organisieren oder an anerkannte private Organisationen delegieren <sup>11</sup>.

### 2.2.3 Verantwortung des Managements

Das Management einer Reederei bestimmt den Kurs des Unternehmens in vielfältiger Richtung. Neben wirtschaftlichen Aspekten zählen dazu auch die Reputation der Reederei nach außen und eine Sicherheitskultur innerhalb der Mitarbeiterschaft. Letztere bildet die Grundlage für das Sicherheitsbewußtsein der

---

<sup>11</sup>Diese Aufgaben können zum Teil auch Klassifikationsgesellschaften wie der Germanische Lloyd übernehmen

Besatzungen sowie der Mitarbeiter an Land. Ein Management, daß sich abwendet von den Bedürfnissen und Rückmeldungen aus der fahrenden Flotte riskiert nicht nur das Leben der Menschen an Bord, sondern auch das Schiff selbst. Darüber hinaus toleriert man die Gefahr, die Umwelt zu verschmutzen und das Reedereiansehen zu verunglimpfen. Zahlreiche Seeunfälle der Vergangenheit haben deutlich gemacht, daß das Reedereimanagement in vielfacher Hinsicht, und durch Hierarchien hinweg, versagt hat. Im Falle der *Herald of Free Enterprise* 1987 wurden die vielen Eingaben der Kapitäne oder anderer Schiffsoffiziere ignoriert, die bauliche Verbesserungen forderten<sup>12</sup> oder ein verlässliches System zur Bestimmung der Ladungsmenge und -masse forderten. Im Laufe der Untersuchungen zu dieser Arbeit wurde im Durchschnitt schiffsseitig eine Diskrepanz bei den Gewichtswerten von etwa 10% in Exzess angegeben. Dies ist sicher nur eine grobe Schätzung, deckt sich aber mit den Unfällen der letzten Jahre in der Containerschiffahrt. In der Regel fallen die Gewichte deutlich schwerer aus als in den Unterlagen dokumentiert. Demnach ist seit dem Unfall der *Herald of Free Enterprise*, bei der im Untersuchungsbericht auf die Notwendigkeit der Messung des Gewichts von schweren Ladeeinheiten hingewiesen wurde, keine maßgebliche Änderungen in dieser Richtung unternommen worden. Ein weiterhin nicht auszuschließendes Problem in der Organisation des Schiffsbetriebes sind klare und genaue Richtlinien im Arbeitsablauf. Diese sind in Abstimmung mit der Schiffsführung vom Management der Reederei zu erlassen. Wie wichtig ein klarer und logischer Betriebsablauf mit Auffangsystemen bei Ausfall einzelner Komponenten ist, zeigt wiederum das Beispiel der *Herald of Free Enterprise* (vgl. mit Anhang A). Aber ein funktionierendes Safety Management System berücksichtigt auch die Organisation des Bridge Team Managements. Dieses sicherzustellen, ist Aufgabe der Reederei oder eines Verantwortlichen der Reederei. In den meisten Fällen werden diese Aufgaben von der Designated Person Ashore (DP), also einer Verbindungsperson zwischen Schiff und Management, die an Land ihren Dienst versieht, wahrgenommen. Fällt diese wichtige Säule, dann kann dies, wie das Beispiel der *Princess of the Stars*<sup>13</sup> (vgl. mit B im Anhang) zeigt, zum Totalverlust eines Schiffes beitragen.

---

<sup>12</sup>z.B. stärkere Ballastwasserpumpe, Brückenindikatoren der Außenhautöffnungen, Tiefgangsanzeigen auf der Brücke

<sup>13</sup>Hier versäumte der Kapitän seinen 2.Offizier zu konsultieren, der verantwortlich für die Wetterinformationen war.

Als ein weiterer wichtiger Aspekt der Managementverantwortung ist hier die Schaffung einer sicheren Arbeitsatmosphäre zu nennen. Eine Schiffsbesatzung, die unter stetigen Zeitdruck steht und durch das Management keine Unterstützung bei der Überwindung sozialer Schwierigkeiten erfährt, stellt notwendigerweise ein hohes Sicherheitsrisiko dar. Besonders RoPax-Schiffe sind starkem zeitlichen Druck ausgesetzt, da enge Zeitfenster in Häfen und knapp kalkulierte Überfahrten wenig Zeitpuffer für verzögernde Einflüsse einräumen [3]. Das Management einer Reederei muss, um einen sicheren Schiffsbetrieb zu gewährleisten, die Rolle des "Faktor Mensch" in die Sicherheitsplanung mit einbeziehen. Dazu zählt eine qualitative Personalpolitik sowie Wissen über die Risikofaktoren die durch Besatzungen auf See verursacht werden. Kristiansen ([41], S.315) zitiert diese menschlichen Ursachen aus einer Studie [56]):

- Unaufmerksamkeit
- Zweideutigkeit in der Kapitän - Lotsen Zusammenarbeit
- Ineffizientes Brückendesign
- Unzureichende Arbeitsanweisungen
- Schlechte physische Verfassung
- Schwache Sehstärke
- Ermüdung
- Exzessiver Alkoholkonsum
- Starker Personaldurchsatz
- Große Risikoakzeptanz
- Inadequate Beleuchtung und Beschilderung
- Unsachgemäßer Radargebrauch
- Unsicherer Gebrauch von Schallsignalen
- Missachtung der Kollisionsverhütungsregeln

Diese Faktoren müssen durch das Management detailliert in Betracht gezogen und in den vom ISM vorgeschriebenen Auditsystemen kontrolliert werden. Ein ganz wesentlicher Aspekt zur sicheren Schiffsführung landseitig ist die Bereitstellung der notwendigen Stabilitätsunterlagen. Im Falle der *Herald of Free Enterprise* 1987 wurden eklatante Mängel in den Werftunterlagen aufgedeckt. So stimmte das Leerschiffsgewicht nicht mehr mit den Originalunterlagen überein, was sich hauptsächlich auf einen später vollzogenen Umbau zurückführen ließ. Auch die KG-Grenzkurven wiesen erhebliche Diskrepanzen zu den Werftunterlagen auf. Bedingt durch den starken buglastigen Trimm von mehr als 1m im Hafen von Zeebrugge, hätten die Stabilitätsunterlagen dementsprechend ergänzt werden müssen. Auch in dieser Hinsicht ist seit dem Unglück der *Herald of Free Enterprise* 1987 noch kein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht worden. BIMCO - Präsident Embiricos hat im März 2008 bei einer Konferenz in Connecticut die schlechte Stabilitätsdokumentation an Bord kritisiert, wobei er insbesondere die Art der Unterlagen als unzumutbar abwies. Nach Embiricos ähneln diese eher Installationsmanuals und nicht Stabilitätshandbüchern [10]. Neben der technischen Expertise braucht das Reedereimanagement ein funktionierendes ISM-System, welches sicherstellt, daß nur gut ausgebildetes und verlässliches Personal einen Dienst an Bord versieht. Entsprechende Trainingsmaßnahmen für das Bordpersonal muß dabei fester Bestandteil der Sicherheitspolitik des Unternehmens sein.

### 2.2.4 Der ISM-Code und Managementverantwortung

Die deutsche Übersetzung des ISM-Codes lautet Internationaler Code für Maßnahmen zur Organisation eines sicheren Schiffsbetriebes und Verhütung der Meeresverschmutzung. Dieser von der IMO verabschiedete Code ist verankert in SOLAS Kapitel IX und hat seine Wurzeln im Seeunfall der *Herald of Free Enterprise*. Weil bei diesem, für die Entwicklung der Schiffssicherheit außerordentlich weittragenden Seeunfall, gravierende Mängel nicht nur an Bord, sondern auch beim Reedereimanagement an Land festgestellt wurden, beschränkt sich der ISM-Code auch nicht nur auf das Schiff, sondern schließt das Reedereimanagement mit ein. Die Normen DIN EN ISO 9000 bis 9003 sind die Grundlage für die Darlegung des Qualitäts-Management-Systems nach der ISO-Reihe und bildeten die Grundlage der Entwicklung eines entsprechenden Pendant für die

Schifffahrt. Eines der formulierten Ziele ist, daß das Unternehmen kontinuierlich die Verbesserung der Fähigkeiten der Mitarbeiter an Land und an Bord zur Umsetzung von Sicherheitsmaßnahmen fördert und insbesondere die Vorbereitung auf Notfallsituationen in den Bereichen Schiffssicherheit und Meeresumweltschutz berücksichtigt. Um die Schnittstelle zwischen Landbetrieb und Schiff effektiv zu gestalten, muß eine Verbindungsstelle zwischen dem Unternehmen und Schiffsbesatzungen mit unmittelbarem Vortragsrecht bei der Unternehmensspitze eingerichtet werden. Diese Aufgabe nimmt die Designated Person wahr. Genau diese Stelle fehlte bei Townsend Car Ferries, dem Betreiber der *Herald of Free Enterprise*, was letztlich den Status Quo konservierte.

Der Wassereinbruch ist in den ISM Code implizit aufgenommen, denn es handelt sich um ein relevantes Notfallszenario, welches laut ISM Code dokumentiert sein muß. Der Reeder ist also in die Pflicht genommen, den Kapitänen und Schiffsoffizieren ein Mittel in die Hand zu geben, um im Wassereinbruchfall die Überlebenswahrscheinlichkeit hinreichend genau einschätzen zu können. Der ISM Code muß die Maßnahmen nicht dokumentieren, sondern kann auf die entsprechenden Bordunterlagen verweisen. Die gängige Praxis ist aber die, daß mit Hilfe von Checklisten der Wassereinbruch unter Kontrolle gebracht werden soll. Dies ist aber wegen der Verallgemeinerung und Kürze der Ausführungen kaum gegeben. Während der Untersuchungen von 4 ISM Manuals, ist bei einem der Wassereinbruch überhaupt nicht berücksichtigt worden, sondern wurde unter der Kategorie "Kollision" mitprotokolliert. Dabei wurde neben den Einleitung von Rettungsmaßnahmen, Umweltverschmutzungsvermeidung, Beweissicherung etc. lediglich festgehalten, daß die Schwimmfähigkeit und Stabilität ermittelt werden muß. Einige der untersuchten Anweisungen zum Leckfall beschränkten sich auf drei bis 4 Punkte und diese lesen sich sinngemäß so:

1. Generalalarm, Kapitän auf die Brücke
2. Festellen Tiefgang, Position und anderer Daten
3. Wasserdichte Schotten schließen
4. Peilen Tanks und Festellen des Lecks
5. Reederei/Küstenstaat informieren



6. Ermitteln Schwimmfähigkeit und Stabilität
7. Evakuieren, wenn nötig einleiten

Durch die Schilderung der Problematik im vorigen Kapitel wird deutlich, daß der Leckfall zu komplex und vielfältig in seiner Erscheinungsform ist, als daß dies durch ein kurzen Notfallplan geregelt werden kann. Im Folgenden Kapitel soll daher aufgezeigt werden, wie mit derzeitigen Methoden und Hilfsmitteln ein System geschaffen werden kann, daß den Kapitän in die Lage versetzt, eine hinreichend genaue Bewertung der Lecksituation vorzunehmen. Der ISM Code bildet dazu lediglich den gesetzlichen Rahmen, er lässt weiten Spielraum zur Interpretation, welches in der Absicht der Autoren lag.

Dabei ist die Umsetzung der Forderungen aus dem ISM Code ein wichtiger Teil der Sicherheitspolitik eines Schifffahrtsunternehmens. Operiert dagegen ein Schiff nicht ISM konform, können dem Reeder gegenüber haftungsrechtliche Ansprüche geltend gemacht werden. Dieses leitet sich dann aus der Tatsache ab, daß das Schiff nicht seetüchtig ist, wenn ein gravierender ISM Verstoß vorliegt. Der ISM Code schreibt daher in der Regel 6.1 [25] die Verantwortung der Reederei<sup>14</sup> im Hinblick auf den Kapitän vor, daß erstere Folgendes sicherstellen muß:

1. Der Kapitän muss ordnungsgemäß qualifiziert sein für das Kommando über das Schiff ;
2. Der Kapitän muß hinreichend vertraut sein mit dem Company's Safety Management System; und
3. Dem Kapitän muß die nötige Unterstützung zugestanden werden , so daß dieser seine Aufgaben sicher durchführen kann.

Das Maritime Safety Committee der IMO hat auf der 85.Sitzung mit der Resolution MSC 273(85) [30] Ergänzungen zum International Safety Management Code beschlossen, die am 1.Juli 2010 in Kraft treten. Dabei wird das risk assessment näher in den Vordergrund gerückt und Schifffahrtsunternehmen müssen

---

<sup>14</sup>In der englischen Fassung wird der Begriff *Company* gewählt, der unter Regel 1 "Definitionen" festlegt, wer unter diese Kategorie fällt

ab 1 Juli dann sicherstellen, daß nicht nur Notablaufpläne für Gefahrensituationen erstellt werden, sondern daß auch vorher ein entsprechendes risk assessment durchgeführt wird. Die Anforderung des risk assessments bestehen bereits im Internationalen Code für die Gefahrenabwehr auf Schiffen und in Hafenanlagen (ISPS Code). Es ist dem Schifffahrtsunternehmen freigestellt, in welcher Form das risk assessment vollzogen wird. Dies reiht sich nahtlos in die neue Forderung nach der Sicherheitsmaßnahmen für key shipboard operations, also Kernaufgaben des Schiffsbetriebes. Dabei bleibt es im Ermessen der Reederei, für welche Elemente des Schiffsbetriebes Anweisungen, Checklisten oder spezifische Pläne erstellt werden müssen. Ab 1.Juli müssen solche Instrumente für alle Schiffsoperationen erstellt werden, die die Sicherheit des Schiffes, der Crew oder der Umwelt betreffen. In der Sektion 8 des revidierten Codes wird zudem die Notfallbereitschaft explizit geregelt. Es reicht nicht mehr aus, lediglich Not-situationen zu identifizieren; ab 1.Juli müssen die Voraussetzungen geschaffen werden, diese auch mit einem entsprechenden Maßnahmenkatalog zu adressieren. Die Kenntnisse, Fähigkeiten und Bereitschaft der Besatzung sind ab 1.Juli jährlich durch interne Audits zu überprüfen.

Die neuen Vorgaben des ISM Codes formen demzufolge den rechtlichen Rahmen für ein erweitertes Bewußtsein der Besatzung und des Managements an Land für Notfälle wie beispielsweise den Leckfall. Durch die internen Audits wird implizit die Nachweispflicht der Besatzung zur Fähigkeit der Bekämpfung eines Leckunfalls gefordert.

### 2.2.5 Verantwortung des Kapitäns

Da dem Kapitän die Hauptverantwortung für den sicheren Schiffsbetrieb obliegt und er gleichzeitig als oberste Weisungsinstanz an Bord Maßnahmen zur sicheren Schiffsführung in Form der Master's Standing Orders erläßt, soll hier näher auf dessen Rolle eingegangen werden.

Die Vergangenheit der ro-ro-Fährschifffahrt hat offenbart, daß schwere Fährungs-glücke oftmals ohne Kollision einhergehen und sich daher auf den Intaktfall

reduzieren lassen<sup>15</sup>. Im Folgeschluß stellt dann der Human Factor nach wie vor das schwächste Bindeglied in der Sicherheitskette dar. So hat beispielsweise der Kapitän der *Princess of the Stars* trotz der schlechten Wettervorhersagen das Risiko der Überfahrt aufgenommen. Er war dem Irrglaube aufgelaufen, daß sein "großes" Schiff den Wetterbedingungen trotzen würde. Es muß auch ein Grundverständnis über grundlegende Stabilitätsfragen gefehlt haben, denn es wurde versäumt, die leeren Ballasttanks für diese Reise zu fluten und damit die Stabilität des Schiffes zu erhöhen.

Als einer der wichtigsten Aufgaben des Kapitäns ist es, die seemännischen Fähigkeiten und Kenntnisse seiner Besatzung sicherzustellen. Er kann dies nicht alleine bewerkstelligen, sondern braucht dabei die landseitige Unterstützung. Dazu dient auch das weiter oben genannte ISM Manual, welches ein Notfallmaßnahmeplan zum Leckfall enthalten sollte. In der Regel enthält das ISM Manual auch eine Aufgabenbeschreibung für jede Person der Schiffsführung<sup>16</sup>. Somit sind auch die Aufgaben des Kapitäns eindeutig festgelegt.

In jedem Falle entscheidet aber der Kapitän, welche Maßnahmen zur Leckbekämpfung getroffen und ob das Schiff evakuiert werden muß. Darüber hinaus wird vom Kapitän erwartet, daß er sich über die Endschwimmlage bei Vorlage der notwendigen Informationen ein hinreichend genaues Bild der Situation machen kann. Es wird bezweifelt, daß der Kapitän aufgrund seiner Ausbildung dazu in der Lage gewesen ist (siehe Fragebogen im Anhang). Aus diesen Gesichtspunkten heraus, glaubt der Autor, daß die Notwendigkeit der Weiterbildung gegeben ist, die schließlich in der Erarbeitung des Model Courses "Stability and Survivability in Damaged Ship Condition" mündete.

Ein ganz wesentlicher Aspekt hierbei ist auch die personelle Entwicklung in der Seeschifffahrt. Die Welthandelsflotte und damit auch der Anteil der RoRo-Fährschiffe ist stark expandiert. Auch die Schiffsgröße hat signifikant zugenommen, ohne daß proportional die Besatzungsstärke gestiegen wäre. Während der Brückendienst vor 30 Jahren mit einem halben Dutzend Personal versehen wur-

---

<sup>15</sup>z.B. Herald of Free Enterprise, Estonia, Jan Heweliusz, Princess of the Stars

<sup>16</sup>Im Falle der Herald of Free Enterprise war beispielsweise nicht eindeutig geklärt, ob Kapitän oder 1.Offizier Abteilungsleiter des Deck Departments waren

de, ist heute der Wachoffzier über lange Zeit der Einzige, der physisch auf der Brücke anwesend ist<sup>17</sup>. Die Industrie leidet auch unter erfahrenerem Personal, denn der Verbleib der professionellen Seeleute in der Flotte ist auf 5 Jahre geschrumpft.

### **Bridge Team Management**

Eine wichtige Komponente, die nahezu parallel mit der Entwicklung des ISM Codes verlief und aufgrund von Unfällen der jüngsten Vergangenheit immer mehr Bedeutung zugemessen wird [4], ist das Bridge Team Management. Aus Untersuchungen des britischen Seeunfalluntersuchungskommission (MAIB) geht dieser Trend hervor und hat die internationale Gemeinschaft der Schiffseigner durch ihre Interessenvertretung ICS (International Chamber of Shipping) dazu bewegt, diesen Missstand öffentlich anzuprangern. In einem entsprechenden Circular an die Mitglieder hat ISC darauf hingewiesen, daß ICS's Bridge Procedures Guide (BPG) nicht befolgt worden sind. Die BPG beinhalten Regeln guter seemännischer Praxis mit der Forderung, daß Non-Konformitäten unter Anwendung des ISM Sicherheitsmanagementsystem zu identifizieren und anschließend zu beseitigen sind.

## **2.3 Ein Soft-Systems Versuch zur Verbesserung der RoRo-Sicherheit**

Am Fachbereich Maritime Studies der Universität Plymouth werden schwer überschaubare schiffahrtsspezifische Themengebiete verschiedener Art in Modelle umgewandelt. Diese sind Teil der *Soft Systems Methodology* und dienen der gründlichen Analyse komplexer Systeme wie es beispielsweise der Schiffsbetrieb ist. Obwohl den Untersuchungen ein unternehmerisches Risk Management unterlegt ist, sind Komponenten dieser Methode durchaus auch auf die Schiffsicherheit übertragbar. Das Grundprinzip der Überlegungen ist dabei das Managementproblem. Dieses ist ein Human Activity System und damit im Gegensatz zum strukturierten Produktionsprozess, z.B. bei Fertigung von Maschinen

---

<sup>17</sup>Der wachhabende Matrose wird oft mit anderen Aufgaben betreut und muss nur zu bestimmten Zeiten auf der Brücke anwesend sein [Verkehrsdichte, Schlechtwetter]

und Anlagen in seiner Natur 'soft'. Daraus resultiert ein stark verästelter Entscheidungsbaum, den man sich beispielsweise verdeutlichen kann, wenn man sich vorstellt, wie einzelne Kapitäne im Wassereinbruchfall an Bord reagieren. Je nach deren Wissen, Erfahrung, physischen Zustand, kultureller Herkunft, gegenwärtigen Gemütszustand und dergleichen, wird ein komplexer Prozess wie der Wassereinbruch unterschiedlich bekämpft werden. Dies ist wegen der fehlenden klaren Vorgehensweise im Wassereinbruchfall, der in seiner Natur schon ohnehin sehr komplex ist, auch gar nicht anders zu erwarten.

Mit der Methode des *Soft System Methodology* kann man die Handlungsmaßnahmen herausfinden die notwendig sind, ein bestehendes System nach genau definierten Gesichtspunkten zu verbessern. Dazu werden die derzeitigen Abläufe erst aufgelistet und dann analysiert, bevor man über die Verbesserung des operativen Systems nachdenkt. Wichtig ist dabei die genaue Definition der primären Aktivitäten des Systems. Unwichtige Elemente müssen der Übersichtlichkeit wegen ausgeklammert werden, die gegenseitigen Abhängigkeiten der einzelnen Elemente aber genau nachvollzogen werden.

Während aber eine betriebswirtschaftliche Analyse eines Unternehmens durch seine Bilanz leicht nachzuverfolgen ist, wartet das Sicherheitsmanagement in dieser Hinsicht mit Schwierigkeiten auf. Denn: Ein unfallfreies Jahr auf einem Schiff ist nicht gleichbedeutend mit akzeptablem Sicherheitsstandard, obwohl ohne Zweifel eine Korrelation in der Wahrscheinlichkeit eines Unfalls besteht. Dennoch lassen sich die Ziele eines sicheren Schiffsbetriebes formulieren und detaillieren und damit auch in geeigneter Form messen<sup>18</sup>.

Ein wesentlicher Bestandteil der abstrakten Systemwelt der *Soft System Methodology* ist die *root definition*, eine Grundsatzdefinition, die die bekannten Schwierigkeiten des Systems in brauchbare Lösungsansätze für selbiges transformiert (Dinwoodie, 2007 [5]), also eine Art Ideales System darstellt. Da eine solche Grundsatzdefinition vom Standpunkt einer Person in diesem System formuliert wird, gibt es eine Reihe sehr unterschiedlicher *root definitions*. So wird der Marketing Manager eine andere *root definition* für eine Fährlinie angeben können als

---

<sup>18</sup>Anzahl der Trainingsmaßnahmen, Defizite bei den Audits, Anzahl der non-conformity reports durch die Besatzung, Ergebnisse aus PSC Kontrollen, erfolgreiche Evakuierungsübungen etc.

der Fährkapitän oder der Nautische Inspektor. Jeder dieser beteiligten Parteien hat eine andere Sichtweise. Auch hier lässt sich exemplarisch wieder das Beispiel der *Herald of Free Enterprise* anbringen: Während der Eigner seine Schiffe möglichst kostengünstig fahren lassen wollte und auf sicherheitstechnische Minimausrüstung bestand, war für den Kapitän schon im Eigeninteresse an einem hohen operativen Sicherheitsstandard gelegen. Der technische Inspektor hatte für nautische Ausrüstung (Indikatoren für Außenhautöffnungen auf der Brücke) ebenso wenig ein offenes Ohr wie die Operations Manager. Jeder der Beteiligten hätte eine andere Grundsatzdefinitionen formulieren können. Dabei lassen sich *root definitions* auch aus Sicht von Managern, Flaggenstaaten-Administrationen, Versicherern, Eignern und Kunden festlegen.

Um nun das SSM Konzept anzuwenden, ist neben der *root definition* auch ein *Conceptual systems model* nötig. Dies ist eine Art Widerspiegelung des Systems wie es nach der *root definition* funktionieren sollte. In einer feinen Auflösung eines Systems wird das Human Element genauso aufgenommen wie finanzielle Aspekte, Kundenwünsche und auch das Risiko des Betriebes im Substandardbereich. Daraus lässt sich das in Abbildung 2.1 aufgezeigte *rich picture* entwerfen, welches den Sachverhalt lose strukturiert.

Eine proaktiven Weg zur Vermeidung von Fährunglücken ist Dinwoodie in seiner *Soft Systems Methodology* Studie über Managertraining und -ausbildung in der Fährindustrie gegangen [5]. Ein Angelpunkt der Studie ist die Einsicht des Managements Training und Schulungen für das Personal in ausreichendem Maße zu organisieren und zum Teil auch zu finanzieren. Dinwoodie [5] stellt dabei die These auf, daß die Effizienz und die Leistung der Arbeitnehmer für den Unternehmer eine profitable Investition ist. Dafür gibt es aber keine empirischen Beweise, da objektive Datenbeständen in Firmen nicht vorlagen oder die Isolation der vorhandenen Daten statistisch nicht möglich ist (Aston & Green in Dinwoodie (2007) [5]). Um aber Managementtraining im Allgemeinen erfolgreich durchzuführen, gehören einige Grundvoraussetzungen. Diese umfassen die Einsicht in die Notwendigkeit des Zuhörens, die so genannten *receiving skills* und auf einem höheren Niveau auch die Fähigkeiten der *responding skills*, also des Eingehen auf das Gesagte der Mitmenschen welches sich im weiteren Verlauf sogar in Wohlgefühl entwickelt (Bloom (1964) in Dinwoodie (2007, p.4 [5])). Unverzichtbar ist zudem die Fähigkeit des Hineinversetzens in Mitglieder

des Teams welches man führt. Nur so wird das System angeregt sich zu entwickeln und zu verbessern. Der Kapitän der "Princess off the Stars" hat diese Managementqualitäten nicht bewiesen: Weder beachtete er die Warnungen des Hafenskapitäns noch die der Passagiere, die aufgrund der unzumutbaren Schiffsbewegungen Landschutz erbat, noch konsultierte er seinen 2.Offizier zur Wetterlage. Darüber hinaus fehlte dem Kapitän ein weiterer wichtiger Grundsatz als erfolgreicher Manager, den Moreby (1968, in Dinwoodie, p.5 [5]) als Entwicklung eines Wertgefühls beschreibt. Nur wenn ein Wertgefühl entsteht und vermittelt wird, werden sich auch Angestellte eines Unternehmens mit demselben identifizieren und es ebenfalls wertschätzen.

Will man nun das Managertraining nach der *Soft Systems Methodology* analysieren und folgt man dem Handlungsablauf wie am Beispiel im Abschnitt 2.3 beschrieben, dann wird nach der Strukturierung im Rich Picture eine passende *root definition* formuliert. Diese wird anschließend einem Test unterworfen. Dieser Test ist unter dem Akronym CATWOE bekannt und setzt sich wie folgt zusammen [5]:

- C Customer: Der Kunde als Subsystem; Im Fährbeispiel sind es die Passagiere und Frachtkunden
- A Actor: Die Partei(en), die das System durch ihre Nachfrage antreiben (Buchungsagenten)
- T Transformation: Der ausgeführte Prozess; in diesem Falle also der Personen- und Warentransport mit der Fähre
- W Weltanschauung: Beschreibt das Ergebnis, welches sich aus der root definition ergibt und hier dem Betreiber von Fährdiensten zugeordnet werden kann
- O Ownership: sind die Eigentümer des Systems (hier: die Eigentümer der Fährreederei [shareholder])
- E Environmental constraints: Einflüsse aus dem Umfeld die die Operation Grenzen setzen: Legislative, finanzielle und techni-

sche Voraussetzungen, öffentliches Interesse am Fährgeschäft und dessen Risiko

### **SSM zum Sicherem Schiffsbetrieb im WE-Fall**

Rich Picture

Wendet man nun die SSM für den Wassereinbruch auf RoRo-Passagierschiffen an, dann ergibt sich zunächst eine lose Struktur, die als Rich Picture wiedergegeben ist. Dabei ist die Systemgrenze klar zu definieren und beschränkt sich daher nur auf diesen Schiffstyp in einem bestimmten Fahrtgebiet und einer bestimmten legislativen Voraussetzung.

Grundsatzdefinition (*root definition*)

Wie weiter oben erwähnt, ergeben sich für die jeweiligen Elemente eines Systems unterschiedliche root definitions. Der Wassereinbruchfall als Notfall ist ein Prozeß von sehr kurzer Dauer und muß von der Managementmethode der SSM insofern unterschieden werden, als die die ergreifenden Maßnahmen nicht über Monate oder gar Jahre greifen, sondern unmittelbar. So läßt sich folgende root definition des Kapitäns formulieren:

Ein System zur Sicherstellung der Schwimmfähigkeit und Stabilität des Schiffes und nach Feststellung, daß dies nicht möglich ist, ein System zur sicheren und unverzüglichen Evakuierung der Passagiere und Mannschaft.

Diese Grundsatzdefinition muß nun noch nach dem CATWOE - Schema getestet werden:

- C     Customer: Passagiere und Besatzung des Schiffes
- A     Actor: Kapitän und Schiffsbesatzung
- T     Transformation: Aus dem Notfallzustand wird der Normalbetrieb wiederhergestellt oder aber das sichere Verlassen des Schiffes organisiert
- W     Weltanschauung: Kapitän und Besatzung



- O Ownership: Schiffseigentümer
- E Environmental constraints: Einflüsse aus dem Umfeld die die Operation Grenzen setzen: Leckabwehrmittel an Bord, Kenntnisstand und Fähigkeiten der Schiffsführung und der restlichen Besatzung, technische Ausrüstung zur Bewertung des Wassereintruchs, Qualität der Stabilitäts- und Leckunterlagen

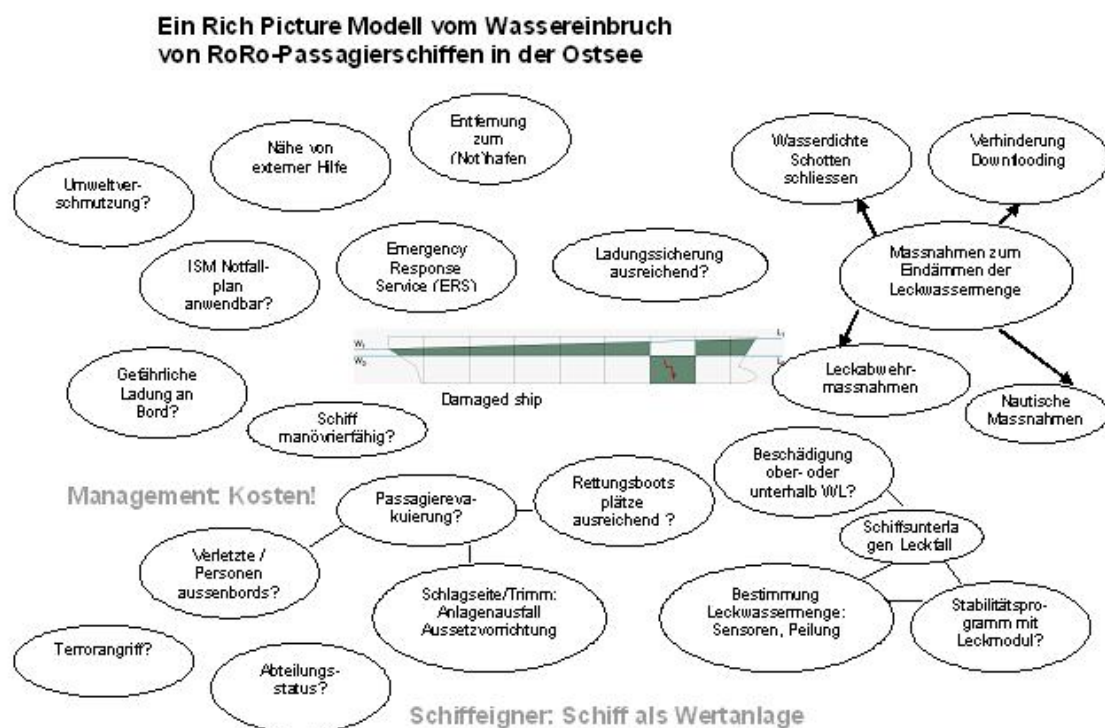


Abbildung 2.1: Rich Picture Fähre

*Das Conceptual Model*

Das zu entwickelnde Conceptual Model ist ein Modell, welches den aktuellen Systemstatus widerspiegelt und außerdem die Aktivitäten definiert die notwendig sind, damit das System nach der root definition funktioniert. Dabei lassen sich unterschiedliche Ebenen von root definitions und conceptual models entwerfen, jede mit einer bestimmten Auflösung, also beispielsweise die Bewertung der Leckstabilität mit Bordmaßnahmen, also das Ausklammern von Fakten wie Passagierevakuierung, Leckabwehr- oder Nautische Maßnahmen. Die Abbildung 2.2 zeigt ein stark vereinfachtes Conceptual Model für den Wassereintrichfall.

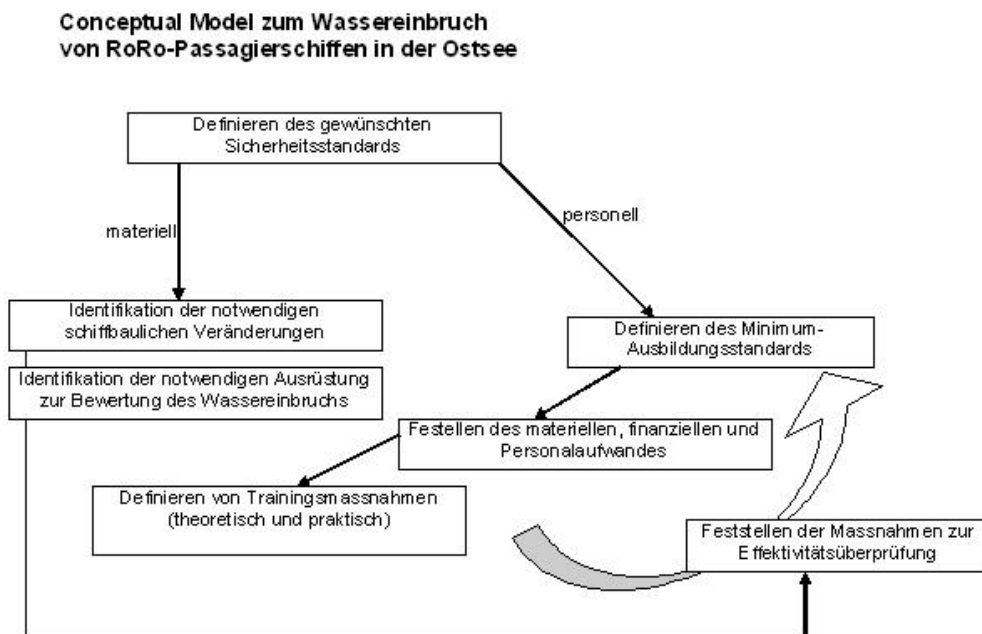


Abbildung 2.2: Conceptual Model

## 2.4 Risikobewertung mit Bayes'schen und probabilistischen Netzen

Das Bayesian Network Modell (BN Modell) ist ein praxisnahes und dynamisches Modell zur Bewertung von Risiken in vielen Bereichen wie der Medizin, in der Fertigung von Erzeugnissen, im Investmentbereich und auch in der Sicherheitsforschung. Das Modell gründet sich auf die Wahrscheinlichkeitstheorie des englischen Mathematikers Thomas Bayes und ordnet jeder unbekanntem Variablen innerhalb des Modells Wahrscheinlichkeiten zu. Variablen im Sinne des Wasser-einbruchfalls könnte beispielsweise die *Schottstellung* der wasserdichten Schotten im Schiff sein. Diese können dann mit den binären Werten „auf“ und „geschlossen“ belegt werden. Es liegt dann in der Analyse des Experten zu entscheiden, welche Wahrscheinlichkeit sie oder er den beiden Zustände „auf/geschlossen“ zuordnet. Ist den Regeln gemäß (SOLAS) die Schottstellung der wasserdichten Schotten im Seebetrieb „geschlossen“, könnte man eine Wahrscheinlichkeit von „1“ für den Zustand „geschlossen“ definieren. Dies ist aber praxisfern, da im Seebetrieb der Maschinenraum besetzt ist und Wartungsarbeiten das Öffnen und Schließen der Schotten erfordert (vergleiche mit 1.2.4). Eine Variable kann aber auch diskrete Zustände annehmen. So könnte man eine Variable *Distanz zum Nothafen* mit den drei relevanten Zuständen:

1.  $d \leq 5\text{nm}$
2.  $5\text{nm} < d < 10\text{nm}$
3.  $10\text{nm} \leq d$ .

Auch kontinuierliche Variablen wie die Lenzleistung der Lenzanlage könnte definiert werden. Der große Vorteil dieses Modells liegt in dessen Dynamik. Liegen beispielsweise neue Wahrscheinlichkeitswerte oder gesicherte Kenntnisse über einer der Variablen vor, so kann man diese in das Modell direkt eingeben, ohne das Modell neu zu erzeugen. Deshalb werden BN Modelle auch als vielseitig anwendbares Werkzeug von Risk-Managern hoch geschätzt (siehe [6], Seite 5). Wie schon bei der Soft System Methodology (siehe 2.3), so werden auch Bayes'sche Netzwerke (BN) als Hilfsmittel zur Erfassung komplexer Zusammenhänge und

zur anschließenden Entscheidungsfindung benutzt. Damit haben sich BN als risk management Werkzeuge etabliert. Typisch für deren Anwendung ist demzufolge ein komplexes Problem, welches mathematisch entweder nicht vollständig zu erfassen ist, oder stark vom Faktor Mensch abhängt, also im Grunde genommen wiederum nicht vollständig mathematisch erfasst werden kann. Zur Risikominimierung oder zur Gewinnmaximierung versucht man, solche komplexen Prozesse zu automatisieren, also Software zur Entscheidungsfindung zu entwickeln. Jensen and Nielsen [37] haben aber geschlussfolgert, daß Entscheidungsfindungen bei Ungewissheit nicht gänzlich von Computern übernommen werden können.

Ähnlich dem SSM - Modell, versucht ein BN die Realität abstrahiert nachzubilden. Dabei werden unwichtige oder vernachlässigbare Variablen nicht berücksichtigt und die implementierten Variablen mit Wahrscheinlichkeitstabellen unterlegt. Norman Fenton beschreibt das Bayes'sche Modell als gerichteten Graph, zusammen mit den dazugehörigen Satz von Wahrscheinlichkeitstabellen. Es handelt sich also um eine grafische Darstellung oder ein grafisches Modell, welchem ein mathematisches Modell unterlegt ist. Einer der großen Vorteile des BN ist die verhältnismäßig einfache Anpassung des Modells bei Veränderungen desselben. Diese Veränderungen können aus neuen Informationen hervorgehen, die im Laufe der Zeit gewonnen werden. Eine komplette Neu-modellierung ist nicht nötig, lediglich das up-date muß eingearbeitet werden. Damit unterliegt das BN einer konstanten Anpassung an die reale Welt.

Eine der grundsätzlichen Schwierigkeiten bei der Modellierung von BN oder auch anderen Risikomodellen mit Wahrscheinlichkeiten ist die Korrelation von Variablen, also die gegenseitige Einflussnahme. Zur Simulation des Wassereintruchs bei den beiden Beispielschiffen in dieser Arbeit wurden beispielsweise die unterschiedlichen Füllstände der Tanks mitsimuliert. Dabei mußte das Modell die Abhängigkeit von bestimmten Außentanks von ihrem gegenüberliegenden Tank berücksichtigen. Um hohe Torsionsmomente zu vermeiden, wird ein Schiffsoffizier große Seitentanks in der Regel nicht unterschiedlich befüllen. Weiterhin sind die unterlegten Wahrscheinlichkeiten der Wahrscheinlichkeitstabellen von der Experteneingabe abhängig. Diese können stark untereinander

variieren, wobei aber der Einfluss einer einzelnen Variablen durch Simulation festgestellt werden kann.

Wie bereits weiter oben bemerkt, kann eine Variable verschiedene Werte annehmen. Das grafische Modell eines BN verbindet Variablen mit gerichteten Verbindungen. Diese Struktur wird auch als gerichteter Graph bezeichnet. Weil es keine mathematische Modellierung für den Fall einer zyklischen Verbindung für BN gibt, wird als Alternativbezeichnung für BN auch der Begriff *directed acyclic graph* (DAG) benutzt. So bald eine Variable eine übergeordnete Variable besitzt, muß eine Wahrscheinlichkeitstabelle für diese bedingte Wahrscheinlichkeit erstellt werden. Die Tochtervariable beschreibt demnach den Fall der bedingten Wahrscheinlichkeit mit der Bedingung, daß die Tochtervariable nur dann eintritt, wenn die übergeordnete Variable auch eintritt. Für den Fall, daß eine Variable keine übergeordnete Variable besitzt, wird diese mit einer marginalen Wahrscheinlichkeitstabelle unterlegt.

### **d-Separation**

Die Werte für die Wahrscheinlichkeitstabellen werden in vielen Fällen statistischen Datensätzen entnommen (dies könnte beispielsweise die Leckgröße im Kollisionsfall sein). Wenn solche Daten nicht vorliegen, ist es die Expertenmeinung, die hier die Werte quantifiziert. Wenn ein BN auf dieser Grundlage entwickelt wurde, kann es aber sein, daß bestimmte Variablen im Laufe der Untersuchungen nicht mehr Wahrscheinlichkeiten unterliegen, sondern ganz bestimmte und konkrete Daten vorliegen. Wird beispielsweise, wie im Kapitel 1.2.4 beschrieben, die umstrittene Festlegung getroffen, die wasserdichten Schotten auf automatisches Schließen zu programmieren, liegt ein konkreter Wert für die Schottstellung vor. Mit einer solchen Information wird das Modell in seinem Informationsfluss geblockt und es werden keine neuen Aufschlüsse an die benachbarte Variable weitergegeben. Eine solche Variable ist dann instanziiert oder, wie man auch sagt, *d-separiert* von ihren Nachbarvariablen.

Aus der Abbildung 2.3 wird ersichtlich, daß die Variable C7 d-verbunden ist mit C5, C1 und A. Es sei angenommen, daß Variable A eine Nachfolgervaria-

ble B hat und es gilt:  $P(B/A)$ . Sei weiterhin angenommen, daß Variable C auch Vorgängervariable von Variable B sei. Um nun den Einfluss von A auf C zu untersuchen, muß die Wahrscheinlichkeit  $P(B/A,C)$ <sup>19</sup> untersucht werden. Im Falle einer d-Separation der Variablen A und B durch die instanzierte Variable C muß gelten:  $P(A/B,C) = P(A/C)$

**Kettenregel für Bayes'sche Netzwerke**

Die Gesamtheit aller Variablen eines BN sei  $\Omega$  mit  $\Omega = A_1, \dots, A_n$ . Dann ist die gemeinsame Wahrscheinlichkeitsfunktion  $P(\Omega)$  ein Abbild des BN und wird unter Zuhilfenahme der Kettenregel für Bayes'sche Netzwerke [37] wie folgt berechnet<sup>20</sup>:

$$P(\Omega) = \prod_{i=1}^n P(A_i / pa(A_i)).$$

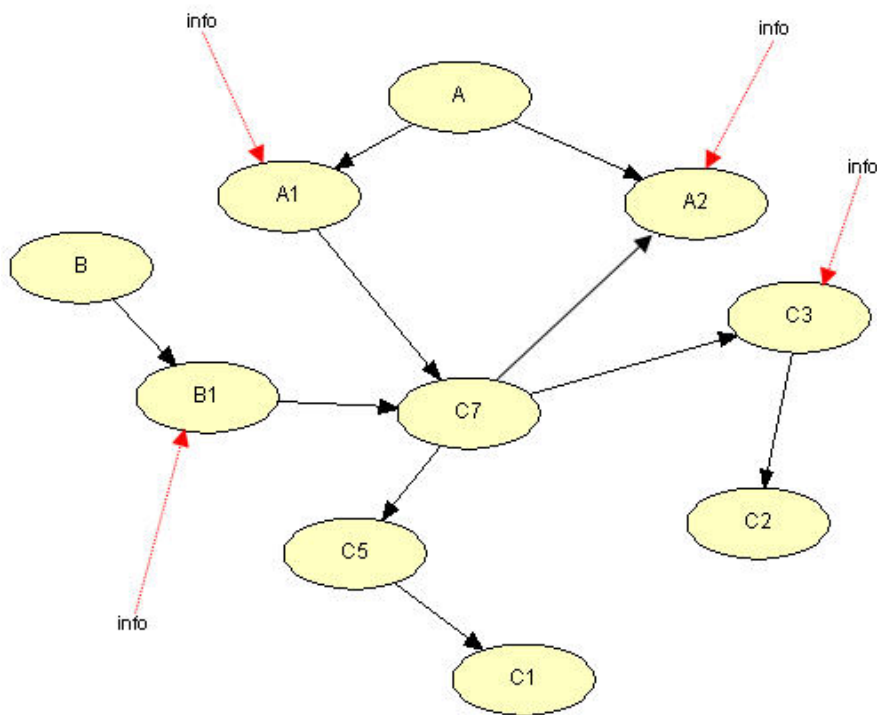


Abbildung 2.3: d-separation

<sup>19</sup> $P(B/A,C)$  bezeichnet dasselbe wie  $P(B/A \cap C)$

<sup>20</sup> $pa(A_i)$  steht für parents of  $A_i$ , also "Elternvariable"

### 2.4.1 Ein einfaches BN-Modell zum Wassereinbruch

Das folgende BN-Modell dient zur Veranschaulichung der Anwendungsmöglichkeiten von Bayes'sche Netzwerken und ist stark vereinfacht. Der Wassereinbruchfall ist sehr komplex und umfasst eine Vielzahl von Variablen. Diese können unterteilt werden in: schiffbauliche Eigenschaften, Beladungszustand einschließlich Füllstände von Bunker, Wasser sowie in "menschlicher Faktor". Für das folgende BN-Modell werden aber lediglich vier verschiedene Variablen angenommen. Das BN-Modell, also die grafische Darstellung des vereinfachten Wassereinbruchs ließe sich dann wie in Bild 2.4 darstellen:

Nun muß noch jeder einzelnen Variable die Wahrscheinlichkeitstabelle zugeord-

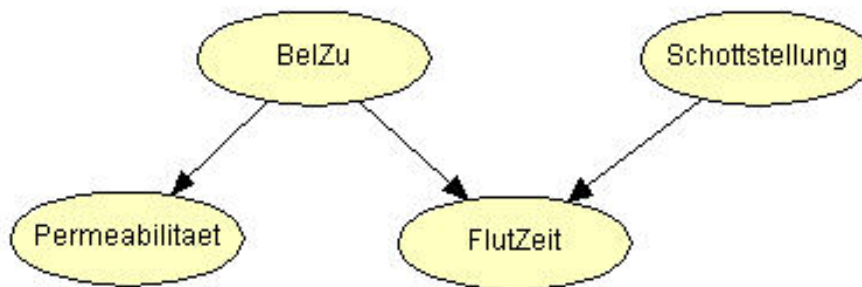


Abbildung 2.4: BN-Modell zum Wassereinbruch

net werden. Wenn keine statistischen Werte vorliegen, dann kann eine Experteneinschätzung für das Aufstellen der Wahrscheinlichkeitstabellen herangezogen werden. Es sei hier angenommen, daß die folgenden Tabellen von einem Experten einer Fährreederei nach statistischen Leckuntersuchungen und persönlicher Beurteilung aus Erfahrungswerten erstellt worden sind. Dabei werden nur Lecks unterhalb des Schottendecks angenommen.

$P(\text{Beladungszustand}) = (\text{voll beladen, teil beladen})$  mit  $P(\text{BelZu}) = (0.65, 0.35)$

$P(\text{Schottstellung}) = (\text{offen, geschlossen})$  mit  $P(\text{SchottSt}) = (0.3, 0.7)$ .

#### **Beladungszustand**

Für den Beladungszustand werden hier nur zwei Zustände angenommen: Der voll beladene Zustand sowie der teilbeladene Zustand. Die Zuweisung dieser Werte kann sehr einfach über eine statistische Analyse der vergangenen Abfahr-

P(Permeab./BelZu)	voll	halb beladen
0.2	0.70	0.10
0.5	0.25	0.25
0.8	0.05	0.65

Tabelle 2.3: P(Permeabilität/BelZu)

Schottstellung	offen		geschl.	
Beladungszustand	voll	teil	voll	teil
$t \leq 5 \text{ min}$	0.65	0.35	0.50	0.45
$t \leq 15 \text{ min}$	0.30	0.50	0.45	0.40
$t > 15 \text{ min}$	0.05	0.15	0.05	0.15

Tabelle 2.4: P(t/BelZu, SchottSt)

ten einer Fähre vorgenommen werden. Eine weitere Aufweitung, also mit mehr Tochtervariablen, müßte für die saisonale Unterscheidung vorgenommen werden.

### Schottstellung

Hier werden ebenfalls nur zwei Zustände angenommen: "Offen" beziehungsweise "Geschlossen". Es wird weiterhin festgelegt, daß bei geöffneter Schottstellung nur *eine* benachbarte Abteilung geflutet wird, nicht aber der gesamte Rumpf unterhalb des Schottendecks. Die Flutungszeit muß sich also bei geöffneter Schottstellung und gleicher Leckgröße erhöhen. Da Leckgrößen aber uneinheitlich sind, werden die Wahrscheinlichkeitstabellen der Variablen diesen Umstand quantitativ reflektieren.

### Flutungszeit

Die Flutungszeit<sup>21</sup> in diesem Modell ist, wie aus der grafischen Darstellung ( 2.4) zu entnehmen ist, von der Schottstellung und dem Beladungszustand abhängig. Andere Faktoren wie beispielsweise die Leckgröße wurden hier aus anschaulichen Gründen nicht berücksichtigt.

<sup>21</sup>Die Flutungszeit in diesem Modell ist der Zeitraum zwischen Eindringen des Leckwassers in den Schiffskörper und dem Erreichen des Endzustands der Flutung



### Permeabilität

Da die betroffene Abteilung mit dem entsprechend betroffenen Raum im Leckfall vorher nicht bekannt ist, werden auch hier Wahrscheinlichkeiten zugeordnet. Offensichtlich ist die Permeabilität selbst wieder abhängig von der Art des betroffenen Raumes (Maschinenraum, Laderaum, Tank, etc.). Die hier zugeordneten Wahrscheinlichkeiten sind willkürlich angenommen, ebenso alle anderen Wahrscheinlichkeiten und daher nicht repräsentativ.

Unter Benutzung der Kettenregel ergibt sich dann die Wahrscheinlichkeitsfunktion des Bayes'schen Netzwerkes:

$$P(\text{BelZu}, \text{SchottSt}, \text{Perm}, t) = P(\text{BelZu}) * P(\text{SchottSt}) * P(\text{Perm}/\text{BelZu}) * P(t/\text{BelZu}, \text{SchottSt}).$$

Es sei nun weiter angenommen, daß der Analyst interessiert an der Wahrscheinlichkeit der drei Flutungszeitintervalle bei geschlossenen Schotten ist, also in  $P(t/\text{SchottSt} = \text{geschlossen})$ . Die Tabelle 2.5 stellt die Gesamtwahrscheinlichkeitsfunktion für die Schottstellung "geschlossen" dar. Die letzte Spalte addiert die Summe der jeweiligen Reihe und marginalisiert damit die Variablen Permeabilität und Beladungszustand heraus.

Demnach gilt:

	0.2		0.5		0.8		Marginalization
t ≤ 5 min	0.15925	0.0110	0.05688	0.0276	0.0114	0.0717	0.3378
t ≤ 15 min	0.14333	0.0098	0.05119	0.0245	0.0102	0.0637	0.3028
t > 15 min	0.01593	0.0037	0.00569	0.00919	0.0011	0.0239	0.0595
<i>P(t, BelZu, P, SchottSt = geschl.)</i>							<b>0.7000</b>

BelZu: voll, halb

Abbildung 2.5:  $P(t, \text{BelZu}, \text{Perm}, \text{SchottSt}=\text{geschl.})$

$$P(t / SchottSt = geschl) = \frac{P(t \cap SchottSt)}{P(SchottSt)}$$

$$P(t) = 0.7000$$

$$P(t \cap SchottSt) = (0.3378, 0.3028, 0.595)$$

$$P(t / SchottSt = geschl) = \left( \frac{0.3378}{0.7000}, \frac{0.3028}{0.7000}, \frac{0.595}{0.7000} \right)$$

$$P(t / SchottSt = geschl) = (0.4825, 0.4325, 0.085).$$

Wie mathematisch zu erwarten war, summieren sich die Einzelwahrscheinlichkeiten  $P(t / SchottSt = geschl) = (0.4825, 0.4325, 0.085)$  zur Summe "1". Damit liegt also unter den angenommenen Ausgangswahrscheinlichkeiten die Wahrscheinlichkeit (das Risiko) des Flutens innerhalb von fünf Minuten bei etwa 48%, innerhalb von 15 Minuten bei etwa 43% und bei über 15 Minuten ist die Wahrscheinlichkeit etwa 9%. In diesem Szenario bleibt dem Schiff also in mehr als 90% der angenommenen Leckfälle keine Möglichkeit zur Evakuierung.

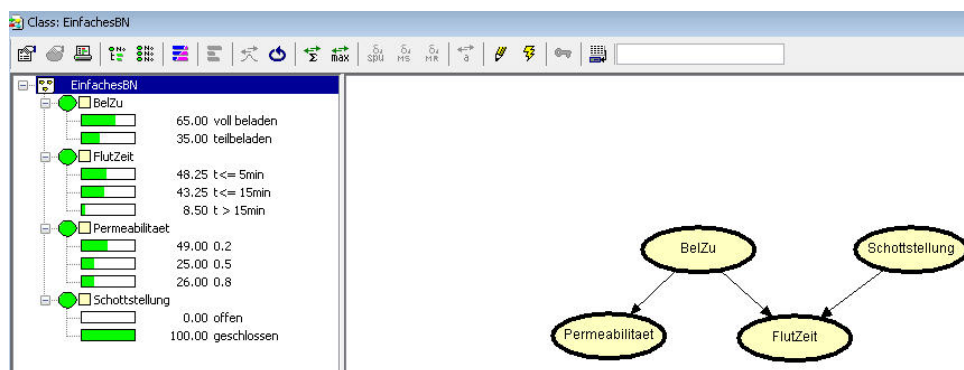


Abbildung 2.6: WE-Fall -BN mit Hugin

Ein komplexer Leckfall ist unter Hinzunahme professioneller Software vergleichsweise schnell modelliert und analysiert. Unter Benutzung des kommerziellen Softwarepakets Hugin wurde das hier errechnete BN-Modell noch einmal überprüft. Die Ergebnisse sind identisch und in der Abbildung 2.6 wiedergegeben:

Dieses Beispiel zeigt, wie Bayes'sche Netzwerke für das maritime Risikomanagement eingesetzt werden können. Die maritime Anwendung von Bayes'sche Netzwerken wurde bereits durch J.Wang gezeigt (siehe [67] und [69]) und ist nach Meinung des Autors durchaus übertragbar für den komplexen Wassereintrichfall.

### 2.4.2 Zusammenfassung Kapitel II

Das Kapitel II hat im Wesentlichen 2 Aspekte zur Lecksicherheit von Schiffen untersucht: Die schiffbaulichen Maßnahmen und den Einfluß des menschlichen Faktors (Human Element). Dabei ist aus dem vorher angeführten Argumentation zu entnehmen, daß die Diskrepanz zwischen schiffbaulichen und dem Sicherheitsstandard des Human Elements wahrscheinlich nie größer war als zum derzeitigen Zeitpunkt. Obwohl die großen Führungsglücke der Vergangenheit viele Schwachpunkte beim so genannten Human Element offenbarten, sind die Anstrengungen zur Verbesserung der Situation sehr begrenzt geblieben. So wurden bei der gleichen Konferenz, bei der BIMCO-Präsident Embiricos die Stabilitätsunterlagen kritisierte, gegenargumentiert. INTERTANKO-Direktor Peter Swift<sup>22</sup> sieht in der Vereinheitlichung solcher Stabilitätshandbuch-Standards durch die IMO die Arbeit der Besatzungen erschwert, weil die Hafenstaatenbehörden diese Dokumente dann zusätzlich prüfen müssten [10]. Zudem offenbart die Auswertung der Fragebögen, daß Kapitäne zu einem beträchtlichen Teil dem Manko unterliegen, den stattfindenden Prozesse richtig zu interpretieren. Eine Erklärung ist sicherlich, daß der Leckfall sehr selten eintritt und auch ein erfahrener Kapitän diesen oftmals nicht miterlebt. So sind aus Sicht des Autors bis heute weder die schiffbaulichen Voraussetzungen, noch die des menschlichen Faktors zufriedenstellend gelöst. Aus der Diskussion um die neue SOLAS 2009 - Regeln wurde deutlich, daß trotz der größeren Flexibilität und damit Zugewinn an Schiffbauinnovation, die Frage nach der Sicherheitsäquivalenz der Schiffbaueregeln nach SOLAS'90, SOLAS'95 (Stockholm) und SOLAS 2009 bislang noch nicht geklärt ist und bei der nächsten Sitzung des SLF-Unterausschusses neu diskutiert werden muß. Der Autor hat auch aufgezeigt, daß trotz der grundlegenden Revision des STCW-Abkommens keine Änderungen zur Ausbildung oder Training für den Leckfall erfolgt ist. Damit bleibt die gesetzliche Rahmenseite unscharf und erlaubt ein großes Maß an Interpretationsspielraum. Auch die existierenden Modell-Kurse der IMO sind nach Meinung des Autors nicht detailliert genug, um eine ausreichende Ausbildung hinsichtlich des Leckfalls zu gewährleisten. Eine verantwortungsvolle Reederei wird schon aus Gründen der Haftung und des finanziellen Risikos ein Interesse an einem ausgereiften Si-

---

<sup>22</sup>Intertanko ist die Vereinigung unabhängiger Tankereigner, vertritt also die Interessen der Schiffseigner

cherheitsmanagement haben. Dieses wurde im Kapitel 2 vorgestellt. Teil dieses Sicherheitsmanagementsystems ist die Risikoanalyse. Es gibt wissenschaftlich mehrere anerkannte Verfahren. Vom Autor wurden 2 Verfahren in ihrem grundsätzlichen Wesen vorgestellt: Die Soft System Methodology und das Risikomanagement unter Benutzung Bayes'scher Netzwerke. Bei beiden Methoden handelt es sich, wie bei allen Risk Management Modellen, um die Bewertung des Risikos bei sehr komplexen Vorgängen oder Erscheinungen. Weil diese komplexen Vorgänge nicht vollständig mathematisch erfassen lassen, werden Alternativen zu deren Quantifizierung entworfen. In jedem Fall muß aber durch alle Akteure des Schiffsbetriebes, also Schiffsbesatzung, Reedereimanagement, Flaggenadministration und Klassifikationsgesellschaft sichergestellt werden, daß das Risiko für Schiff und Besatzung auf ein Minimum reduziert wird. Die hier vorgestellten Verantwortungen und Methoden sollen dabei helfen, dieses Risiko zu minimieren.



# Kapitel 3

## Die Simulation als Hilfsmittel zur Bestimmung von Leckstabilität und Schwimmfähigkeit an Bord

### 3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung

Im vorangegangenen Kapitel wurde der Versuch unternommen, ein Modell zu entwickeln, das das Risiko eines Wassereintruchs abbildet und im weiteren Verlauf wurden Werkzeuge entwickelt, die die Minimierung des Risikos für Personen an Bord sowie für das Schiff selbst zum Ziel hatten. Dazu hat der Autor das Modell des Soft Systems Methodology (SSM) als Vorlage gewählt, da es sich bei dem System Schiff im Wassereintruchfall um ein System handelt, welches in hohem Maße vom menschlichen Handeln abhängig ist und damit die Sichtweise des "Human Activity Systems" begründet. Dies leitet sich aus der großen Komplexität des Vorganges Wassereintruch ab, der selbst unter Vernachlässigung des dynamischen Seeverhaltens immer noch schwer zu erfassen ist. Eine der größten Herausforderungen zur Entscheidungsfindung durch die Schiffsführung ist die Zeitkomponente, da die Sinkzeiten von beschädigten RoRo-Schiffen sehr kurz

ausfallen<sup>1</sup>. Im Folgenden wird dies auch für die Beispielschiffe hier bestätigt<sup>2</sup>. Im Kapitel 2.2 wurde auf den menschlichen Einfluss im Wassereinbruchfall bereits näher eingegangen und nach Analyse des Seeunfalls der Herald of Free Enterprise durch den Autor wurde noch einmal bestätigt, was in Fachkreisen seitdem hinreichend bekannt ist:

*Ein Seeunfall, unabhängig von Art und Ausmaß ist die Verkettung von einer Reihe von Fehlern, fehlerhaften Prozessen, fehlerhaften Strukturen in der Kommunikation der Verantwortungsträger sowie Gleichgültigkeit während des Routinebetriebes.*

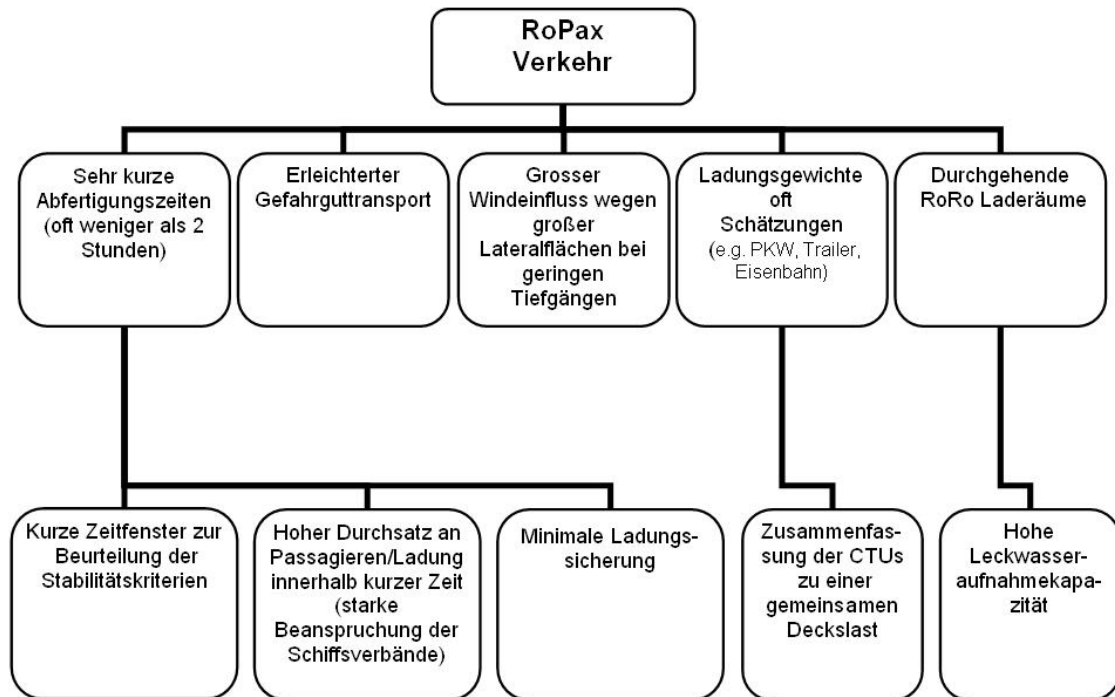


Abbildung 3.1: Besonderheiten im RoPax-Verkehr

Im Kapitel 2 wurden Unfallursachen aufgrund menschlichen Fehlverhaltens eingehend analysiert und der Autor hat das SSM-Modell als Systemabbildung und

<sup>1</sup>Dreeßen hat in seiner Dissertation für ein typisches, voll abgeladenes Fährschiff mit einem vorlichen 2-Abteilungsleck eine Kenterzeit von lediglich 25s errechnet [7, S. 79]

<sup>2</sup>Kurze Kenterzeiten sind in der Vergangenheit aber oft auf den Intaktfall zurückzuführen; vgl. mit Abschnitt 2.1.1



-lösung für den konkreten Anwendungsfall vorgestellt. Dieser Ansatz war in seinem Wesen "soft" und als ganzheitliches Gedankenmodell nur bedingt tauglich für den konkreten Wassereinbruchfall an Bord. Während das SSM-Modell zur Erhöhung der Sicherheit durch Verbesserung menschlicher Kommunikation und Verhaltensweisen entscheiden beitragen kann, so erzeugt es dennoch keine quantitative Aussage zur Überlebensfähigkeit eines Schiffes im Leckfall.

Dieses Kapitel widmet sich der ganz konkreten quantitativen Beurteilung eines Wassereinbruchfalls. Dazu wird unterschieden zwischen der aktuellen Beladungssituation eines Schiffes während eines Wassereinbruchfalls und der Simulation eines Wassereinbruchfalls mit Daten, die nicht genau bekannt sind und damit nur geschätzt werden können.

Eine hinreichend genaue Einschätzung von Stabilität und Schwimmfähigkeit ist für Schiffsbesatzungen oft schwierig. Berücksichtigt man die Eigenheiten des Seetransports mit RoRo-Passagierschiffen, dann müssen weitere schiffs- und transportspezifische Besonderheiten in Betracht gezogen werden. Die Abbildung 3.1 zeigt die Besonderheiten auf, die im Zusammenhang mit dem RoPax-Verkehr stehen<sup>3</sup>. Aus der Abbildung wird deutlich, daß wegen des hohen Durchsatzes von Passagier- und Cargo Transport Units (CTUs) weniger Zeit für eine Stabilitätsanalyse bleibt. Eine weitere grundsätzliche Unterscheidung zum konventionellen Seetransport ist die, daß wegen der kurzen Transitzeiten und unter Berücksichtigung der Wind- und Wetterverhältnisse vereinfachte Ladungssicherungsmaßnahmen getroffen werden. Die verheerenden Auswirkungen von unzureichender Ladungssicherung auf einem RoRo-Schiff zeigt das Beispiel der im November 2006 gesunkenen RoRo-Schiffes *Finnbirch* (vgl. mit [57]) oder die Seeunglücke der *HAYAT N* und der *RIVERDANCE* (vgl. mit [49]).

Die schiffbauliche Eigenart vieler RoPax-Fähren wird auch an den sehr großen Lateralflächen bei relativ geringen Tiefgängen deutlich. Ein etwa 200m langes RoPax-Schiff hat in der Regel einen Maximaltiefgang von etwa 6m<sup>4</sup>, während ein vergleichbar langer und voll abgeladener Tanker mehr als 11m tief taucht. Zudem hat ein großes RoPax-Schiff eine Lateralfläche von bis zu 5000m<sup>2</sup>, während der von Kornacki [40] untersuchte Chemikaliertanker bei 7.10m Tiefgang

---

<sup>3</sup>Hier sind die RoRo-Schiffe ausgeklammert, da nicht alle allgemeingültigen Aussagen auch hier zutreffen, z.B.kurze Liegezeiten.

<sup>4</sup>wie das hier betrachtete Beispielschiff 2

eine Lateralfäche von  $900m^2$  aufweist. Es sei hier nur auf die hohen Windkräfte hingewiesen, die auf ein RoPax und RoRo-Schiff wirken können, da gerade in einem Leckfall ein ungünstiges Windmoment die Krängung stark vergrößern kann. Diese dynamischen Kräfte werden in dieser Arbeit aber nicht weiter berücksichtigt, sondern seien hier nur erwähnt.

### 3.1.1 Die Simulation als Hilfsmittel in Entscheidungsprozessen

Im Folgenden soll der Vorteil der Simulation gegenüber den bisherigen Verfahren zur Bewertung eines Leckunfalls aufgezeigt werden. Dazu soll zunächst der Terminus Simulation definiert werden:

*Simulation ist eine analytische Methode mit dem Ziel der Abbildung eines realen Systems, die dann Anwendung findet, wenn andere Analysen mathematisch zu komplex oder zu aufwendig sind, um sie nachzubilden ([14], S.8).*

Mit dieser Definition wird bereits der große Vorteil der Simulation zum Ausdruck gebracht: Der Verzicht auf aufwendige mathematische Nachbildung eines Systems. Neben der mathematischen Kompliziertheit in der Nachbildung des Schiffes im Seegang inklusive des Verhaltens der Leckwassermassen während des Flutungsprozesses besteht zudem die Ungewissheit der Ereignisgrößen. Dazu zählen beispielsweise die Leckgröße, der aktuelle Beladungszustand mit den signifikanten Größen zur Stabilität wie die Schwerpunktkoordinaten des Schiffes. Somit ist die obige Definition des Softwareherstellers Crystal Ball unvollständig und es könnte folgender Satz nachgestellt werden:

*Die Simulation reflektiert den Einfluss verschiedener unzureichend bekannter Daten auf das Gesamtsystem unter Manipulation der unzureichend bekannten Größen.*

#### Vom Modell zur Analyse des realen Systems

Während die konventionelle deterministische Leckrechnung dem Prinzip folgt, unbekannte Größen wie Lecklage oder Lecktiefe durch eine möglichst große Anzahl von Einzelrechnungen für verschiedene Annahmen (z.B. Tiefgang maximal bei ebenen Kiel oder Teilladetiefgang bei 1m achterlichen Trimm usw.) viele

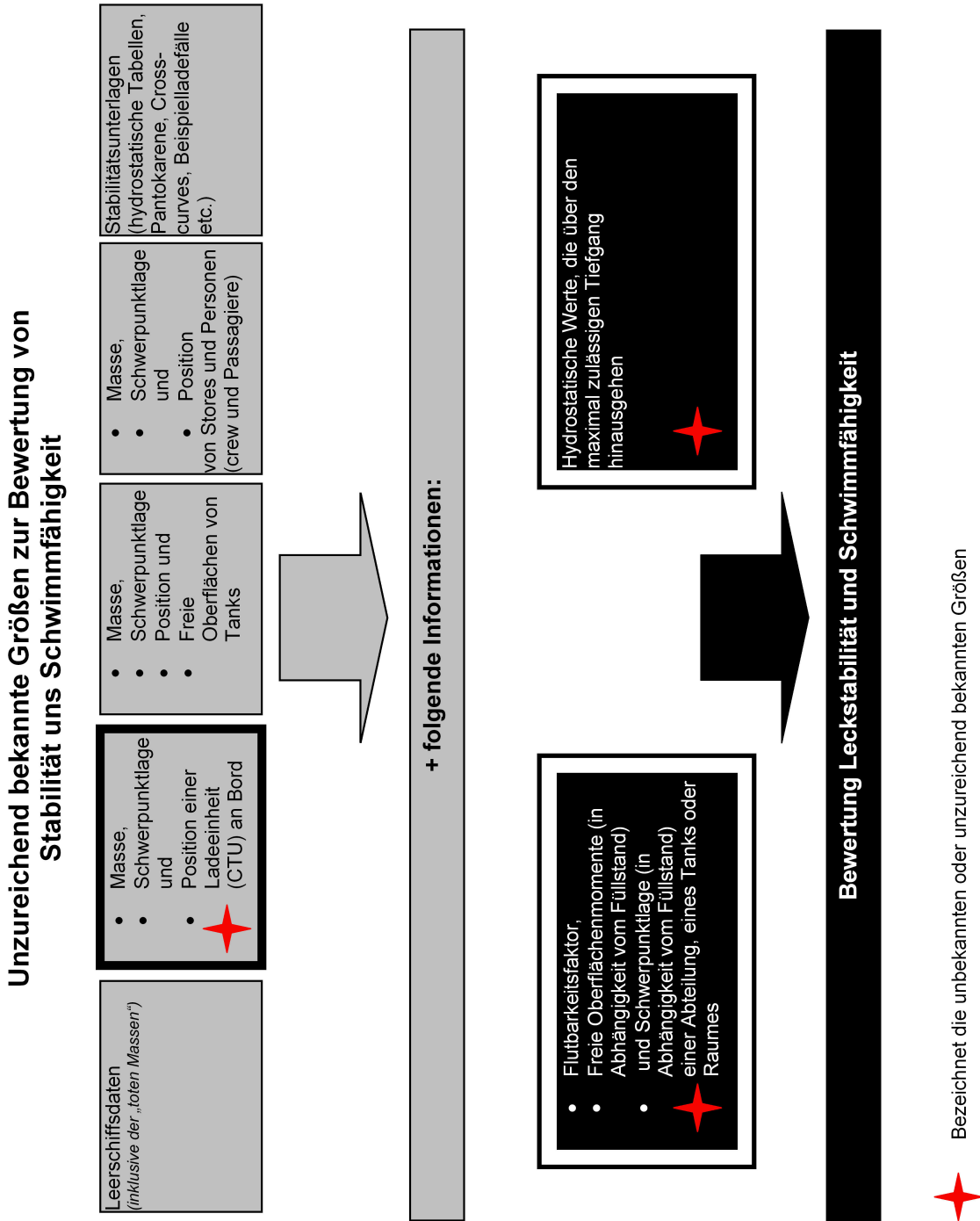


Abbildung 3.2: Unzureichende Stabilitätsinformationen

Male abzubilden und damit die Wahrscheinlichkeit eines nicht erfassten, aber durchaus möglichen Szenarios, gering zu halten, so wird bei der Simulation ein anderer Ansatz verfolgt. Die Annahmegrößen sind nicht mehr statisch, sondern nehmen verschiedene kontinuierliche Werte an.

Die Simulation liefert dabei Aussagen zu folgenden wichtigen Größen:

1. Prognose
2. Risiko

Die Prognose ist die statistische Zusammenfassung der Simulationsergebnisse und kann grafisch oder numerisch wiedergegeben werden. Liefert die Prognose für alle Simulationsszenarien, also auch für die aufgetretenen ungünstigsten Fälle, eine Überlebenswahrscheinlichkeit des Schiffes von "1", dann ist das Risiko Null. Dieses gilt natürlich nur in der Systemwelt, da eben auch die Simulation eben meistens nicht alle unbekanntenen Größen verarbeitet. In dieser Arbeit werden beispielsweise die dynamischen Seegangseffekte und das damit einhergehende Roll- oder Stampfverhalten nicht berücksichtigt. Somit kann das Risiko auch keine Nullwerte annehmen. An dieser Stelle sei auch die hier verstandene Definition von Risiko nachträglich eingefügt:

*Risiko als die Wahrscheinlichkeit von Verlust oder Schaden oder ein anderen nicht wünschenswertes Ereignis, verbunden mit der Schwere eines solchen Ereignisses ([14], S.8).*

Aus dem Wissen heraus, dass die Stabilität und Schwimmfähigkeit eines Schiffes maßgeblich von Massen und deren Verteilungen abhängen, hat der Autor die Überlegung angestellt, dass durch die Simulation die ungewissen Werte und deren Zusammenspiel analysiert werden können und somit das Sinkrisiko<sup>5</sup> quantifizieren. Mit den bisherigen Methoden kann man jedoch nur eine ganz gewisse Auswahl von Szenarien numerisch abbilden. Dabei wird bislang für einen bestimmten Ladezustand mit festen Ausgangsgrößen für Tiefgang, Trimm und Stabilität ein fast willkürlicher Leckfall angenommen. Dies ist vor allem darin begründet, weil statistische Daten zu Leckgrößen und Lecktiefen sehr begrenzt

---

<sup>5</sup>Mit Sinkrisiko ist auch das Sinken infolge Kenterns eingeschlossen

vorliegen, auch weil hierzu keine globale Datenbank mit ausreichend Fällen existiert und viele Staaten eine Analyse nicht in dieser Tiefe vornehmen (vergleiche mit Abschnitt 1.2.2).

Bedient man sich des Hilfsmittels der Simulation, so kann aus der Einzelaussage - *Das ist möglich* - eine Prognose erstellt werden - *das ist wahrscheinlich*. Dabei können Simulationen unterschiedlich ausfallen und sind nicht notwendigerweise auf numerische Manipulationen allein beschränkt. Die Ergebnisse dieser Arbeit beruhen auf den Ergebnissen der Simulation durch die Generierung von Zufallszahlen. Im nächsten Abschnitt wird näher auf diese Art der Simulation eingegangen. Dabei ist die Idee der Simulation als Hilfsmittel zur Bewertung von Leckfällen und die Fähigkeit von Schiffen diese zu überstehen, nicht neu. Zum Nachweis der Konformität eines Schiffes nach SOLAS Kapitel II-1 wird der Attained Index aus der Summe der Leckszenarien errechnet. Diese Leckszenarien sind sehr zeitintensiv in ihrer Erzeugung und Auswertung, da beliebig viele solcher Leckfälle generierbar sind. Diese Generierung von einer großen Anzahl von Leckszenarien ist dadurch begründet, daß ein jeder dieser Leckfälle, wenn diese denn überstanden werden, zur Erhöhung des Attained Index A beitragen. An der Technischen Universität Hamburg-Harburg wurde die Generierung von so genannten Leckquadern zum Nachweis der SOLAS 2009-Konformität mit der Monte-Carlo Simulation vorgeschlagen ([38]). Dasselbe Papier verweist auf die Monte-Carlo Simulation, die der MARPOL Regel 13F(5) zugrunde liegt, da die dort verwendeten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen aus Monte-Carlo Simulationen hervorgegangen sind.

#### 3.1.2 Modellierung und Simulation

##### Abbildung des Intaktfalles

Bevor mit der Simulation mit der hier verwendeten Software gearbeitet werden kann, muß ein solides Modell erstellt werden, das den Intaktfall des Schiffes genau abbildet. Um die Genauigkeit des Modells besser einschätzen zu können, hat der Autor bei den beiden verwendeten Beispielschiffen die von der Werft errechneten Beispielladefälle in dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel abgebildet. Dazu wurde eine vorhandenen Datenbank des Beispielschiffes 1 mit den

hydrostatischen Daten und Pantokarenen verwendet und eine Datenbank für das Beispielschiff 2 mit den gleichen Informationen aus den gedruckten Schifffunterlagen durch den Autor erstellt. Auf der Abbildung 3.4 ist die Hebelarm-

**Beispielschiff 1**

Schiffsdatenbank (tabulierte Werte für Wasserdichte  $\rho = 1.015 \text{ t/m}^3$ )

Hydrostatische Werte des Schiffskörpers							Trimmfaktor	
Verdrängung [t]	Tiefgang [m]	KM [m]	MCT tm/m	LCB [m]	TPC [t]	+ vorn	- hinten	
12737	5.280	12.160	29995.00	77.430	30.930	0.205	0.219	
12799	5.300	12.140	30160.00	77.430	30.980	0.205	0.219	
12861	5.320	12.120	30325.00	77.420	31.030	0.205	0.219	

Pantokarene (KN)							
Tiefgang [m]	Verdrängung [t]	Schiffsneigung					
		10°	20°	30°	40°	50°	60°
5.280	12737.0	2.135	4.262	6.139	7.585	8.522	8.906
5.300	12799.000	2.131	4.257	6.134	7.583	8.518	8.901
5.320	12861.000	2.128	4.251	6.129	7.581	8.514	8.897

Liste der Räume (inkl. Laderäume)

Raum	Vol. [m³]	x- min [m]	x-max [m]	CGX [m]	z-min [m]	z- max [m]	CGZ [m]	FSM [m²]
HM.raum 1	1392.8	46.05	55.05	50.63	0.82	8	4.99	8354
HiMa+Sep.	1510.3	55.05	75.3	70.24	0.79	8	5.29	9845.5
Pass. Abt.6	682.1	105.3	115.05	110.51	5	8	7.04	9098.7

Ladedaten aus dem Beispielladefall des Stabilitätshandbuchs

Wagendeck (Bsp. Volle Beladung)						
Länge	Masse	LCG	Moment	VCG	Moment	
Gleis 1	300	89.50	26850	10.1	3030	
Gleis 2	550	91.50	50325	10.1	5555	
Gleis 3	600	87.00	52200	10.1	6060	
Gleis 4	550	91.50	50325	10.1	5555	
Gleis 5	300	89.50	26850	10.1	3030	
Total	2300	89.80	206550	10.1	23230	

VCG = 9,1m bei annähernd homogener Beladung

Berechnung des Intaktfalls nach Stabilitätshandbuch mit abschließendem Abgleich

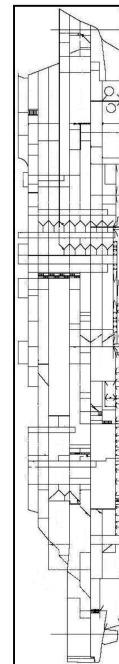


Abbildung 3.3: Schiffsdatenbank Beispielschiff1

kurve für den Intaktfall von Beispielschiff 1 dargestellt. Von hier an kann auch durch einfache Änderung der Ladedaten und Tankfüllungen festgestellt werden, ob die anderen Beispielladefälle des Stabilitätshandbuchs dieselben Ergebnisse liefern wie das vom Autor entworfene Modell. Da dies der Fall für beide Schiffe war und das System damit validiert worden ist, konnte der Autor den Leckfall ebenfalls modellieren. Im Folgenden soll aber erst ein genereller Ausblick auf die hier verwendete Simulationsmethode gegeben werden, bevor im Einzelnen auf die Modellierung der Leckfälle der beiden Beispielschiffe eingegangen wird.

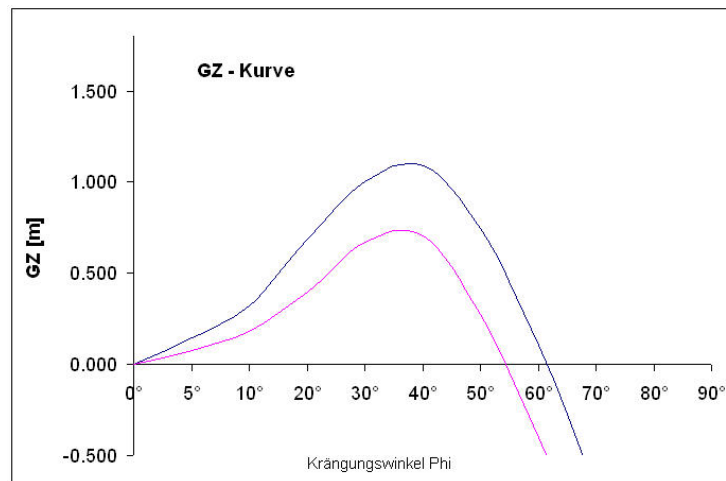


Abbildung 3.4: Beispielschiff 1 Hebelarmkurve im Intaktfall

#### Simulation - Grundlagen und Einschränkungen

Es gibt je nach Anwendungsgebiet verschiedene Simulationsmethoden. Die hier verwendete Methode ist die Generierung von Zufallszahlen, d.h. die wiederholte Zuweisung von Werten auf einen bestimmten Datentyp. Dies wird im Folgenden noch näher erläutert. Um Zufallszahlen erzeugen zu können, müssen diese durch einen Kongruenzgenerator generiert werden. Durch Anwendung der Inversionsmethode können hieraus dann Zufallszahlen zur Anpassung an die entsprechenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen transformiert werden [48]. Diese Wahrscheinlichkeitsverteilungen können aus empirischen Daten abgeleitet werden oder aber lediglich angenommen werden. Im ersteren Fall ist es möglich Histogramme aus den empirischen Daten zu erstellen und den Kurvenverlauf mit einer der Standardverteilungen des hier vorliegenden Softwarepakets zu vergleichen. Excel selbst bietet das Zusatztool (add-in) „Analyse-Funktionen“ an, welches Zufallszahlen nach Wahrscheinlichkeitsfunktionen erzeugt. In der Abbildung 3.5 wird deutlich gemacht, wie der Prozess der Zufallszahlengenerierung am Beispiel von LKW-Gewichten verwendet werden kann. Die LKW-Gewichte werden nach Kenntnis des Autors bislang noch von der Bordbesatzung geschätzt. Daher sind keine genauen Aussagen zu deren Gewichten möglich. Will man den Wert "LKW-Gewicht über simulieren, dann kann dies beispielsweise unter Auswertung der Ladepapiere erfolgen.

Dort ist das Gewicht spezifiziert<sup>6</sup>. Listet man nun alle diese Werte auf und

Beispiel der Simulation von LKW-Gewichten:  
 Statistische Daten liegen vor (z.B. durch statistische Auswertung der Ladungspapiere)

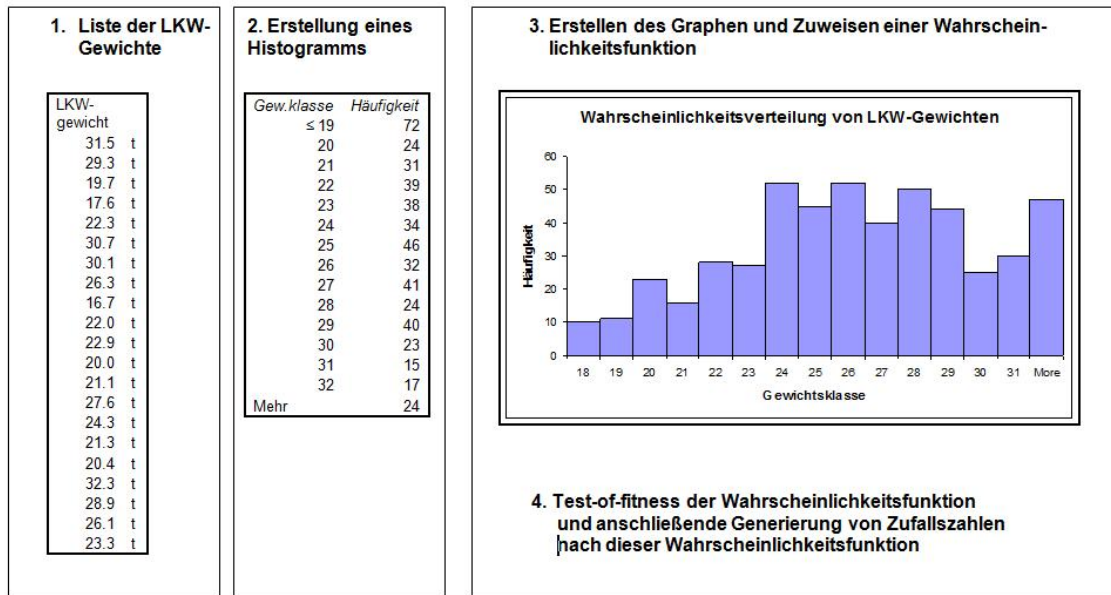


Abbildung 3.5: Zufallszahlengenerierung unter Verwendung empirischer Daten

ordnet sie Gewichtsklassen zu, dann kann aus der grafischen Darstellung dieser Klassen-Häufigkeitsabbildung ein Kurvenverlauf entnommen werden. Nun gilt es, eine passende Wahrscheinlichkeitsverteilung zu finden und diese mit statistischen Methoden zu validieren (Goodness-of-fit-tests). Nachdem eine passende Wahrscheinlichkeitskurve gefunden worden ist, bildet diese die Grundlage der Zufallszahlengenerierung. Wie bereits weiter oben bemerkt, verfügt Excel über einen Zufallszahlengenerator, der Zufallszahlen nach einer Reihe von Wahrscheinlichkeitsfunktionen erzeugen kann. Für die Simulation ist dieser aber ungeeignet, da die Werte jedes Simulationsschrittes ohne VBA-Programmierung nicht gespeichert werden können.

Genau das aber vermag das Softwarepaket *Crystal Ball*, welches im nächsten Abschnitt vorgestellt wird. Für die Auswahl einer geeigneten Wahrscheinlichkeitsverteilung aus der Funktionsbibliothek des Softwarepakets von Crystal Ball geht man vor wie bei anderen stochastischen Ereignissen auch: Man sammelt die Rohdaten und sortiert diese in Histogrammen. Diese bestehen aus Klassen, die

<sup>6</sup>Leider sind diese Angaben oftmals auch inkorrekt. Abhilfe schafft in einem solchen Fall nur das Wiegen jeder einzelnen CTU.



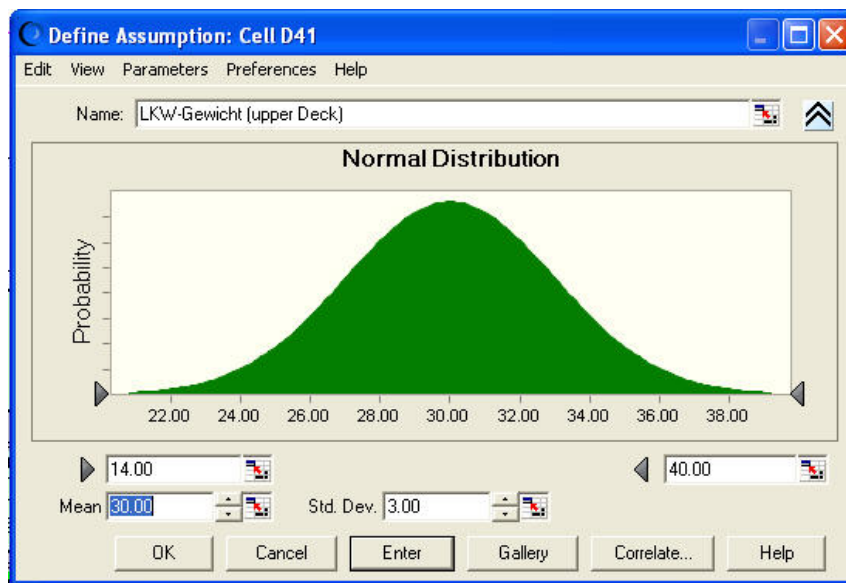


Abbildung 3.6: LKW-Gewicht Wahrscheinlichkeitsverteilung

einen Datenbereich aufnehmen und sich in Diagrammform darstellen lassen. Dividiert man nun jeden einzelnen Container(-bereich) durch die Gesamtzahl der Daten, dann ergibt sich der Prozentanteil jedes einzelnen Datenbereichs vom Gesamtdatensatz und die Summe der Wahrscheinlichkeiten ergibt 100% beziehungsweise "1". Aus der grafischen Darstellung der Wahrscheinlichkeitsverteilung wählt man nun eine der vorgegebenen Wahrscheinlichkeitsfunktionen, die Crystal Ball (CB) bereitstellt. Unternimmt man eine Analyse der Daten für einen bestimmten Schiffstyp und eine bestimmte Route, dann ließen sich genauere Aussagen zur Wahrscheinlichkeitsverteilung machen. Dies ist beispielsweise möglich für Trailergewichte auf RoPax-Fähren. Dem Autor standen keine empirischen Daten zur Verfügung, daher ist die statistische Analyse zur Prüfung des Kurvenverlaufs mit Test-Methoden (wie beispielsweise chi-square) nicht weiter relevant. Dies soll aber nicht die Möglichkeit einer solchen Analyse ausschließen. Für den Fall jedoch, daß empirische Daten vorliegen, ist das Softwarepaket in der Lage, eine entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung herauszufiltern.

So blieb dem Autor nur die Auswahl von Wahrscheinlichkeitsverteilungskurven, die er aus dem Wissen und der Erfahrung der an Bord der Beispielschiffe fahrenden Offiziere gewonnen hat. Für die Massen der rollenden Ladung (Trailer, LKW, PKW) wurde beispielsweise die Gauß'sche Normalverteilungskurve

mit einem Mittelwert von 30.0t und einer Standardabweichung von 10% ausgewählt (siehe Abbildung 3.6). Im RoPax-Verkehr kann der Unterdeklarierung der Ladung insofern begegnet werden, als dass dies in der Wahrscheinlichkeitsverteilungskurve berücksichtigt wird (beispielsweise durch die Erhöhung des Mittelwertes der Gaußschen Normalverteilungskurve um 10%, wenn bekannt ist, daß Gewichte etwa um 10% unterdeklariert sind). Der Abgleich an Bord erfolgt aber in der Regel nicht oder erst nach der Abfahrt<sup>7</sup>.

### Das Softwarepaket Crystal Ball

Im Folgenden wird erläutert, wie der Autor das Simulationsmodell erstellt und anschließend mit der Software Crystal Ball so definiert hat, daß es nach dem Prinzip der Zufallszahlengenerierung ausgeführt werden konnte. Das Softwarepaket selbst ist nur in Verbindung mit einem Tabellenkalkulationsprogramm anwendbar und auf Microsoft Excel optimiert. Die Anzahl der Simulationsdurchläufe sind frei wählbar, wobei mit erhöhter Laufzeit zu rechnen ist, wenn die Anzahl der Durchläufe stark steigt. Crystal Ball, im Folgenden mit CB abgekürzt, hat aber auch eine Funktion, die die Durchlaufanzahl aufgrund der confidence intervals beschränkt. Der Nutzer kann also als Abbruchbedingung auch bei Erreichen eines, zum Beispiel 90%-igen confidence intervals, definieren. Dem Autor ging es hier aber um eine Vergleichbarkeit zwischen 2 Schiffstypen, deshalb ist die Anzahl der Simulationen auf 10.000 Durchgänge begrenzt. Crystal Ball berechnet aber für jeden Simulationsvorgang den confidence interval, der in keinem der insgesamt 5 Leckszenarien der beiden Schiffe unter 95% lag.

Die Abbildung 3.7 gibt den schematischen Simulationsvorgang wider. Dabei erzeugt CB zunächst Zufallsvariablen nach der definierten Wahrscheinlichkeitsverteilung. Anschließend werden alle definierten Werte der Tabelle neu berechnet und im 3.Schritt zeichnet CB diese Annahmewerte auf und stellt sie grafisch in Form von *forecast charts* in einem eigenen pop-up-Fenster für jede Annahmezelle dar.

Die im CB Handbuch aufgelisteten Schritte zum Aufsetzen der Simulation [14]

---

<sup>7</sup>Durch das Schiffsdisplacement läßt sich eine Aussage zum Gewicht der Zuladung machen und die Praxis hat gezeigt, daß in der Summe die Gewichte sehr unterschiedlich ausfallen können

### 3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung

## Crystal Ball – Ablaufdiagramm

Type in for Ballast: "b", for partial loading, "p" and for full		Masse [t]	VCG [m]	V-Mom [MT]	LCG [m]	L-Mom [MT]	iB [MT]	Final Flooding Condition				
Leerschiff		9805	10.1	99030.5	78.05	765280.3		TF	5.98			
Personen		55.535	18.79955	1044.033	94.19	5230.916		TA	7.58			
Proviant+Stores		50	10	500	92.4	4620		TM	6.8			
Schiffsausrüstung		232	8	1856	90	20880		Displ	17781			
								GMc	2.10			
								TIME	71 s			
<b>PKW - Deck</b>		Anzahl										
unit mass [t]	Voll	Teil	Ballast									
kl. Garage	1	45	3	18	14.5	261	128.6	2314.8				
dahinter	30	7	7	1	30	15.7	471	89.5	2685			
Schlauch	30	11	5	0	0	15.7	0	52.0	0			
achtern	1	20	17	2	2	14.5	29	24.0	48			
Einzelmasse PKW: H LKW: 30t	Summe Kfz Deck			50	15.22	761	100.956	5047.8				
<b>Wagendeck</b>		Länge [m]	Bsp. Voll	Bsp. Teil	Bsp. Ballast	VCG [m]	V-Mom [MT]	LCG [m]	L-Mom [MT]			
Gleis 1	115	300	200	0	0	10.1	0	89.5	0			
Gleis 2	120	550	300	0	0	10.1	0	91.5	0			
Gleis 3	135	600	400	0	0	10.1	0	87.0	0			
Gleis 4	120	550	300	0	0	10.1	0	91.5	0			
Gleis 5	115	300	200	0	0	10.1	0	89.5	0			
Summe Wagendeck		0			0	0	0	0	0			
Summe Ladung		50			15.2	761	101.0	5047.8				
<b>Zellen</b>		Vol [m³]	max	SPG	x-min	x-max	Masse [t]	VCG [m]	V-Moment [tm]	LCG [m]	L-Moment [tm]	iB [tm]
GL	Bezeichnu	437.3	1.015	139.8	149.7	444	0	0	0	7724.1		
R0300	Bugrudern	515.5	1.015	131.6	139.8	523	0	0	0	9135.3		
R0610	Räume-Be	669.6	1.015	105.3	115.1	680	0	0	0	8926.7		

1. Definition der Crystal Ball-Zellen (hier eingefärbt) im Modell

Crystal Ball Komponenten:

Grün: Annahmезellen

Blau: Prognosezellen

2. Zufallszahlgenerierungen in allen Annahmезellen und Neuberechnung des Tabellenblattes für jeden einzelnen Simulationsschritt

Type in for Ballast: "b", for partial loading, "p" and for full		Masse [t]	VCG [m]	V-Mom [MT]	LCG [m]	L-Mom [MT]	iB [MT]	Final Flooding Condition				
Leerschiff		9805	10.1	99030.5	78.05	765280.3		TF	5.97			
Personen		55.535	18.79955	1044.033	94.19	5230.916		TA	7.65			
Proviant+Stores		50	10	500	92.4	4620		TM	6.8			
Schiffsausrüstung		232	8	1856	90	20880		Displ	18041			
								GMc	1.98			
								TIME	66 s			
<b>PKW - Deck</b>		Anzahl										
unit mass [t]	Voll	Teil	Ballast									
kl. Garage	3	45	3	18	17.73	14.5	257.085	128.6	2280.078			
dahinter	26.544	7	7	1	28.544	15.7	448.1408	89.5	2654.688			
Schlauch	25.421	11	5	0	0	15.7	0	52.0	0			
achtern	0.758	20	17	2	1.516	14.5	21.962	24.0	36.384			
Einzelmasse PKW: H LKW: 30t	Summe Kfz Deck			47.79	15.21674	727.2078	101.9282	4871.15				
<b>Wagendeck</b>		Länge [m]	Bsp. Voll	Bsp. Teil	Bsp. Ballast	VCG [m]	V-Mom [MT]	LCG [m]	L-Mom [MT]			
Gleis 1	115	256	207	0	0	10.00	0	88.7	0			
Gleis 2	120	509	278	0	0	9.88	0	92.4	0			
Gleis 3	135	555	368	0	0	11.08	0	89.1	0			
Gleis 4	120	501	212	0	0	10.70	0	90.4	0			
Gleis 5	115	308	204	0	0	10.58	0	90.4	0			
Summe Wagendeck		0			0	0	0	0	0			
Summe Ladung		48			15.2	727.2078	101.9	4871.15				
<b>Zellen</b>		Vol [m³]	max	SPG	x-min	x-max	Masse [t]	VCG [m]	V-Moment [tm]	LCG [m]	L-Moment [tm]	iB [tm]
GL	Bezeichnu	437.3	1.015	139.8	149.7	444	0	0	0	7724.1		
R0300	Bugrudern	515.5	1.015	131.6	139.8	523	0	0	0	9135.3		
R0610	Räume-Be	669.6	1.015	105.3	115.1	680	0	0	0	8926.7		

3. Ergebnisanzeige (Prognosekarten)

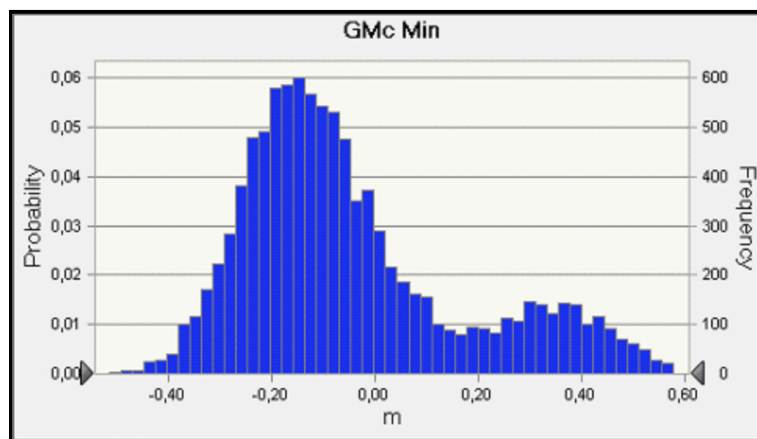


Abbildung 3.7: Crystal Ball Ablaufdiagramm

sind in dieser chronologischer Folge vorzunehmen:

1. Definition der Annahmezellen, Prognosezellen und, wenn anwendbar, auch der Entscheidungszellen
2. Jede der definierten Zellen kann jetzt den eigenen Vorstellungen entsprechend angepasst werden (Farbe, Erscheinung)
3. Die Optionen der Simulationen werden festgesetzt (Abbruchbedingung, Warnungen, Daten, die analysiert werden sollen und andere)
4. Starten der Simulation

### **Korrelationen zwischen Annahmezellen**

Sind in dem Modell Annahmezellen definiert, die eine gegenseitige Abhängigkeit bedingen, dann sollte dies durch die Option „Korrelation“ in CB auch definiert werden. Erst dann ist eine realistische Simulation möglich. Dabei unterscheidet man zwischen positiver und negativer Korrelation. Im ersteren Fall bedeutet dies, daß mit steigenden oder fallenden Werten des einen Wertes der andere Wert entsprechend mitsteigt oder mitfällt. Eine negative Korrelation liegt demzufolge vor, wenn der eine Wert fällt, der andere aber steigt oder umgekehrt. Der Korrelationsfaktor kann Werte zwischen  $-1$  und  $+1$  annehmen. Gerade bei Mehrabteilungsbeschädigungen von Schiffsabteilungen kann so festgelegt werden, ob ein Wert von einem anderen abhängig ist. Ist der Korrelationsfaktor  $k$ :  $0 < k < =1$ , dann wird mit wachsenden Werten der Ausgangszelle auch die abhängige Zelle steigende Werte aufnehmen. Bei  $-1 < k < 0$  liegen gegenläufige Trends vor während bei  $k = 0$  keine Korrelationsbedingungen gelten. Um eine hinreichend genaue Aussage zur Korrelation zu machen, müssen entsprechende Praxiswerte an Bord vorliegen. So ist beispielsweise eine in den Regelfällen zwingende Korrelation bei der symmetrischen Beladung von Ballasttanks gegeben, das heißt Ballasttanks werden in der Regel symmetrisch gefüllt um eine Krängung zu vermeiden. Dies wurde auch beim Beispielschiff 2 im Teilbeladungszustand angewendet<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup>bei voll abgeladenem Schiff sind die Ballasttanks nicht gefüllt

Nachdem das Modell zur Leckstabilität nach vorgenommenen Vereinfachungen fertiggestellt wurde, mussten zur Simulation mit Crystal Ball Variablen definiert werden, die statistisch vom Programm überwacht wurden. Dabei unterscheidet man zwischen 3 Arten von Variablen:

1. Entscheidungsvariablen (decision variables)
2. Annahmezellen (assumption variables) und
3. Vorhersagevariablen (forecast variables)

Die ersteren wurden in diesem Simulationsmodell nicht verwendet, könnten aber zur Analyse bestimmter Beladungspläne durchaus von Nutzen sein. Definiert man solche Entscheidungsvariablen, ist Crystal Ball in der Lage, die Fälle herauszufiltern, die den Kriterien der Entscheidungsvariablen am Nächsten kommen. Das können beispielsweise maximale Werte für Tiefgang vorn oder achtern sein, je nachdem, was bei gegebenen Umständen möglich ist. Hier aber ging es nicht um den Optimierungsprozess, obwohl dies einer der wichtigsten Elemente dieser Software ist, sondern um mögliche kritische Zustände im jeweiligen Ladefall.

Die hypothetischen Variablen oder Annahmezellen sind von CB erzeugte Zufallsvariablen. Deren Generierung wurde im vorangegangenen Abschnitt am Beispiel der LKW-Gewichte bereits erläutert. Für die Zufallsvariable der einströmenden Wassermenge wurde eine Gleichverteilung (uniform distribution) angenommen, da alle Leckgrößen im Bereich zwischen  $0.25 - 20\text{m}^3$  als gleichwahrscheinlich angenommen wurden<sup>9</sup>. Für die Fahrzeuggewichte und Gewichtsschwerpunkte jedoch wurden die Werte nach der Gauß'sche Glockenkurve erzeugt mit einer Standardabweichung von 10% des wahrscheinlichsten Wertes. Das bedeutet also für Fahrzeuggewichte im Pkw-Bereich Zufallszahlen zwischen 0.8t und 2.0t, für Lkw Massen zwischen 12t und 60t. Bei Eisenbahnen können die größten Absolutschwankungen auftreten. Die dieser Arbeit separat beigefügten detaillierten Simulationsrechnung mit den von Crystal Ball erzeugten Reports

---

<sup>9</sup>Dies entspricht nicht der Realität. Die Analyse zur Wahrscheinlichkeitsverteilungs-Findung wurde hier jedoch nicht ausgeführt, da es primär um das Aufzeigen des Prinzips ging.

enthält die verschiedenen Flutungsszenarien in zusammengefasster Form.

Weiß man also im Vorfeld um die Ungenauigkeiten in den Angaben zu den Ladungsgewichten, dann ist bereits die Einschätzung der Intaktstabilität durch die Eingabe von Näherungswerten verfälscht. Es ist zudem herkömmliche Praxis, die einzelnen RoRo-Ladeeinheiten nicht einzeln zu betrachten, sondern jedes Deck nimmt einen Durchschnittswert auf. Dies bedeutet, daß bei einer Gesamtladung von beispielsweise 50 LKW mit einem Durchschnittsgewicht von 22t auf dem unteren Ladedeck eines RoPax-Schiffes angenommen werden. Deren tatsächliches Gewicht kann aber stark abweichen. Die Modellierung des Untergangs des Fährschiffes "Jan Heweliusz" hat gezeigt, daß die Fahrzeuggewichte und -verteilungen nicht genau modelliert werden konnten und man deshalb vereinfachende Annahmen getroffen hat [61]. Um diese Möglichkeiten der unterschiedlich schweren LKW auf jedem Ladedeck abzufangen, wird mit Zufallszahlen simuliert. Während auf einigen RoRo-Passagierschiffen die Gewichte der Ladeeinheiten (außer PKW) für jedes einzelne Deck aus den Anmeldepapieren der Spediteure eingelesen wird und damit eine höhere Genauigkeit für jedes einzelne Deck erzielt wird, so beschränkt man sich bei anderen Fährlinien auf das zuvor beschriebene Durchschnittsgewicht, welches von der Besatzung oder Reederei im Laufe der Zeit als solches ermittelt wurde. In allen Fällen bleiben jedoch die Werte für LCG, TCG und VCG Schätzwerte, die die individuelle Ladungseinheit nicht berücksichtigen und unter der bisherigen Praxis im Seeverkehr ohne erhebliche Verzögerungen in der Abfertigung auch nicht bestimmbar sind.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte schlägt der Autor die Einführung der Simulation als Komponente der Ladungsrechnersoftware vor, die bislang in den meisten Fällen nur zur Ermittlung der Intaktstabilitätskriterien an Bord Verwendung findet. Aus der Abbildung 3.17 geht hervor, welchen Vorteil die Simulation für die Schiffsführung bringt. Die Herleitung und Analyse zur Zweckmäßigkeit des Vorschlags dazu soll im Folgenden an den beiden Beispielschiffen aufgezeigt werden.

Die Vorschriften nach SOLAS Teil B berücksichtigen nicht jeden einzelnen Ladefall, widerspiegeln somit auch nur die Mindestforderungen zur Stabilität in

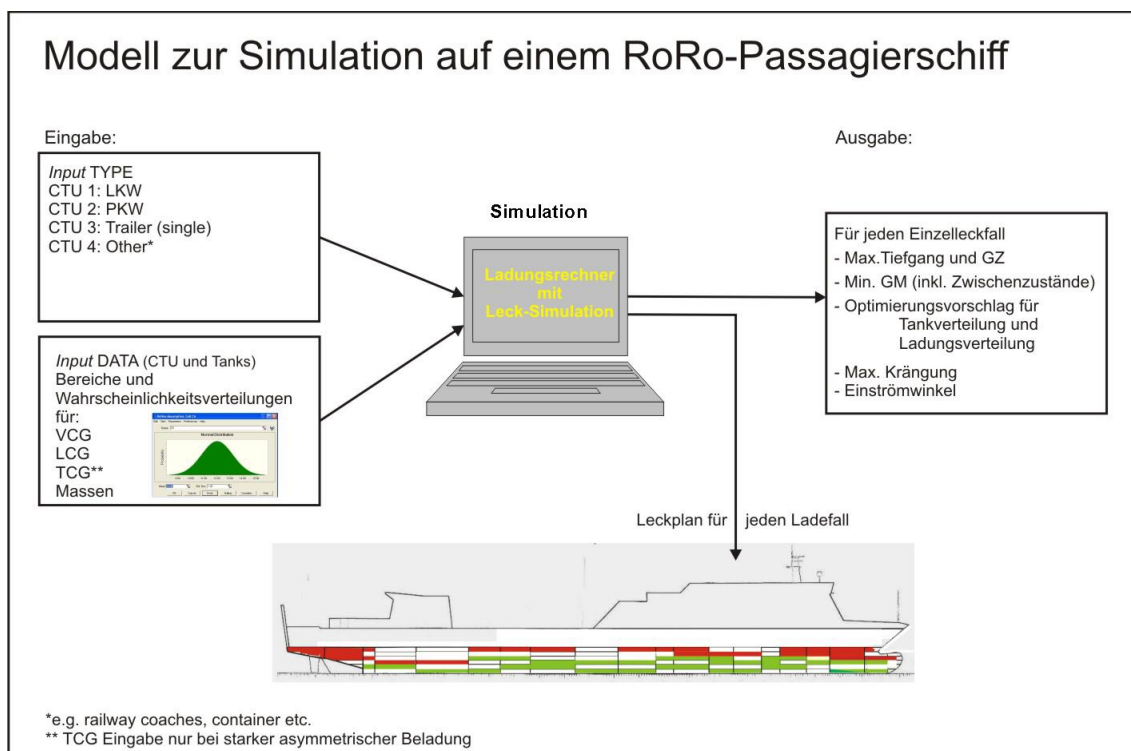


Abbildung 3.8: Simulation Schaubild

einem solchen. Ein 1-Abteilungsschiff kann unter gewissen Lade- und Tankbefüllungsumständen ein 2-Abteilungsleck überstehen. Dies kann für manche benachbarte Abteilungen eines solchen Schiffes immer gelten, für andere jedoch nur dann, wenn bestimmte Ausgangsbedingungen erfüllt sind. Unter gegebenen Umständen ändert sich dann der Status eines Schiffes nur mit seiner Zuladung, wird also aus einem 2-Abteilungsschiff ein 1-Abteilungsschiff. Die jeweilig vorliegenden Bedingungen werden jedoch nicht weiter berücksichtigt, sondern verallgemeinert. In der Darstellung auf der linken Seite des Diagramms (siehe Abbildung 5.1) ist ein Beispiel für ein Leckplan eines Schiffes nach den SOLAS-Bestimmungen als Prinzipskizze ausgeführt. Die gelben Bereiche kennzeichnen die Abteilungen mit unsicherer Überlebenswahrscheinlichkeit. Da dieser Plan Allgemeingültigkeit besitzt und nicht den konkreten Ladefall berücksichtigt, kann auch keine allgemeine Aussage für einen ganz konkreten Leckfälle getroffen werden. Anders verhält es sich, wenn ein konkreter Lade-/Leckfall simuliert wird. Hier werden diese Bereiche entweder dem Überleben oder Sinken nach SOLAS zugeordnet. Im Grunde wird diese Einschätzung auch schon von mo-

derner Lecksoftware vorgenommen, auch wenn die Darstellung meist nicht nach Art des Leckplanes erfolgt. Die Simulation ist damit also noch nicht gerechtfertigt. Erst wenn man die anfangs erwähnten Ungenauigkeiten wieder aufgreift, wird der Vorteil der Methode deutlich. Die oft nur ungenügend genauen Gewichte erhalten während der Simulation variable Werte in einem zuvor festgelegten Intervall und einer passenden Wahrscheinlichkeitsverteilung.

### **Bedeutung der Simulation für die Schiffsführung**

Das Simulationsergebnis ist in grafischer Form als Leckplan oder in Tabellenform generierbar. Somit wird auch unter den gegebenen Unsicherheitsfaktoren wie Massen und Massenverteilungen eine genauere Aussage zur Überlebenschance in einem ganz konkreten Ladefall möglich. Damit wird dem Kapitän ein Mittel zur schnellen Einschätzung in einem Leckfall zur Verfügung gestellt. Und das bereits vor dem Eintreffen desselben. Zudem würde eine Lücke in dem rechtlichen Umgang mit Kapitänen nach einer Havarie geschlossen. Die Belastungen der Schiffsoffiziere durch eine Vielzahl von Aufgaben zur Konformität mit nationalen und internationalen Bestimmungen ist oft unerträglich. Die oft in kürzester Zeit getroffenen Entscheidungen an Bord werden dann kritisch von der Fachwelt analysiert, die weder dem Zeitdruck noch der hohen Verantwortung und Arbeitslast der Kapitäne Rechnung trägt. Ein entsprechender Paragraph im ISM Manual der Reederei könnte dann für ein Schiff folgendermaßen ausgeführt sein:

Hat der Kapitän mit der ihm obliegenden Sorgfalt und Genauigkeit die Simulation mit dem Softwarepaket XX durchgeführt und bereits vor der Abfahrt validiert, dokumentiert und das nautische Fachpersonal entsprechend informiert und kann sie/er weiterhin mit einem confidence interval von xx% das Sinken des Schiffes in einem Leckfall prognostizieren, dann obliegt ihr/ihm die Pflicht zur Evakuierung. Der von dem Programm erzeugte Leckplan spiegelt das confidence farblich wider und kann am Schnellsten zur Entscheidungsfindung benutzt werden. Besteht kein Grund zur Annahme einer progressiven Flutung oder Verschlechterung der Situation bei gegebenen Wetter-, Wind-, Seegang- oder Krängungsverhältnissen,



dann kann der Kapitän alleinverantwortlich über die Vorbereitung zur Evakuierung entscheiden. In jedem Leckfall sind jedoch Reedereiinspektor, die Behörden des Küstenstaates, der ERP der Klassifikationsgesellschaft XX und das MRCC...zu informieren. Liegt die Überlebenswahrscheinlichkeit bei einem Leckfall in einem confidence interval von xx%-xx%, ist die Evakuierung einzuleiten und durchzuführen, wenn der Kapitän dies für nötig hält.

So oder ähnlich könnte ein ISM-Notfallplan aussehen. Der auf den ersten Blick womöglich stark regulierte Paragraph ist lediglich der Versuch einer kompletten Abdeckung aller Leckfälle unterhalb des Schottendecks. Bei sinnvollen Modellen zur Simulation<sup>10</sup> glaubt der Autor, daß sich die Fälle mit grenzwertigen Ergebnissen auf ein kleines Minimum reduzieren lassen. Der notwendige Mehraufwand bei jeder Abfahrt ist sehr gering und in der Regel brauchen die Eingabewerte auch nicht verändert werden, so daß sich mit der Forderung zum Nachweis der Intakstabilität, die dem Schiff ohnehin obliegt, lediglich das Erfordernis ergibt, den Leckplan auszudrucken und zu speichern.

#### 3.1.3 Der Leckfall in der Praxis

Im Intaktfall könnte für jeden einzelnen Beladungszustand die Stabilität des Schiffes problemlos bestimmt werden. Voraussetzung dafür sind lediglich die genaue Kenntnis des Ladungsgewichts und Schwerpunkt jeder Ladungseinheit. Diese Informationen sind dem Schiff vor dem Laden durch den Eigner der Ladung beziehungsweise durch den Ablader zur Verfügung zu stellen. Während der Untersuchungen zu dieser Arbeit wurde durch die Schiffsleitung der beiden untersuchten Beispielschiffen bestätigt, was schon lange in Fachkreisen bekannt ist: Die Angaben zu den Ladungsgewichten unterscheiden sich mitunter erheblich von den tatsächlichen Gewichten. Der Ladungsoffizier des Beispielschiffs 2 gab an, daß die Gewichte in der Regel um 10% höher lagen als angegeben. Wie bereits das Fallbeispiel der *Herald of Free Enterprise* gezeigt hat, ist diese Problematik immer noch aktuell. Schon nach dem Unfall der *Herald of Free Enterprise* gab die Besatzung an, daß die Gewichte der Ladungseinheiten um etwa 10% zu niedrig lagen (siehe Abschnitt: 2.2.3). Dies ist in einigen Fällen nicht weiter

---

<sup>10</sup>Dazu zählt auch eine sinnvolle Korrelation von Annahmewerten

bedenklich, fährt doch nicht jedes Fährschiff immer an der Grenze des Maximaltiefgangs. Bei sehr vollen Abfahrten jedoch, muß diesem Umstand jedoch gesondert Rechnung getragen werden und die Einhaltung des Maximaltiefganges im besonderen Maße beachtet werden. Wegen des Zeitdrucks und der hohen Durchsatzrate an rollender Ladung wird die Einschätzung von Schwimmelage und Stabilität an Bord in der Regel nur grob vorgenommen, das heißt, die einzelnen CTU (cargo transport units) werden oft als homogene Ladungseinheit über das gesamte Ladungsdeck verteilt. Damit sind natürlich große Ungenauigkeiten in der Lage des Gewichtsschwerpunktes verbunden und nicht selten wird die Ladung im Stabilitätsrechner so lange verschoben, bis die vom Computer errechneten Werte für die Tiefgänge mit den tatsächlich abgelesenen Werten übereinstimmt. Auch dies ist in vielen Fällen im Intaktfall ohne große Sicherheitsrisiken vertretbar. Im konkreten Leckfall kann dies jedoch zu erheblichen Fehleinschätzungen führen.

Wie bereits zuvor erwähnt, bereitet vor allem die unvollständige oder umständliche Stabilitätsdokumentation an Bord Probleme. So sind beispielsweise die Pantokarenen oder KN-Werte des Schiffes meist nur für ebenen Kiel und den Intaktzustand tabuliert. Es ist hinreichend bekannt und von Experten des IMO SLF-Sub-Committees wiederholt angemahnt worden, daß sich bei großen Trimmlagen die Hebelarmkurven deutlich von den auf ebenen Kiel bezogenen GZ-Kurven unterscheiden.

Im Leckfall jedoch lassen sich Stabilität und Schwimmfähigkeit nicht so eindeutig bestimmen. Ort und Ausdehnung des Lecks sind nicht vorhersehbar. Ein Leck kann eine Abteilung treffen die leer oder komplett gefüllt ist. Ist das RoRo-Fahrzeugdeck oberhalb der Wasserlinie beschädigt, kann sich in Abhängigkeit von Seegang und Wind eine unkontrollierbare Menge Leckwasser ansammeln. Umgekehrt ist solch ein Fall weniger gefährlich, wenn spiegelglatte See vorherrscht und kein Wasser durch die beschädigte Außenhaut gelangt. Ein äußerst schwieriger Fall liegt vor, wenn ein Abteilungsschott getroffen wurde, das Leck aber nicht erkundet werden kann.

Der Leckfall ist in der Regel als Notfallplan im ISM-Handbuch eines Schiffes hinterlegt. In dem an Bord mitzuführenden ISM-Manual sind Notfallpläne enthalten, die als Entscheidungshilfe in konkreten Notsituationen dienen sollen (vergleiche mit Abschnitt 2.2.4). Im Regelfall sind dies Checklisten für den Brandfall,

den Kollisionsfall, den Leckfall, der Bombendrohung, dem Ölunfall und anderen schweren Unfällen. Weil das ISM-Manual ein für jedes Schiff individuelles Handbuch ist und die örtlichen Anlagen, baulichen Konstruktionen und Besatzungsstrukturen berücksichtigt, sind die eingearbeiteten Handlungsablaufpläne mit einer gewissen Genauigkeit der Anweisungen verbunden.

#### 3.1.4 Berechnungsmethoden zur Stabilität und Schwimmfähigkeit

Für Schiffbauer und Kapitäne ist entscheidend, welche Schwimmlage ein Schiff bei einem konkreten Leckfall einnimmt. Dazu zählt auch die Information über Stabilität und Schwimmlage in den einzelnen Zwischenzuständen der Flutung. Die Einschätzung von Schwimmlage und Stabilität erfolgt nach zwei unterschiedlichen Rechenmethoden, die auch hier zur Auswertung der Leckszenarien in diesem Kapitel angewandt wurden und weiter unten näher erläutert werden. Zuvor sei jedoch darauf hingewiesen, daß die internationale Schifffahrt dieser Problematik viel zu wenig Bedeutung beimisst. Nur so läßt sich erklären, daß die einschlägige Fachliteratur für Schiffsoffiziere dieses Thema nur in starker Vereinfachung darstellt und dabei viele wichtige Details auslässt. In den Rechenbeispielen der Fachliteratur werden Schiffe oft als pontonförmig angenommen [1] oder die Lecks treffen nur den Mittschiffsbereich und vereinfachen den Leckfall damit zu sehr. Auch wird von nur wenigen Autoren der im Anhang aufgeführten Literaturquellen darauf hingewiesen, daß durch die Vertrimmung die KN-Werte für den ebenen Kiel nicht mehr anwendbar sind. Und noch ein weiterer Aspekt findet kaum Berücksichtigung:

Die Notwendigkeit zur Iteration. Häufig wird die notwendige Iteration außer Acht gelassen <sup>11</sup>. Lediglich Hahne und Dreißig [16] gehen darauf näher ein. In keiner der angeführten Fachliteratur wird jedoch der reale Leckfall in seiner Komplexität ausreichend diskutiert; dazu zählt eine Beschädigung eines Schiffskörpers bei gegebener Trimm- und Krängungslage mit nicht-idealisierter Mittschiffslage des Wasserlinienschwerpunktes und einer Beschädigungstiefe, die sich nicht über die volle Breite des Schiffskörpers erstreckt.

---

<sup>11</sup>vgl. mit [2], [1], [63], [51],[52] oder [65]

Die im Folgenden vorgestellten Rechenmethoden wurden in dieser Arbeit angewendet, wenn auch unter einer Reihe unterschiedlicher idealisierter Annahmen.

### Die Methode des hinzukommenden Gewichts

Bei dieser Methode wird das einströmende Leckwasser als zusätzliches Gewicht berücksichtigt und damit dem Prinzip nach ähnlich wie an Bord genommene Ladung behandelt. Deshalb wird diese Methode auch bevorzugt von Schiffsoffizieren angewendet. Tijardovic (vgl. mit [63], S.327) teilt diese Erkenntnis und verweist auf den Umstand, daß Schiffbauer im Gegenzug die *Methode der konstanten Verdrängung* bevorzugen.

Neben der Analogie der Methode des hinzukommenden Gewichts zum Laden beziehungsweise ballasten von Tanks liegt aber noch ein weiterer entscheidender Vorteil dieser Methode vor: Es werden nämlich auch die freien Oberflächen in die Kalkulation miteinbezogen. Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus der Methode des hinzukommenden Gewichts und der der konstanten Verdrängung ist nicht bei der Ermittlung der GM-Werte gegeben. Da der Gewichtsschwerpunkt sich nicht bei der letzteren Methode ändert, fallen die Ergebnisse der Berechnungen der GM-Werte in der Regel auch unterschiedlich aus.

Folgender Algorithmus ergibt sich für die Kalkulation der Zwischenflutungszustände beziehungsweise für den Endzustand der Flutung:

1. Das Leckraumvolumen des beschädigten Raumes wird bis zur Schwimmwasserlinie ermittelt (aus Schiffsunterlagen)
2. Die Leckwassermasse wird unter Berücksichtigung der Permeabilität und Leckwasserdichte aus dem Leckraumvolumen berechnet
3. Berechnung des neuen Displacement
4. Bestimmung von LCG, ETM und LCF<sup>12</sup> aus den hydrostatischen Tabellen mit Displacement (D) als Eingangsgröße
5. Berechnung der neuen Tiefgänge und der Krängung<sup>13</sup>
6. Berechnung der Stabilität (Momentenrechnung)

---

<sup>12</sup>LCF: meist nur für ebenen Kiel tabuliert

<sup>13</sup>Bei großer Krängung wandert CF aus der Mittschiffsebene aus, welches bei der Rechnung berücksichtigt werden muss (vgl. [63] Seite 328)

### Die Methode des verlorenen Auftriebs

Das zusätzliche Volumen, welches durch den Auftriebsverlust benötigt wird, lässt sich wie folgt veranschaulichen: Nimmt man an, daß durch das Eintauchen Reserveauftrieb verloren geht und der Leckraum sich in der Höhe bis kurz unter die Schwimmwasserlinie erstreckt, dann wird das Volumen oberhalb des Leckraumes bis zur neuen Schwimmwasserlinie in gewisser Weise neutralisiert. Das heißt, es heben sich dann für diesen Volumenausschnitt Verlust- und Reserveauftrieb auf. Das zusätzliche Volumen errechnet sich aus dem neuen Schiffsvolumen und dem alten. Folgender Algorithmus bietet sich an, wenn nach der Methode des verlorenen Auftriebs gerechnet werden soll ( in Anlehnung an: [51] S. 149 ff.):

1. Berechnung des Leckraumvolumens bis zur Schwimmwasserlinie vor der Flutung
2. Berechnung des permeablen Volumens, also unter Berücksichtigung des Raumflutungsfaktors
3. Berechnung der neuen, beschädigten Wasserlinienfläche\*<sup>14</sup>
4. Berechnung der x- und y-Verschiebung des Wasserlinienschwerpunktes (LCF)
5. Berechnung des Wasserlinienflächenträgheitsmomentes I (intakt)
6. Berechnung des Wasserlinienflächenträgheitsmomentes I(beschädigt);  
Dabei werden folgende Flächenträgheitsmomente zur Berechnung von  $I_{yy}$  (beschädigt) von  $I_{yy}$  (intakt) subtrahiert:
  - (a) Leckflächenträgheitsmoment um die x-Achse von WLA,
  - (b) Leckflächenträgheitsmoment um die eigene Achse,
  - (c) Flächenträgheitsmoment der beschädigten Wasserlinienfläche um die neue x-Achse

---

<sup>14</sup>nur erforderlich, wenn der flutbare Raum über Schwimmwasserlinie hinaus geht

7. Berechnung von  $\overline{BM}$  in x- und y-Richtung mit neuem Ixx
8. Berechnung der parallelen Tiefertauchung
9. Berechnung des neuen KB, resultierend aus dem Steigen von B
10. Berechnung von  $\overline{GM}$  in x- und y-Richtung
11. Berechnung der Krängung aus dem neuen  $GM_L$  und dem y-Abstand des Leckraumes vom neuen LCF
12. Berechnung des Trimmings

Da das Schottendeck oberhalb der Schwimmwasserlinie liegt und gesetzlich die darunter liegende Margin-Line nicht getaucht sein darf, sind eine ganze Reihe von Räumen oberhalb der Schwimmwasserlinie angeordnet. Dennoch gibt es eine Vielzahl von Räume, die ihre vertikale Grenze unterhalb der Schwimmwasserlinie erreichen, wie beispielsweise der Doppelbodentank. In einem solchen Fall gilt, daß die Wasserlinienfläche nicht als beschädigt angesehen wird, man also zur Berechnung die intakte Wasserlinienfläche verwendet. Umgekehrt gilt dann aber auch, daß Räume, die erst während der Flutung gänzlich getaucht sind, später nicht mehr zur Beschädigung der Wasserlinienfläche beitragen.

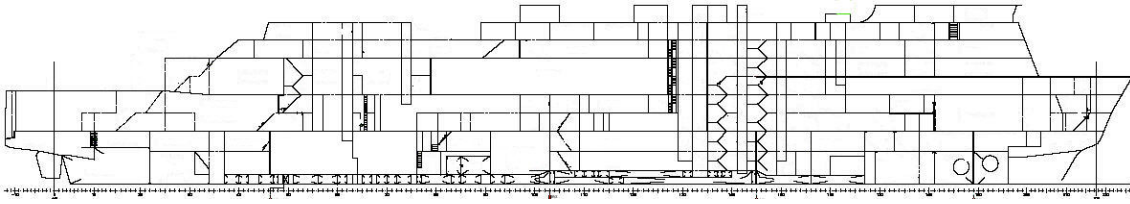


Abbildung 3.9: Übersicht Beispielschiff1

### 3.1.5 Berechnungen zur Leckstabilität am Beispiel einer RoPax-Fähre - Beispielschiff 1

In diesem Abschnitt soll an einem Beispielschiff gezeigt werden, wie Schwimm- lage und Stabilität an Bord eingeschätzt werden können. Das Schiff ist real- existierend und ist nach SOLAS '90 Standard als Zweiabteilungsschiff ausge- führt. Demnach muß es in voll beladenem Zustand eine Beschädigung von 2 benachbarten Abteilungen überstehen können und darüber hinaus nach SO- LAS Kapitel II-1 Regel 8 weitere Stabilitätskriterien erfüllen. Diese umfassen Mindeststabilitätsumfang, Mindesthebelarm unter Berücksichtigung der krän- genden Momente durch Passagieransammlungen auf einer Seite des Schiffes, krängenden Momente durch Aussetzen der Rettungsboote und Winddruck. Die- se Vorschriften sind rein schiffbaulicher Art und sind nicht gleichzusetzen mit der überlebenswahrscheinlichkeit im konkreten Wassereinbruchfall. So spielt die Lenzleistung eines Schiffes ebenso wenig eine Rolle wie die Fähigkeit einiger Schiffe, auch Leckfälle zu überleben, die den Rumpf erheblich weiter als bis zur Margin-Line eintauchen lassen.

Nimmt man nun die Unterlagen zum Schiff und untersucht verschiedene La- defälle mit unterschiedlichen Ballastzuständen, dann lassen sich Leckszenarien aufstellen, die in der nachfolgenden Auswertung Schwachstellen des untersuch- ten Schiffes aufdecken und der Schiffsleitung in Art eines Handbuches vermit- telt werden können. Wie bereits in Abschnitt 2.4.2 erläutert, konnte man sich bis heute auf keinen einheitlichen Standard in der Stabilitätsdokumentation einigen. Die folgenden Berechnungen sind von folgenden Annahmen ausgegangen:

1. Die Freien Oberflächen der gefluteten Abteilungen haben ihre volle Wir-



### 3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung

---

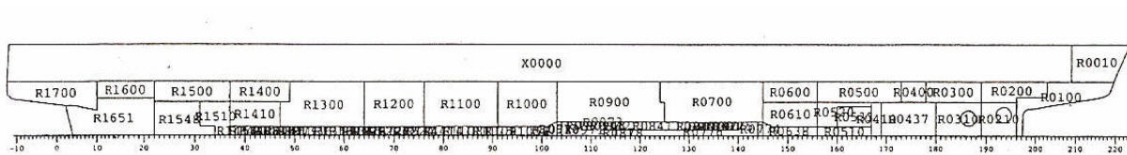


Abbildung 3.10: Abteilungen Beispielschiff<sup>1</sup>

kung im Volumenbereich 5% - 95%; außerhalb dieses Bereiches wurden sie nicht berücksichtigt<sup>15</sup>

2. Die sich einstellende Krängung zu Beginn der Wasseraufnahme wird nicht weiter berücksichtigt. Dies ergibt sich aus der Tatsache, daß das Schiff weder ein Längsschott hat, noch bauliche Vorkehrungen getroffen wurden, die den Krängungsausgleich oder Querfluten in hohem Maße behindern.
3. Es wurden nur Beschädigungen unterhalb des Schottendecks berücksichtigt, weil davon ausgegangen werden kann, daß Beschädigungen oberhalb des Schottendecks bei gemäßigten Wetterverhältnissen problemlos überstanden werden<sup>16</sup>
4. die Lecksimulation basiert auf den 3 in dem Stabilitätshandbuch des Schiffes aufgeführten Intakt-Beispielladefällen
5. Nimmt das Schiff in der Endschwimmlage einen Tiefgang von mehr als 8.00m vorne oder achtern ein, stellt sich ein kritischer Zustand ein, da das Schottendeck getaucht ist und damit Wasser in das RoRo-Deck eindringen kann (Schiff sinkt)
6. bei den betroffenen Räumen wird davon ausgegangen, daß es zu keiner weiteren Flutung der Räume derselben Abteilung kommt
7. der Volumenstrom ist konstant über den gesamten Flutungszeitraum

#### Das Problem der eingeschlossenen Luft

In dem hier entworfenen Modell zur Berechnung des Endzustandes der Flutung wurde eine gleich bleibende Flutung der Räume angenommen. Es ist aber be-

---

<sup>15</sup>Diese Annahme ist dem Lehrmaterial der Hochschule Wismar [19] S.20 entnommen.

<sup>16</sup>Bei unvertrimmten und voll abgeladenen Schiff liegt das Schottendeck 2,20m oberhalb WL.

kennt, dass:

1. durch eingeschlossene Luft der Flutungszustand verzögert wird. In der zur Stabilitätskonferenz STAB2009 eingereichten Arbeit von C.Strasser et. al [59] wurde auf den Einfluss der eingeschlossenen Luft und deren verzögernden Einfluss auf die progressive Flutung aufmerksam gemacht. Die dort angewandte CFD-Methode (CFD = Computer Fluid Dynamics) wurde schon bei der Estonia-Untersuchung als Analyseverfahren herangezogen<sup>17</sup>. Beim Flutungsprozess entweicht Luft unwillkürlich aus einem gefluteten Raum, da dieser nicht hermetisch dicht ist. Diese eingeschlossenen Luft wird aber durch die Flutung komprimiert, da diese selbst bei vorhandenen Entlüftungsrohren bei starker Flutung nicht schnell genug entweichen kann. Das sich aufbauende Luftpolster kann bei plötzlicher Entspannung einen erneuten Effekt von freien Flüssigkeitsoberflächen erzeugen und damit die Stabilität zusätzlich verringern.
2. bei Niveaue Ausgleich der Volumenstrom deutlich verlangsamt wird (vergleiche mit Abbildung 3.11. Auch wird bei Erreichen der Tank- oder Laderaumdecke der Flutungsprozess verzögert, da der Widerstand deutlich größer wird und Wasser nur durch die progressive Flutung bewegt wird (z.B. halbgeöffnete Schotten, undichte Mannlöcher, undichte Verriegelung von Treppenhäusern, gebrochene Rohrleitungen etc.)

Die Abbildung 3.11 zeigt die Abhängigkeit des Volumenstroms von der Füllhöhe  $h_2$ . Dabei wird deutlich, wie stark sich die Flutung verzögert, wenn die Leckeintrittsöffnung nicht mehr oberhalb des lecken Raumes befindet. Dem Simulationsbeispiel folgend, wurde in dem Graph der Abbildung 3.11 eine Leckfläche von  $13.7m^2$  angenommen, bei einem Einschnürkoeffizient von 0.66 und einer Treffertiefe von 1m unterhalb der Schwimmlinie. Zu Beginn der Flutung, also wenn der Volumenstrom nicht auf den Widerstand des Raumleckwassers trifft, liegt derselbe noch bei  $40.1m^3/s$ . Liegt die Wassersäule des Leckraumes erst einmal oberhalb der Leckstelle, dann reduziert sich der Volumenstrom bei

---

<sup>17</sup>mündliche Aussage durch C.Strasser beim Vortrag des Konferenzpapiers [59] mit Bezug auf die online-Bezugsquelle (vgl. [www.safetyatsea.co.uk](http://www.safetyatsea.co.uk))

### 3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung

---

einer Wassersäule von 10cm oberhalb der Lecköffnung schon zu  $38\text{m}^3/\text{s}$ . Bei Niveauegleich nimmt der Wert dann naturgemäß den Wert "0" an.

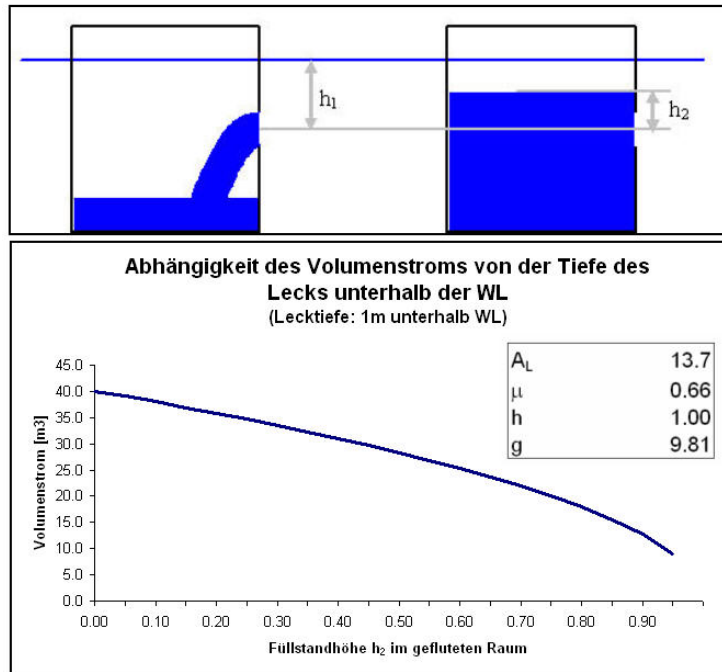


Abbildung 3.11: Volumenstrom in Abhängigkeit von der Füllhöhe  $h_2$

Grundsätzlich unterscheidet man zwei verschiedene Flutungsphasen:

1. *transiente Flutungsphase* (im Regelfall starker Volumenstrom, hohe Geschwindigkeit mit hoher Reynoldszahl<sup>18</sup> (vgl. [59] S.734)
2. *progressive Flutungsphase* (geringerer Volumenstrom mit geringerer Reynoldszahl )

Um das Modell und die Simulation auf ein sinnvolles Maß zu begrenzen, wurde von dieser aufwendigen Modellierung abgesehen und der Flutungsprozess als konstant angenommen.

### **Erläuterungen zu den Beispielleckfällen**

Die folgenden Anmerkungen und Erläuterungen bauen inhaltlich auf den vorherigen Abschnitt zur Simulation auf, gehen aber detailliert auf das Modell und die Simulationsfunktionen von CB ein. Unten aufgeführt sind die 3 verschiedenen Leckfälle mit den dazugehörigen Abteilungen, die hier mit Hilfe der Software und des Modells analysiert wurden:

Beispielschiff 1:

1. Leckfall 1:    Abteilungen 5a und 6a beschädigt
2. Leckfall 2:    Abteilungen 12, 13 und 14 (teilweise) beschädigt
3. Leckfall 3:    Abteilungen 12, 13 und 14 beschädigt

Das Grundmodell zur Berechnung der Leckstabilität unterscheidet sich kaum von dem zur Intakstabilitätsberechnung. Massen und Gewichte werden mit ihren x-, y- und z-Koordinaten entsprechend eingegeben und addiert. Durch die Momentenrechnung lassen sich dann die x-, y- und z-Koordinaten des Gesamtschiffes ausrechnen. Da bei dem Beispielschiff mit der Methode des hinzukommenden Gewichtes gerechnet wurde, ist die Addition der Leckwassermassen ähnlich dem Füllen von Tanks zu betrachten (siehe 3.1.4) und so wird in Abständen von 1s der neue Zwischenzustand berechnet, der sich mit dem Fluten der betroffenen Abteilung(en) einstellt.

---

<sup>18</sup>die Reynoldszahl beschreibt eine Strömung in ihrem Charakter. Aus der Reynoldszahl lässt sich erkennen, ob eine turbulente oder laminare Strömung vorliegt.

Den schiffbaulichen Vorschriften zur Leckgröße nach SOLAS Kapitel II-1 Regel 8 wurde insofern Rechnung getragen, als daß Leckgrößen in der Simulation generiert wurden, die einen Volumenstrom von maximal  $20\text{m}^3/\text{s}$  pro Abteilung generieren<sup>19</sup>. Die freien Oberflächen wurden berücksichtigt und tragen damit erheblich zur GM-Reduzierung bei. Dabei sind die GM-Werte bei den untersuchten Fällen im Endzustand der Flutung in der Regel größer als im Intaktfall. Dies ist eine logische Folge aus der Flutung unterhalb des Intaktgewichtsschwerpunktes des Schiffes.

Um eine genaue Aussage zu jedem Zeitpunkt der Flutung machen zu können, wurden die Zeitintervalle der Berechnung des jeweiligen Flutungszustandes auf 1 Sekunde festgelegt. Damit wird auch der nachträgliche iterative Umgang, weil die Leckwassermenge pro Sekunde nur so lange erhöht wird, bis die Abbruchbedingung eintritt. Die Leckszenarien des Beispielschiffs 2 im nächsten Abschnitt beinhalten nur den Endzustand der Flutung ohne weitere Iterationen. Wegen der 5%-Regel zu den Freien Oberflächen bedeutet dies, daß bei den betrachteten etwa gleichgroßen gefluteten Räumen dieser Effekt schlagartig einsetzt und das GM sehr stark reduziert wird. In der Praxis kann dieser Prozess weit weniger akut ausfallen, da gerade bei kleineren Lecks die Wassermassen innerhalb des Schiffes langsam steigen. Zudem ist anzunehmen, daß bei den Lecks im Passagierbereich durch die Vielzahl der Kammern und Wände der Freie-Oberflächen-Effekt weit weniger stark auswirkt als im weit mehr offenem Maschinenraum. In gewisser Weise wird damit aber auch der Querflutungseffekt behindert. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Simulation ist die getrennte Erzeugung von Leckgrößen der betroffenen Abteilungen. Dabei wurde bewußt der Möglichkeit Rechnung getragen, daß ein 2-oder 3-Abteilungsleck nicht gleichmäßige Volumenströme erzeugt. So kann die Abteilung 1 mit einem Volumenstrom von  $20\text{m}^3$  beaufschlagt sein, während Abteilung 2 nur mit  $10\text{m}^3$  beaufschlagt wird. Bei Beschädigungen von 3 Abteilungen ist daher auch der wenig wahrscheinliche Fall möglich, dass die äußeren Abteilungen stark betroffen sind während die mittlere Abteilung nur sehr wenig Wasser aufnimmt.

---

<sup>19</sup>Für ein 2-Abteilungsleck bedeutet dies eine maximale Leckfläche von  $13,7\text{ m}^2$  bei einem Einschnürkoeffizient von 0.66 und einer Lecktiefe von 1m [mit Leckmittelpunkt oberhalb der Leckwasserlinie]

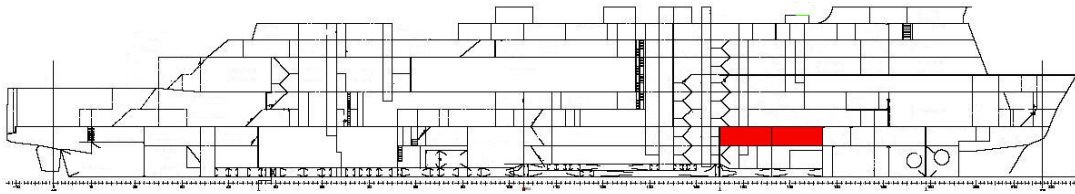


Abbildung 3.12: Leckfall<sub>1</sub>

### Analyse des Leckfalls 1 (Fluten der Abteilungen 5a und 6a)

Dieser Leckfall, bei dem die Passagierkammern der Abteilungen 5a und 6a betroffen sind, wird vom Schiff unter Berücksichtigung oben getroffener Annahmen problemlos überstanden. Dabei wird davon ausgegangen, daß es zu keiner progressiven Flutung der unteren Bereiche kommt, die ein und derselben Abteilung zugehören. Nur bei einigen sehr wenigen Fällen wird ein vorderer Tiefgang von mehr als 8.00m erzeugt. Bei etwa zwei Drittel der 10.000 erzeugten Szenarien liegt der Tiefgang vorne zwischen 7.23 und 7.80m. Die gefährliche Überschreitung der 8 Meter-Marke ergibt sich aus der Akkumulation aller ungünstigsten Annahmen und macht weniger als 10% aller Leckfallsimulationen aus. Aus der Tabelle 3.1 geht außerdem hervor, daß in etwa 50% der Fälle der Endzustand der Flutung nach 100 Sekunden erreicht wird. Bei keinem der Durchläufe jedoch, ist im Endzustand oder Zwischenzustand der Flutung ein negatives GM erzeugt worden. Dies ist im Grunde auch nicht zu erwarten, denn bei paralleler Tiefertauchung kann das Schiff problemlos bis zur Schottendecklinie absinken. Die Flutungszeit hier ist weniger bedeutend, da das Schiff eben im Mittel ein  $GM_c$  von 1.21m aufweist. Selbst das Minimum- $GM_c$  im ungünstigsten Fall während des kritischen Zwischenzustandes beträgt noch 0.12m. Bei noch detaillierterer Aufarbeitung des Modells mit Ladungsgewichten und -verteilungen, z.B. durch das Begrenzen der Wahrscheinlichkeitswerte, könnte eine noch größere Genauigkeit der Simulation erreicht werden. Somit schließt man auch Zufallszahlen aus, die eben nicht realistisch sind, aber durch die Normalverteilungskurve als "outlayers" erzeugt werden.

Ein sehr wichtiges Element der Analyse der Simulation ist die Auswertung durch so genannte *sensitivity-charts*. In diesen wird die Abhängigkeit der An-

### 3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung

---

Precision control on Confidence level				95%
	$GM_c^*(\text{min})$	$GM_c$	Tiefgang vorn	Flutungszeit
Trials	10000	10000	10000	10000
Mean	0.51	1.21	7.45	183s
St. Deviation	0.11	0.42	0.27	204s
Range Width	0.83	1.86	1.84	820s
Minimum	0.12	0.49	6.50	25s
Maximum	0.95	2.36	8.34	845s
Percentiles				
0%	0.12	0.49	6.50	26s
10%	0.37	0.83	7.10	44s
20%	0.41	0.88	7.22	54s
30%	0.45	0.92	7.31	66s
40%	0.48	0.96	7.38	81s
50%	0.51	1.00	7.45	101s
60%	0.54	1.08	7.52	131s
70%	0.57	1.45	7.60	180s
80%	0.61	1.54	7.69	267s
90%	0.66	1.99	7.80	476s
100%	0.95	2.36	8.34	845s

\*Hier wurde das absolute Minimum  $GM_c$  berücksichtigt, unabhängig vom Zeitpunkt der Flutung

\*\*bezeichnet das  $GM_c$  im Endzustand der Flutung

Tabelle 3.1: Summary Bsp.Schiff1 LF1

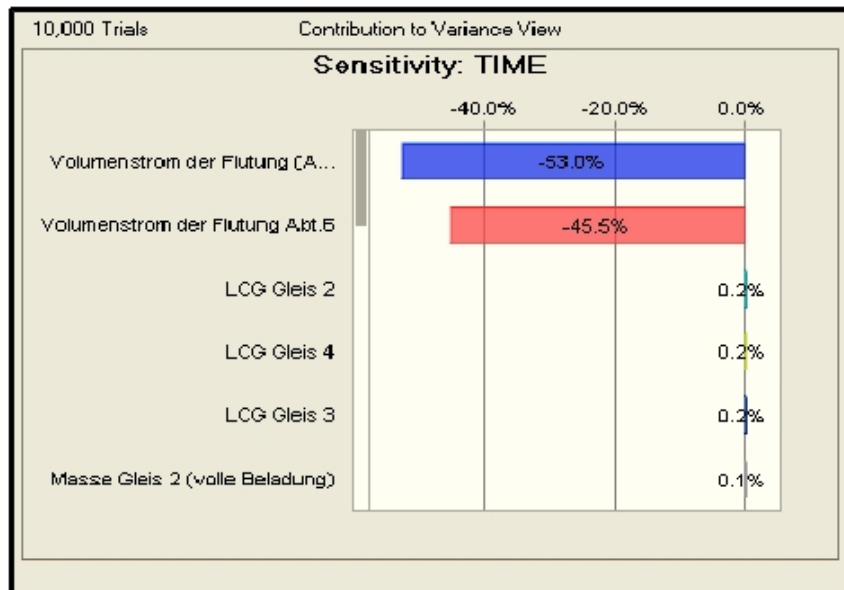


Abbildung 3.13: Leckfall 1 - Flutungszeit sensitivity

nahmezellen zu den Vorhersagezellen dargestellt. Dabei hängt die Gesamteinflussnahme der einzelnen Annahmezellen auf eine Vorhersagezelle von 2 wesentlichen Faktoren ab:

1. die modellbedingte Abhängigkeit der Vorhersagezelle von Annahmezellen und
2. die Genauigkeit der Annahmezellen

So ist beispielsweise das Displacement als Vorhersagezelle der Simulation nicht von der Schwerpunktlage der Massen abhängig und deshalb gibt es dort keine Abhängigkeit zwischen den Schwerpunktannahmezellen und der Displacement-Vorhersagezelle. Ist aber ein mathematischer Zusammenhang von Größen vorhanden und im Modell hinterlegt, dann ist die Abhängigkeit zwischen Vorhersage- und Annahmezelle wiederum abhängig von der Genauigkeit der Annahmezellen. So besteht ein enger mathematischer Zusammenhang zwischen den vertikalen Schwerpunktannahmen der Eisenbahn-Gewichte als Annahmezellen und dem Gesamthöhenschwerpunkt KG des gesamten Schiffes.

Die Abbildung 3.13 veranschaulicht dies für die Flutungszeit als Vorhersagezelle. Die Flutungszeit ist modellbedingt, also mathematisch vom eindringenden



### 3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung

---

Volumenstrom des Flutwassers abhängig. Da die Flutungen in beiden Abteilungen (5a und 6a) im Modell als gleichwahrscheinlich editiert worden sind, ergibt sich auch in der sensitivity-Analyse eine balancierte Abhängigkeit: Eine indirekte Proportionalität wird daraus erkenntlich, also eine größere Flutungszeit bei geringer werdenden Volumenstrom.

Das Beispiel der Flutungszeit rechtfertigt noch nicht die Leckauswertung durch sensitivity-charts. Dies liegt an der einfachen mathematischen Abhängigkeit. Bei einem umfangreicheren Modell oder bei der Betrachtung von komplexeren mathematischen Modellbeziehungen geben diese sensitivity-charts einen weiterreichenden Einblick in die Abhängigkeiten der Vorhersagezellen. Aus der Abbildung 3.14 geht beispielsweise hervor, daß durch die Simulation der größten Einzelmasse, nämlich der Gesamtmasse aller Tanks die Vorhersagezelle GMc zu etwa 35% beeinflusst wird.

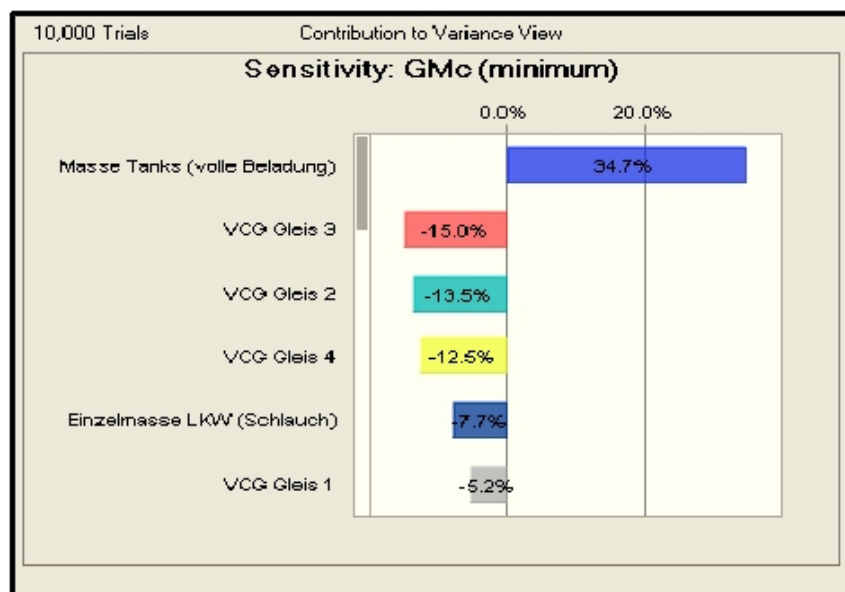


Abbildung 3.14: Leckfall 1 - GMc sensitivity

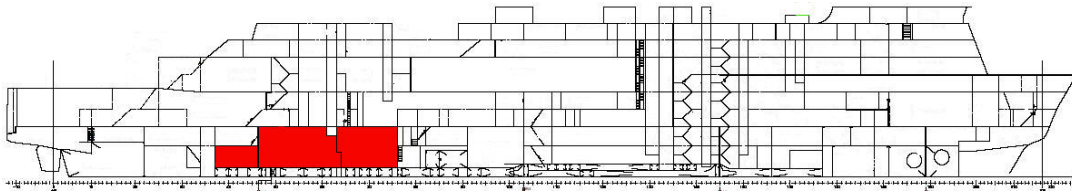


Abbildung 3.15: Leckfall2

### 3.1.6 Analyse des Leckfalls 2 (Fluten der Abteilungen 12,13 und 14 (partiell))

Bei diesem Szenario handelt es sich um einen Drei-Abteilungsfall, den das Schiff nach den SOLAS-90 Vorschriften nicht überstehen muß. Gerade wenn es aber um die Wahrscheinlichkeit des Überlebens eines solchen Grenzfalles geht, muß der Kapitän diesen einmaligen Fall einschätzen können. Durch die tiefe Lage der betroffenen Abteilung ist die Stabilität im Endzustand der Flutung sogar noch angewachsen. Etwa 90% der Fälle weist ein GM zwischen 1.40m und 2.20m aus. Durch die Wirkung der freien Oberflächen verringern sich in den Zwischenphasen der Flutung die GM-Werte jedoch erheblich. Bei den 10.000 simulierten Fällen schrumpft das GM zu Minimumwerten zwischen 0m und 0.43m in etwa 80% der gesamten Szenarien. Unter den gegebenen Annahmen bleibt das Schiff in sicherer Schwimmlage, da nur in etwa 5% der Leckfälle der Tiefgang über die 8m-Marke anwächst. Der absolute Maximalwert im ungünstigsten Falle liegt bei 8.41m bei einem Schwankungsbereich der Simulation zwischen 5.88m und 8.41m. Schätzt man den zeitlichen Rahmen bis zum Endzustand der Flutung ein, so läßt sich feststellen, daß in etwa 30% aller generierten Wassereinbrüche dieser Zustand nach 6 Minuten erreicht wird. Wie bereits zuvor erwähnt, so kann auch dieses Modell durch detailliertere Annahmekriterien noch verbessert werden und es ist eine Verbesserung der Stabilitätsdaten zu erwarten.

### 3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung

---

Precision control on Confidence level			95%
Summary $GM_c$		Summary Tiefgang achtern	Flutungszeit
Trials	10000	10000	10000
Mean	0.32	7.49	294s
St. Deviation	0.21	0.29	177s
Range Width	1.26	2.53	493s
Minimum	-0.22	5.88	71s
Maximum	1.04	8.41	564s
Percentiles			
0%	-0.22	5.88	71s
10%	0.10	7.13	100s
20%	0.16	7.28	125s
30%	0.20	7.38	153s
40%	0.23	7.45	187s
50%	0.27	7.52	231s
60%	0.30	7.59	300s
70%	0.35	7.65	403s
80%	0.43	7.73	564s
90%	0.68	7.83	564s
100%	1.04	8.41	564s

*\*Hier wurde das absolute Minimum  $GM_c$  berücksichtigt, unabhängig vom Zeitpunkt der Flutung*

Tabelle 3.2: Summary Bsp.Schiff1 LF2

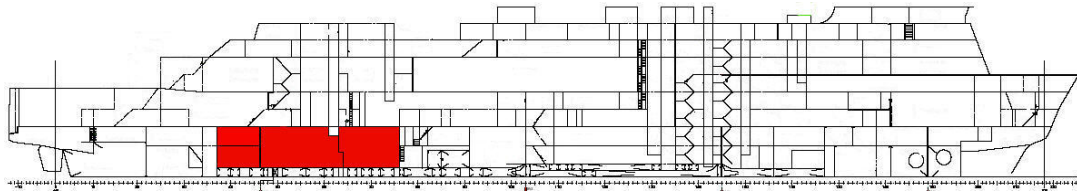


Abbildung 3.16: Leckfall3

### 3.1.7 Analyse des Leckfalls 3 (Fluten der Abteilungen 12,13 und 14)

Werden die Abteilungen 12-14 komplett geflutet, dann steigt das Risiko des Sinkens erheblich. Im günstigsten Fall der Simulation liegt das Displacement etwa 1200t oberhalb der Lademarke. ähnlich wie im Leckfall 2 sinkt der Schwerpunkt des Schiffes erheblich und somit liegt im Endzustand der Flutung in nur 10% der Fälle ein GM unterhalb von 1.56m vor. Bei den Zwischenzuständen sind jedoch weit mehr Fälle mit negativen GM zu beobachten. In mehr als 70% der Wassereinbrüche sinkt das GM zwischenzeitlich in den negativen Bereich und in mehr als 30% der Fälle wird achtern die 8m-Marke überschritten. In nur etwa 10% der Fälle wird der Endzustand der Flutung in einer Zeit von mehr als 12 Minuten erreicht. Tritt dieser Fall ein, dann ist ein überleben nur dann möglich, wenn der nun zusätzlich geflutete Raum nur so viel Wasser aufnimmt, daß das Lenzsystem die Flutung verhindern kann.

### 3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung

---

Precision control on Confidence level			95%
	Summary $GM_c$	Summary Tiefgang achtern	Flutungszeit
Trials	10000	10000	10000
Mean	-0.04	7.87	357s
St. Deviation	0.22	0.27	236s
Range Width	1.50	2.71	676s
Minimum	-0.51	5.98	71s
Maximum	0.98	8.69	747s
Percentiles			
0%	-0.51	5.98	71s
10%	-0.27	7.53	108s
20%	-0.22	7.67	139s
30%	-0.18	7.76	175s
40%	-0.14	7.83	218s
50%	-0.10	7.89	271s
60%	-0.06	7.95	346s
70%	0.00	8.02	471s
80%	0.12	8.09	681s
90%	0.33	8.19	747s
100%	0.98	8.69	747s

*\*Hier wurde das absolute Minimum  $GM_c$  berücksichtigt, unabhängig vom Zeitpunkt der Flutung*

Tabelle 3.3: Summary Bsp.Schiff1 LF3

### Auswertung der Leckszenarien des Beispielschiffes 1

Obwohl die Lecksimulation in diesem Modell einen weiten Aufschluss über mögliche Leckszenarien gibt, kann sie dennoch nur als geringe Teilmenge der Gesamtheit der Wassereinbrüche gewertet werden. Dies ergibt sich aus den stark vereinfachten Randbedingungen wie moderater Seegang und Wind sowie einer optimalen Querflutung. Auch sind die verwendeten Ladungszustände von den Beispielladefällen des Stabilitätshandbuches mit festen Tankfüllständen abgeleitet. Trotzdem zeigen die Ergebnisse, daß ein gewisses Risiko auch unter diesen Vereinfachungen nicht vernachlässigbar ist.

Die zur Untersuchung der Stabilität vorhandenen Unterlagen lassen lediglich die *"Methode des Hinzukommenden Gewichts"* zu, denn es konnten keine Unterlagen zu den Wasserlinienflächen ausfindig gemacht werden. Das beobachtete Grundproblem bei anderen untersuchten Stabilitätsunterlagen ist jedoch ganz anderer Art (Vergleiche Abschnitt 3.02 zum Beispielschiff 2): Die hydrostatischen Tabellen an Bord enden mit dem maximal zulässigen Tiefgang, so daß die Schiffsführung keine Möglichkeiten hat, den Wassereinbruch nach der *"Methode des zusätzlichen Gewichts"* zu berechnen. Dabei ist es für die Bauwerft ein Leichtes, diese Tabellen entsprechend zu ergänzen. Der Grund dafür könnte darin liegen, daß Schiffbauer bevorzugt nach der *"Methode des verlorenen Auftriebs"* rechnen, obwohl auch hier bei der Iteration die hydrostatischen Werte für die jeweiligen neu-iterierten Tiefgänge einfließen müssen. In der Regel rechnen auch Computerprogramme nach dieser Methode, bei der das Displacement konstant bleibt. Kapitäne und Inspektoren sind also gut beraten, die vollständige und lückenlose Dokumentation einzufordern.

Das Fazit dieser Untersuchung ist also ein durchaus Positives, denn das Beispielschiff ist bei den untersuchten Leckfällen in ausreichendem Maße stabil. Schiffbaulich ist dieser Entwurf mit den genannten Randbedingungen aus praktischer Sicht also nicht bedenklich. Dies liegt vor allem an dem hoch gelegenen Schottendeck, welches über 2m oberhalb der Schwimmlinie bei maximaler Abladung liegt. Die Schwierigkeiten ergeben sich erst aus den allgemein bekannten Problemen im Leckfall, wie sie im *Handbuch für den Leckfall* beschrieben sein müssten. Doch schon an dieser Stelle wird deutlich, daß der Kapitän im Falle eines Ein- oder Zweiabteilungslecks über eine große Sicherheitsreser-

### 3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung

ve verfügt, selbst bei voller Abladung. Dabei können nur zwei Umstände eine entscheidende Gefahr mit sich bringen: Die Flutung benachbarter Abteilungen durch so genanntes "progressive flooding" oder eine starke Schlagseite wenn kein Krängungsausgleich erfolgt. Eine der Grundvoraussetzungen zur Vermeidung des ersteren Umstandes ist demnach das Schließen beziehungsweise das Geschlossenhalten der wasserdichten Schotten. Weil das Schiff über kein Längsschott verfügt, sollte die Problematik der behinderten Querflutung keine starken Auswirkungen haben.

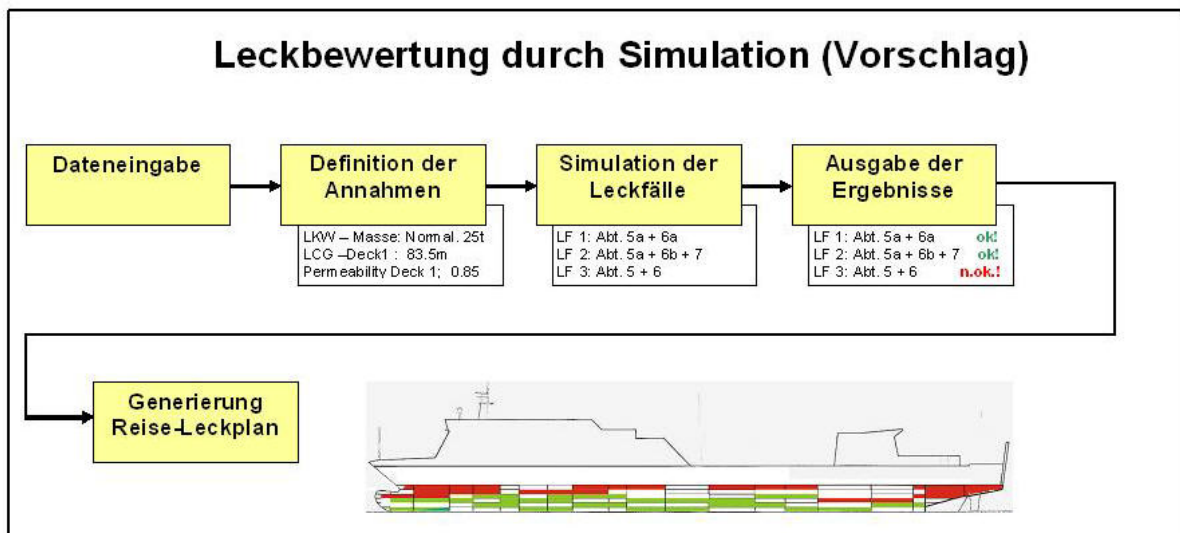


Abbildung 3.17: Organigramm Simulation an Bord

Die Zweckmäßigkeit der Simulation ist aus Autorensicht trotz der Vereinfachung dennoch gegeben, da diese einen Aufschluß über die Überlebenswahrscheinlichkeit des Schiffes für ganz konkrete Leckfälle und den aktuellen Ladefall gibt. Damit steht dem Schiff noch vor der Abreise eine zuverlässige Entscheidungshilfe zur Verfügung, die es bisher noch nicht gibt. Selbst die moderne Software an Bord, wenn denn vorhanden, erlaubt nur für einen ganz konkreten Leckfall eine Einschätzung. Im Realfall jedoch, ist für eine solche Analyse keine Zeit, schon gar nicht, wenn die Handhabung der Lecksoftware nicht Teil der täglichen Routine ist. Die Abbildung 3.17 verdeutlicht das Schema.

Ausgenommen in den Darstellungen 3.17 und 3.18 ist der *Emergency Response Service (ERS)* durch qualifizierte Dritte. Dieser, meist von Klassifikationsgesell-

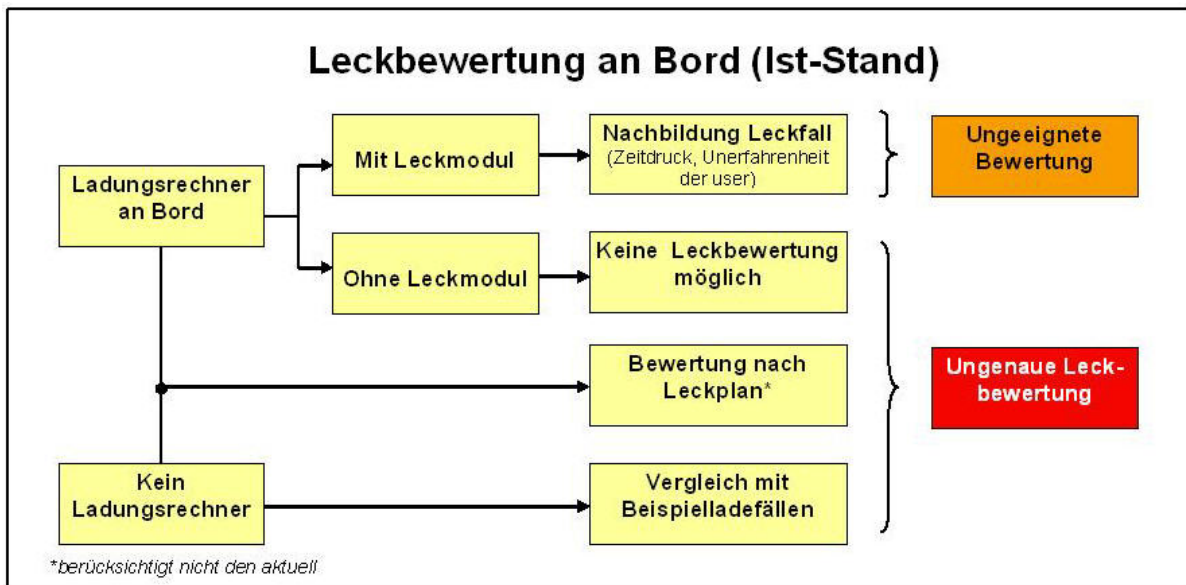


Abbildung 3.18: Organigramm Leckbewertung (Ist-Zustand)

schaften angebotene Service, kann nach Ansicht des Autors zum derzeitigen Zeitpunkt aber nicht die An-Bord-Analyse ersetzen. Erst bei online-Datenabfragen von Experten des ERS mit allen notwendigen Informationen, inklusive der eindringenden Flutungsmengen, kann bei gesicherter guter Kommunikation zwischen Schiff und ERS die Anleitung zur Ergreifung von Maßnahmen an Land erfolgen. Da dies nach Meinung des Autors auch mittelfristig nicht für den Großteil der Flotte in Aussicht steht, kann die Leckbewertung nicht ERS überlassen werden.



### 3.1.8 Berechnungen zur Leckstabilität am Beispiel einer RoPax-Fähre - Beispielschiff 2

Bei diesem Ein-Abteilungsschiff handelt es sich um ein im Jahr 2000 gebautes RoPax-Schiff, daß nach Maßgabe der IMO Resolution A.265(VIII) entworfen worden ist und, durch sein Einsatzgebiet bedingt, auch den Stockholmregeln entsprechen muß.

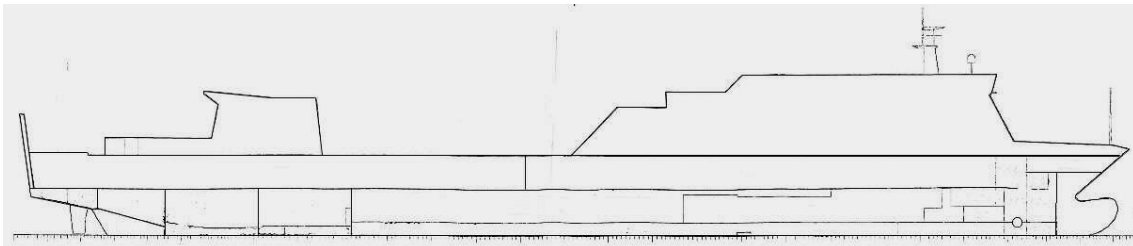


Abbildung 3.19: Beispielschiff 2

Es hat insgesamt 21 Abteilungen mit dem Hauptdeck als Schottendeck. Dieses liegt 8.20m über Basis. Ein aus Sicht der Leckstabilität interessanter Aspekt ist der lange Unterraum für RoRo-Ladung, der sich auf dem Tanktop befindet und nicht unterteilt ist. Auch das bewegliche Schott auf dem Hauptdeck ist insofern interessant, als daß dieses für das Überleben im Falle von *Wasser an Deck* einen wichtigen Beitrag leistet. Dies wird vor allem durch das Stockholm-Übereinkommen direkt gefordert. Aus den Unterlagen des Ingenieurbüro, welches die Konformität des Schiffes nach Stockholm und A.265(VIII) erstellt hat, ist zu entnehmen, daß bei einer Reihe von Szenarien der maximale Krängungswinkel von 20 Grad vor dem Querfluten überschritten oder eben gerade erreicht wird. Ohne dieses Querschott auf dem Hauptdeck würde die RoPax-Fähre nicht den Vorschriften entsprechen. Dabei ist zu bemerken, daß das oben beschriebene bewegliche Schott auf dem Hauptdeck oberhalb des Schottendecks ausgeführt und für die Leckrechnung hier nicht berücksichtigt worden ist<sup>20</sup>.

Das Beispielschiff 1 hat eine Reihe von Querflutungskanälen, die entweder fernbedient von der Brücke fahrbar oder aber permanent geöffnet sind.

---

<sup>20</sup>Hier werden nur Beschädigungen unterhalb der WL angenommen.

**Analyse des Leckfalls 1 - Fluten des vorderen unteren Laderaums und eines vorgelagerten Seitenballasttanks (Teilbeladungszustand)**

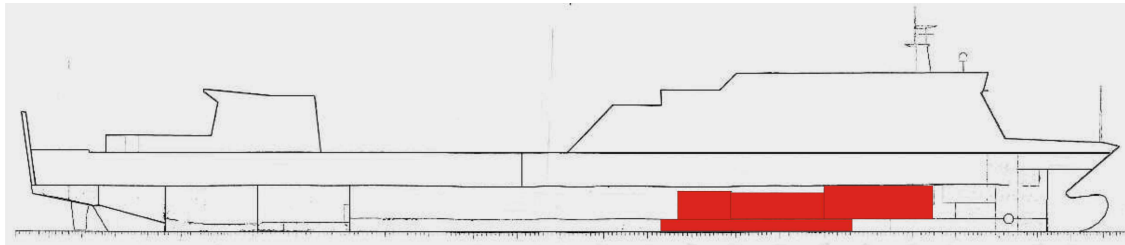


Abbildung 3.20: Beispielschiff 2

Bei dem ersten Fallbeispiel wurde neben der *Methode des verlorenen Auftriebs* auch nach der *Methode des zusätzlichen Gewichts* gerechnet und simuliert. Wie bei den vorangegangenen Szenarien wurde auch hier eine Simulation mit 10.000 Durchläufen vorgenommen. Die beschädigten Räume sind R234 als Laderaum und M109 als vorgelagerten Seitentank. Um die Simulationszeit zu verkürzen, wurde im ersten Simulationengang auf die Manipulation des einkommenden Volumenstroms verzichtet und ein fester Wert von  $13.5m^3/\text{Sek.}$  angenommen, wobei aufgrund der Lage von R234 die Flutungsmenge des Raumes auf die Hälfte von der des Tanks M109 angenommen wurde. Damit soll der Wahrscheinlichkeit der Dämpfung des Stoßes von außen Rechnung getragen werden, wie es beispielsweise bei Kollisionen mit Schiffsrümpfen der Fall ist. In einem zweiten Simulationendurchlauf wurden dann die Flutungswerte beider Räume als variabel angenommen und entsprechend simuliert. Die gewählte Wahrscheinlichkeitsverteilung war die Uniform-Verteilung mit einem Minimalwert des Volumenstroms von  $0.05m^3$  und einem maximalen Wert mit  $17.5m^3$ . Auf eine Korrelation dieser beiden Annahmen wurde zunächst verzichtet. Diese Korrelation wurde in einem dritten Simulationendurchlauf dann aber vorgenommen. Die im Folgenden aufgeführten Ergebnisse reflektieren die Ergebnisse des 2.Simulationendurchlaufes.

Während die Ergebnisse aus der Methode des hinzukommenden Gewichts der schrittweisen Annäherung entlehnt sind, wurde auf die nachträgliche Iteration der Werte der Methode des verlorenen Auftriebs wegen unzureichender hydrostatischer Werte verzichtet. Dieser Mangel wurde als wesentliches Element in den entwickelten IMO Model course- Entwurf (siehe Anhang C) aufgenommen.

### 3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung

---

Obwohl dies zwangsläufig auch für die Methode des hinzukommenden Gewichtes zutrifft, entschied sich der Autor, die benötigten Werte hier zu interpolieren. Dies schien gerechtfertigt, denn ein entsprechend großer Teil der Simulationsergebnisse ergab Werte innerhalb des maximalen Tiefgangs<sup>21</sup>.

Ergebnisse aus der Berechnung nach der Methode der konstanten Verdrängung			
Precision control on Confidence level		95%	
	GM*	Schlagseite [°]	Tiefgang vorn
Trials	10000	10000	10000
Mean	1.39	-3.81	6.51
St. Deviation	0.29	1.55	6.43
Range Width	2.25	18.69	4.29
Minimum	0.27	-19.00	4.82
Maximum	2.52	-0.32	9.11
Percentiles			
0%	0.27	-19.00	4.82
10%	1.01	-5.77	5.72
20%	1.14	-4.96	5.93
30%	1.23	-4.41	6.09
40%	1.31	-4.00	6.25
50%	1.39	-3.61	6.43
60%	1.46	-3.25	6.62
70%	1.54	-2.91	6.83
80%	1.63	-2.52	7.08
90%	1.76	-2.05	7.44
100%	2.52	-0.32	9.11

*\*Bei der Methode der konstanten Verdrängung werden die freien Oberflächen in der Regel nicht berücksichtigt, so daß das GM unkorrigiert bleibt*

---

Tabelle 3.4: Summary Bsp.Schiff2 LF1

1.GM:

---

<sup>21</sup>Das maximale Displacement ist mit 15780t angegeben; der Mittelwert der Simulation lag mit 15818t gerade einmal mit 38t darüber

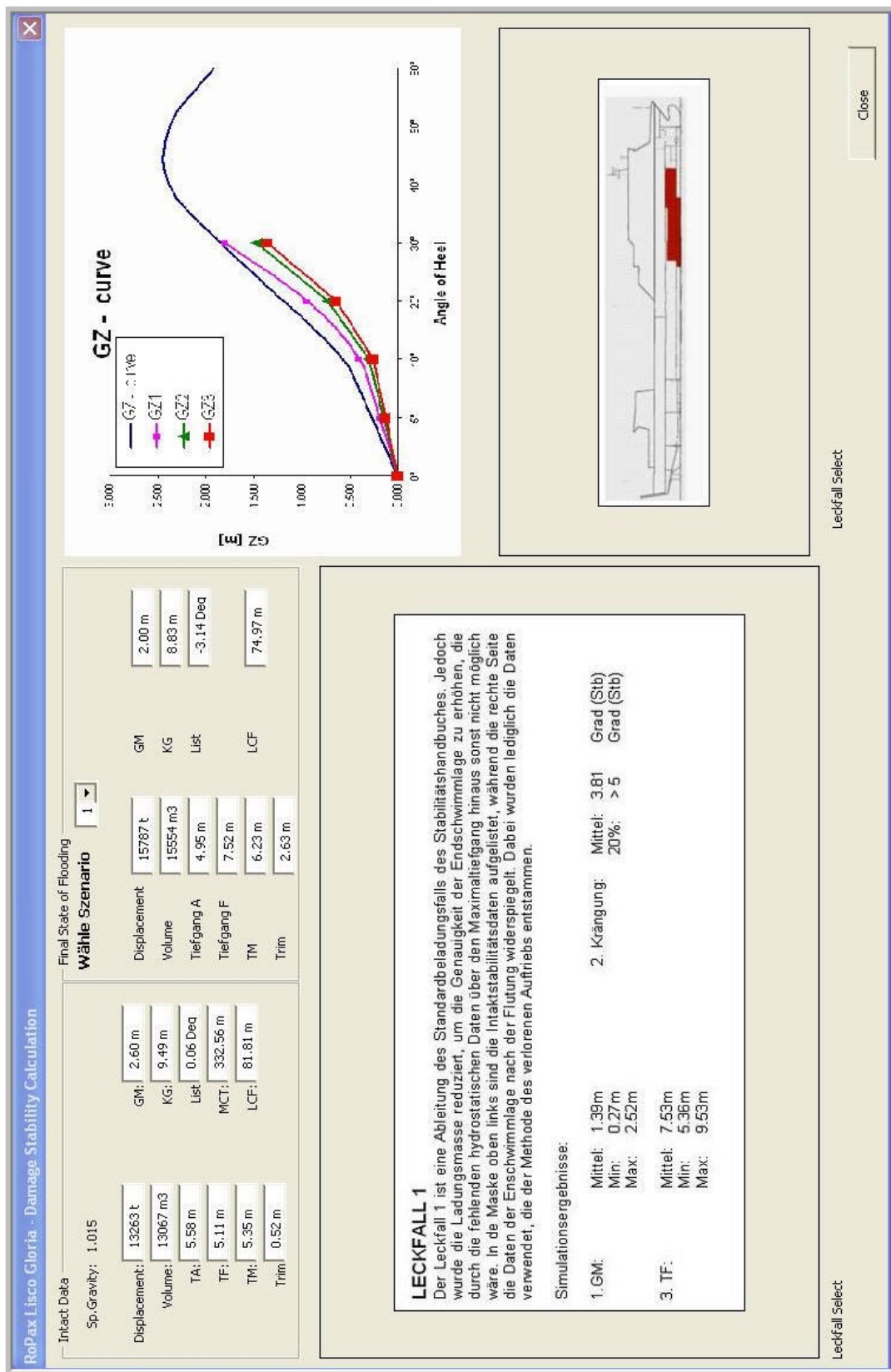


Abbildung 3.21: Beispielschiff 2 - Programmaske (Leckfall 1)

### 3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung

Die Werte für GM folgen der Normalverteilung über eine Spanne von 0.27m bis 2.52m. Das Mittel beträgt komfortable 1.39m und nur 10% der Werte liegen unterhalb von 1.0m. Aus der *sensitivity chart* für GM wird deutlich, daß die Zelle X33 (Flächenträgheitsmoment um die eigene y-Achse) mit über 60% entscheidend zur Änderung der Werte des GM beiträgt. Es handelt sich in diesem Falle um die Annahmezelle zum Flächenträgheitsmoment der Leckräume in y-Richtung. Dies verdeutlicht die starke Abhängigkeit des GM von genauen Werten zum Flächenträgheitsmoment für jeden Raum bei allen Füllständen.

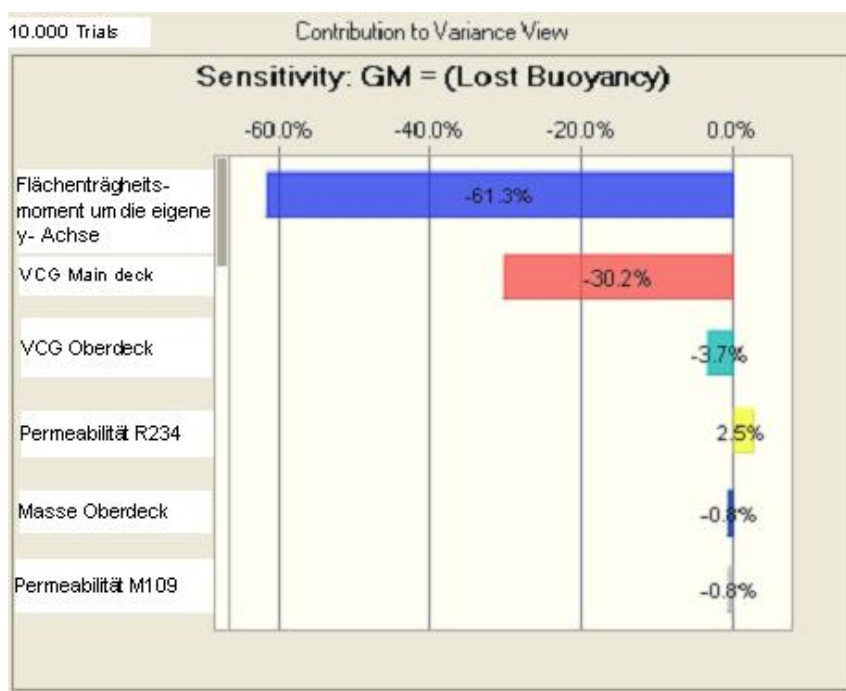


Abbildung 3.22: Sensitivity Chart: GM

### 2. Krängung

Die Schlagseite beträgt bei 10.000 Simulationen im Mittel 3.5 Grad auf der Seite des Lecks. Beide Methoden, also *Hinzukommendes Gewicht* und *Konstante Verdrängung* liefern annähernd das gleiche Ergebnis (vgl. mit Tabelle 3.6). Durch die Simulation der Werte des Intaktfalles wird das Ergebnis jedoch leicht verfälscht, da die Besatzung eines Schiffes zum Auslaufen sicherstellt, daß keine Krängung vorliegt. Ein ausreichend genaues Modell müßte diesen Umstand berücksichtigen.

In 40% der Fälle liegt eine Schlagseite von 4 Grad oder höher vor, aber nur

bei 20% werden Werte von mehr als 5 Grad überschritten (Methode: Konstante Verdrängung). Auch dieses Kriterium kann also nicht ausschlaggebend für eine kritische Schwimmelage bilden. Aus der Abbildung 3.23 geht hervor, daß die Permeabilität des größeren der beiden Leckräume mit über 50% den größten Einfluss auf die Krängungsveränderung hat.

Vergleich Krängungswinkel

Precision control on Confidence level		95%
	Hinzukommendes Gewicht [°]	Konstante Verdrängung [°]
Trials	10000	10000
Mean	-3.33	-3.81
St. Deviation	0.82	1.55
Range Width	8.21	18.69
Minimum	-9.57	-19.00
Maximum	-1.36	-0.32
Percentiles		
0%	-9.57	-19.00
10%	-4.34	-5.77
20%	-3.88	-4.96
30%	-3.61	-4.41
40%	-3.40	-4.00
50%	-3.21	-3.61
60%	-3.04	-3.25
70%	-2.86	-2.91
80%	-2.68	-2.52
90%	-2.44	-2.05
100%	-1.36	-0.32

Tabelle 3.5: Vergleich der Krängungswinkel nach Berechnungsmethoden

3. Tiefgang vorn

Die Leckausgangsdaten ohne Simulation erzeugen einen Leckfall mit einem Tiefgang vorn von 7.52m bei der Methode des hinzukommenden Gewichts und 7.66m bei der Methode des verlorenen Auftriebs. Die Hauptgründe für diese unterschiedlichen Ergebnisse werden im Abschnitt zur Fehleranalyse tiefergehend

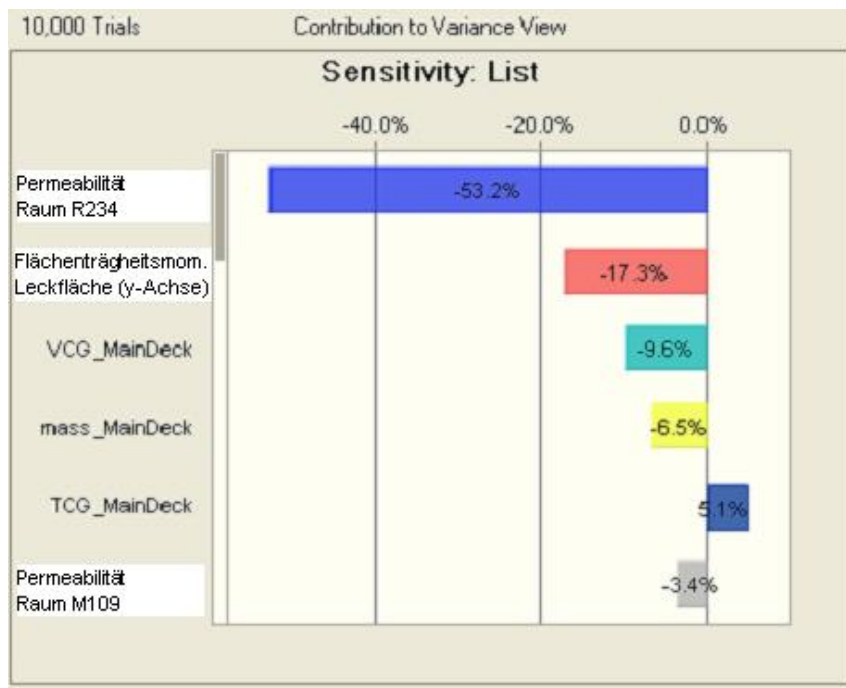


Abbildung 3.23: Sensitivity Chart - Krängungswinkel

betrachtet. Deshalb sei hier nur kurz darauf hingewiesen, daß durch die unzureichende Iteration bei der Methode der konstanten Verdrängung diese Werte doch wesentlich von den iterierten Werten der Methode des hinzukommenden Gewichts abweichen. In jedem Fall hat das Schiff aber gute Überlebenschancen auch für diesen Zweiabteilungsfall, da in nur 10% der Durchläufe das Schottendeck getaucht wird (Methode: Hinzukommendes Gewicht bei Tauchung des Schottendecks bei 8.20m).

Aus der sensitivity chart (siehe Abbildung 3.24) wird ersichtlich, daß die Zelle "CGX<sub>comb</sub>" mit 77% den maßgeblichen Einfluss auf die Wertveränderung des Tiefgangs vorn hat. Mit "CGX<sub>comb</sub>" ist die x-Koordinate des Lecks gemeint. Der Einfachheit halber wurden die beiden x-Koordinaten der Leckräume „unterer Laderaum“ und „vorgelagerter Seitenballasttanks“ zu einer einzigen Variable zusammengefaßt. Dabei wurde auch die Wichtigkeit berücksichtigt, da diese Räume unterschiedlich groß sind. Dieses Simulationsergebnis reflektiert nur noch einmal den Einfluss der Schwerpunktkoordinate in x-Richtung auf den Trimm des Schiffes.

Vergleich Tiefgänge

Precision control on Confidence level		95%
	Hinzukommendes Gewicht [m]	Konstante Verdrängung [m]
Trials	10000	10000
Mean	7.53	6.51
St. Deviation	0.53	0.66
Range Width	4.18	4.29
Minimum	5.36	4.82
Maximum	9.53	9.11
Percentiles		
0%	5.36	4.82
10%	6.85	5.72
20%	7.09	5.93
30%	7.24	6.09
40%	7.39	6.25
50%	7.53	6.43
60%	7.67	6.62
70%	7.81	6.83
80%	7.98	7.08
90%	8.22	7.44
100%	9.53	9.11

Tabelle 3.6: Vergleich der Tiefgänge nach Berechnungsmethoden



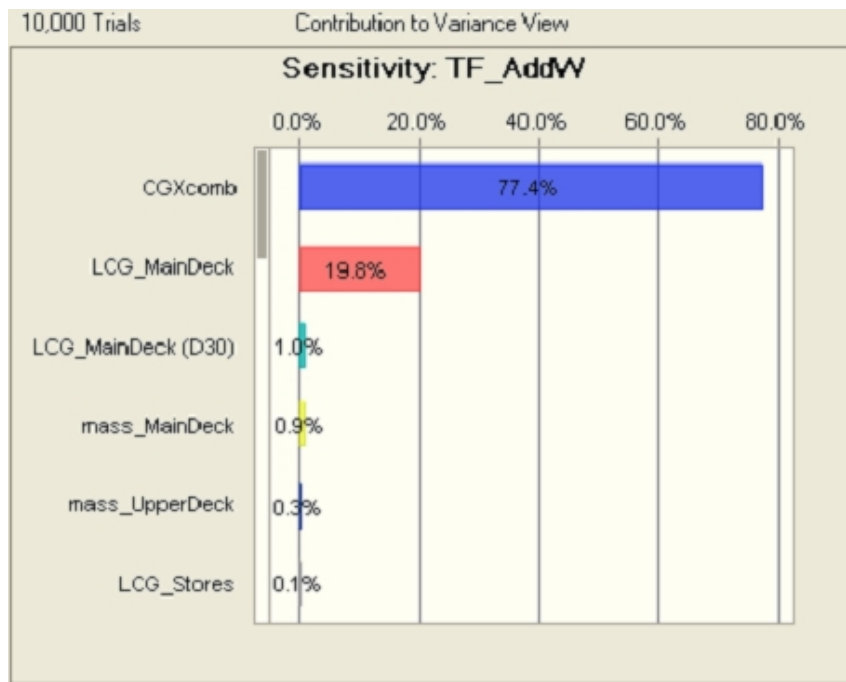


Abbildung 3.24: Sensitivity Chart: TF

**Analyse des Leckfalls 2 - Fluten des vorderen unteren Laderaums und eines vorgelagerten Seitenballasttanks (Maximalbeladung)**

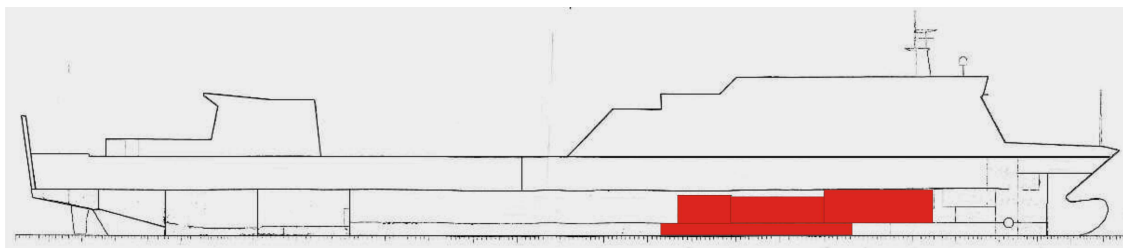


Abbildung 3.25: Beispielschiff 2

Bei diesem Leckfall ist das Schiff maximal abgeladen und hat die maximal zulässige Anzahl Passagiere an Bord. Der Intaktfall entstammt dem Stabilitätshandbuch der Borddokumentation und liegt mit  $TM = 6.11$  für die angegebene Wasserdichte eigentlich schon über dem zulässigen Maximaltiefgang. Zur Untersuchung der Leckstabilität und -schwimmfähigkeit wurden zwei Räume als beschädigt angenommen: R234 ist der vordere Teil des Tanktops-Laderaum und M109, ein an Stb liegender Ballastwassertank, der R234 vorgelagert ist. M109

transversale Ausdehnung ist geringer als die B/5-Linie und wird komplett penetriert, so daß R234 progressiv geflutet wird. In der Simulation wurden absichtlich Werte oberhalb des Maximaltiefgangs berücksichtigt. Dies trägt dem Umstand Rechnung, daß trotz moderner Tiefgangsanzeigemethoden Kapitäne ihre Schiffe bewußt oder unbewußt überladen beziehungsweise die Eingangswerte im Stabilitätsprogramm zu ungenau sind. Dies können beispielsweise ungenaue Ladungsgewichte, aber auch falsche Wasserdichte-Eingaben sein. Signifikante Fehlerquellen in der Einschätzung des aktuellen Beladungszustandes sind auch ungenaue Tiefgangsanzeigen oder mangelnde Ablesemöglichkeiten an den Schiffsahmungen<sup>22</sup>. Im Falle des Seeunfalls der Sea Diamond wurde im Zuge der Unfalluntersuchung herausgefunden, daß die Tiefgangsanzeige des Schiffes unzureichend oder gar nicht funktioniert hat (siehe [45]).

Wegen der bereits so oft angeführten unvollständigen Tabellierung der hydrostatischen Werte jenseits des Maximaltiefgangs, konnte hier nur nach der Methode des verlorenen Auftriebs gerechnet werden. Dabei wurden jedoch zwei Iterationsschritte vorgenommen, die auf geplotteten hydrostatischen Werten beruhen. Somit müsste eigentlich die Fehleranalyse des Abschnitts 3.1.9 um diese Annahme erweitert werden. Da aber auch ohne Iteration bereits eine Indikation über die Endschwimmlage vorliegt und die geplotteten Daten ausschließlich in diesem Leckfall verwendet wurden, entschied sich der Autor zur alleinigen Erwähnung an dieser Stelle.

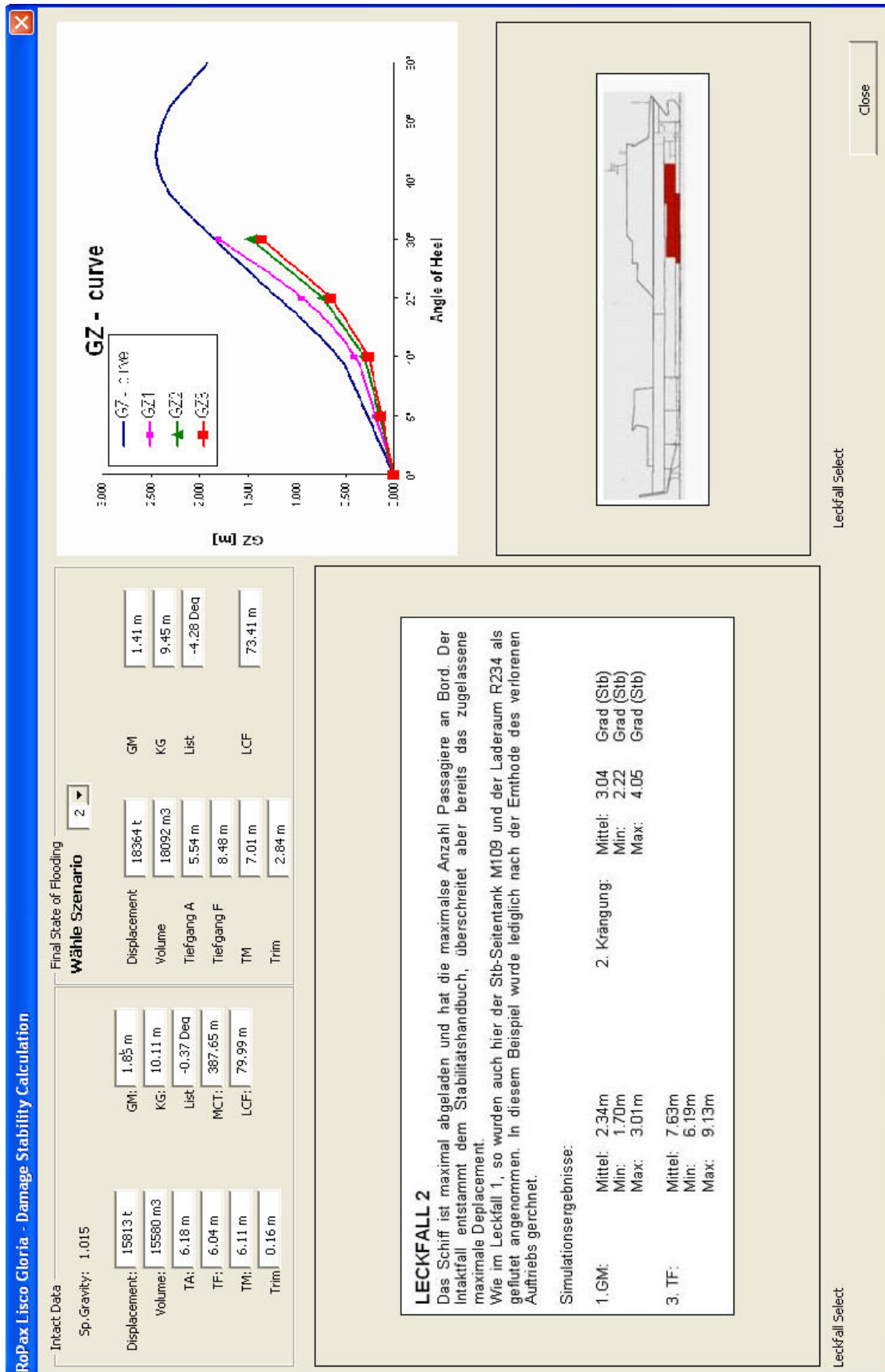
#### 1.GM:

Das Bild zur Verteilung der GM-Werte zeigt eine genügend hohe Reststabilität, mit GM-Werten  $> 1.70\text{m}$  für alle 10.000 erzeugten Simulationsdurchläufe. Aufgrund der fehlenden Berücksichtigung der freien Oberflächen der beschädigten Leckräume sind diese Werte noch zu korrigieren. Die Konformität mit den Vorschriften ist aber zweifellos gegeben, da selbst bei großzügiger Annahme der Freien Oberflächenmomente die SOLAS-Schwellwerte nicht überschritten werden. Bei der Analyse des vorherigen Leckfalls wurde mit der Methode des hinzukommenden Gewichts auch der Einfluss der freien Oberflächen berücksichtigt. Während das maximale freie Oberflächenmoment (FSM) für den Tank M109 mit  $75\text{m}^4$  in den Bordunterlagen angegeben wird, hat der Autor das

---

<sup>22</sup>Durch Heck- oder Bugrampen sind diese oftmals verdeckt

### 3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung



FSM für R234 ein FSM mit  $10.000m^4$  kalkuliert. Dennoch wird das GM bei dem in der Programmierung gestalteten schlagartigen Einsetzen des maximalen FSM nicht mehr als 70cm reduziert (vgl. mit den Ergebnissen aus Leckfall 1 desselben Beispielschiffes).

### 2. Krängung

Die maximale Krängung im Endzustand der Flutung beträgt 1.44 Grad nach Stb, also der Leckseite. Dies widerspricht den Untersuchungen zum Leckfall 1. Diesmal jedoch wurden die Werte von TCG für jedes Ladendeck jedoch nicht simuliert, sondern konstant auf Gleichgewichtslage gehalten, so, wie es auch durch die Besatzung an Bord zu erwarten wäre. Die Simulation der Werte für Treibstoffe hat aber eine konstante Backbordlage erzeugt, die während der Simulation Werte zwischen 2.22 und 4.05 erzeugt hat und das Schiff damit in eine Bb-Anfangsneigung versetzt. Damit fällt die Stb-Krängung entsprechend gering aus. Dieses Problem müsste, wie bereits weiter oben erläutert, durch eine kommerzielle Software durch eine Schleifenprogrammierung gelöst werden. Hinzu kommt, dass durch die fehlende Berücksichtigung der Freien Oberflächen in den Zwischenflutungszuständen keine Aussage über den maximalen Krängungswinkel gemacht werden kann.

Die Abbildung 3.27 zur Abhängigkeit der Intaktschlagseite von den Annahmewerten zeigt aber auch, dass der größte Anteil der Schlagseitengenerierung durch die Simulation der Höhenschwerpunkte der Ladung des Hauptdecks erzeugt wurde. Die Abhängigkeit ist leicht nachvollziehbar, berechnet sich doch die Schlagseite aus dem GM welches wiederum aus der Differenz von KM und KG errechnet wird.

### 3. Tiefgang vorn

Hier ist durch die Tauchung des Schottendecks die größte Gefahr gegeben. Schon der Ausgangsladefall ergibt bei Flutung ein vorderen Tiefgang von 8.81,

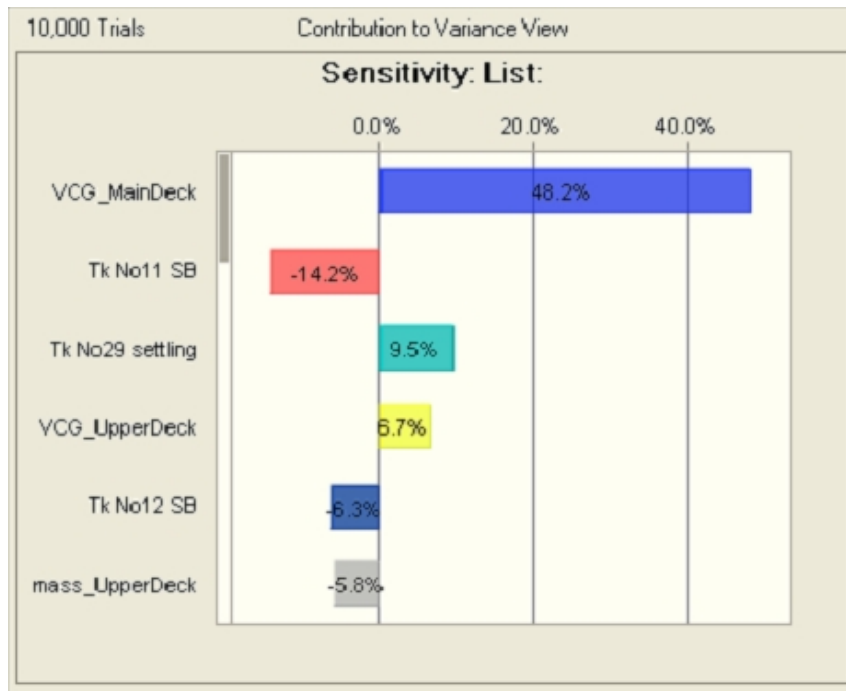


Abbildung 3.27: Sensitivity Chart: List

also 61cm über dem Schottendeck. Dennoch zeigt die Simulation, dass weniger als 20% der Fälle 8.20m überschreiten. Damit ist dies sicherlich ein Grenzfall für die Besatzung, wenn es um die Haltbarkeit des Schiffes im Leckfall geht.

Während bei allen anderen Simulationen die Gleichverteilungskurven in ihren Maximum- und Minimumwerten unbegrenzt gehalten wurden, hat der Autor unter Berücksichtigung der Raumlängen die Schwerpunktverteilungskurven begrenzt. Dies ist realistischer und damit genauer.

### 3.1.9 Fehleranalyse zur Leckrechnung

#### Fehlende hydrostatische Werte

Auch an diesem Beispielschiff wird deutlich, daß die Stabilitätsunterlagen für den Bordeinsatz nur sehr bedingt geeignet sind, denn die Liste der hydrostatischen Werte endet auch hier mit dem Maximaltiefgang. Bedenkt man, daß diese Erweiterung der Werte jenseits des Maximaltiefgangs für die Bauwerft ohne Schwierigkeiten möglich ist, dann sollten Reedereien und Inspektoren auf die entsprechende Dokumentation bestehen. Demzufolge wurden die Leckfälle nach der *Methode des verlorenen Auftriebes* gerechnet, sieht man mal von Leckfall 3 ab, der als Teilladungsfall nicht an die Grenzen der tabulierten Werte stößt.

Als eine markante Fehlerquelle zur Berechnung des Trimms erwies sich die Verschiebung des Längsschwerpunktes der Wasserlinienfläche nach der Methode des hinzukommenden Gewichts. Tabuliert sind die Werte des LCF nur für ebenen Kiel und 1 Meter achterlichen Trimm. In diesem Szenario wird durch die Flutung der vorderen Abteilungen aber ein vorliche Vertrimmung von über 2.50 erreicht. Die tabulierten Werte relevant für die Trimmrechnung, also MCT, LCF und TPC, sind daher stark verfälscht. Sowohl bei der Methode des verlorenen Auftriebes wie auch der des hinzukommenden Gewichts wird jedoch die y-Verschiebung bei Krängung des Schiffes näherungsweise berücksichtigt zu:

$$\Delta LCF = \frac{m * \Delta y}{D + m}$$

mit

$\Delta$  LCF = Verschiebeweg des Leckwasserschwerpunktes LCF

y = Distanz des Leckwasserschwerpunkts von der Mittellängsachse

$\Delta$  y = Verschiebeweg der Leckwassermasse in y-Richtung

m = Masse des Leckwassers

D = Displacement des Schiffes .

Dieses Problem gilt damit unmittelbar auch für die Besatzung an Bord, denn diese muß die Berechnung durchführen können. Im Folgenden sei dies beispielhaft aufgezeigt:

Displacementfehler im Endzustand der Flutung			
	$T_A$	$T_F$	
Tiefgang (alt):	5.58	5.11	p. Tiefertauchung: $= \frac{w}{TPC} = 72.5\text{cm}$
p. Tiefertauchung:	0.73	0.73	
	6.31	5.84	
$\Delta$ Trim	-1.36	+1.69	$\Delta$ Trim $= \frac{w*d}{MCT} = 3.05\text{m}$
			$\Delta T_F = \frac{Trim*(Lpp-LCF)}{Lpp} = 1.69\text{ m}$
Tiefgang (neu)	4.95	7.53	$\Delta T_A = \frac{Trim*LCF}{Lpp} = 1.36\text{ m}$
TM (neu)	6.23		Test:
TM nach			Trimm vor der Flutung: - 0.47
hydrost. Tab.*	6.10		Trimm nach der Flutung: + 2.58
			$\Delta$ Trim = <u>3.05</u>
Fehler	0.13		

*\*Nach der Addition der Leckwassermasse zum alten Displacement ergibt sich ein TM von 6.10 m*

Tabelle 3.7: Displacement-Fehler

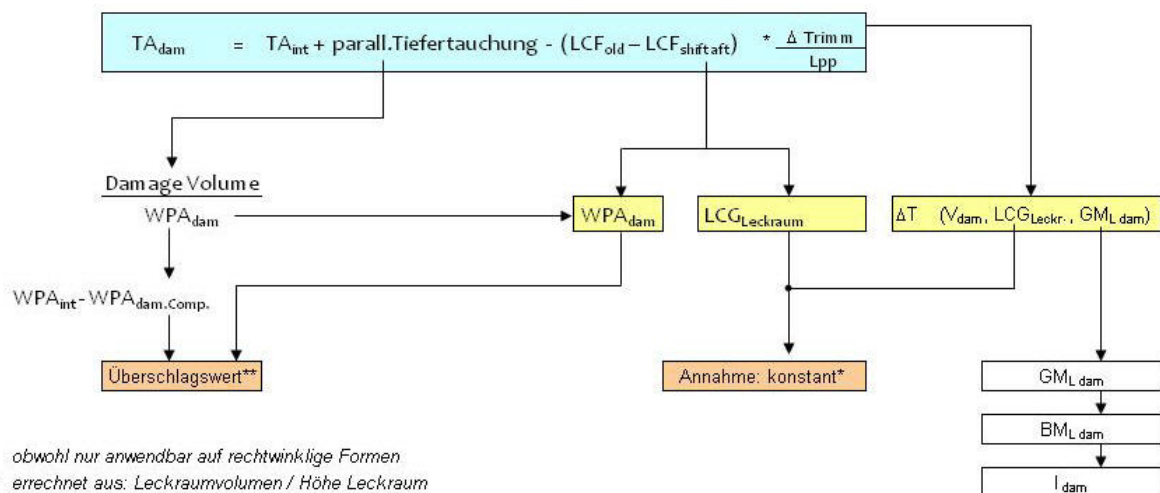
Bei der Berechnung der Endschwimmlage des Beispielschiffes 2 nach der Methode des hinzukommenden Gewichts sind durch die unzureichende Tabulierung der hydrostatischen Werte große Displacementunterschiede auszumachen. In der Tabelle "Displacement-Fehler" ist die Abweichung für die Endschwimmlage ausgeführt:

Nimmt man die reine Leckwassermasse von 2519 Tonnen und addiert diese zum Ursprungsdisplacement, dann verdrängt das Schiff 15782 Tonnen Wasser. Nimmt man nun diese Leckwassermenge und berechnet nach dem in der Tabelle „Displacement-Fehler“ vorgegebenen Algorithmus die Tiefgangsendwerte, dann ergeben sich durch die ungenauen Werte von TPC, MCT, LCF, sowie  $LCG_{Leckwassermasse}$  Tiefgänge für vorne 7.53m und achtern 4.95m. Der mittlere Tiefgang beträgt dann aber nicht 6.10m, wie durch die simple Addition der

Leckwassermasse zu erwarten gewesen wäre, sondern 6.23m. Im Routineladefall spielen diese Überlegungen freilich keine Rolle, da im Bordrechner die Laderäume und Tanks mit entsprechenden hydrostatischen Daten unterlegt und damit genau sind. Im Leckfall jedoch, sind diese Daten nicht verfügbar, weil Leerräume in der Software in der Regel nicht gefüllt werden können.

ähnlich der Methode des hinzukommenden Gewichts, muß auch bei der Methode des verlorenen Auftriebs mit ungenauen Dateneingaben gearbeitet werden. In beiden Fällen wurde mit einem festen Betrag für den Längsschwerpunkt der Leckräume kalkuliert, obwohl sowohl M109, als auch R234 nicht quaderförmig ausgeführt sind. Auf dem Bild "Draft errors" werden die zur Berechnung des Tiefgangs - hier für den achteren Tiefgang - eingehenden Größen und deren Verarbeitung reflektiert.

**Tiefgangsfehler unter Verwendung der Methode der konstanten Verdrängung**



\* obwohl nur anwendbar auf rechtwinklige Formen  
 \*\* errechnet aus: Leckraumvolumen / Höhe Leckraum

Anmerk.:  
 Da die Leckräume in diesem Szenario nicht komplett getaucht sind, wird die Wasserlinienfläche als durchgängig als beschädigt angenommen (im Gegensatz zu Leckfällen mit komplett getauchten Leckräumen)

Wie soeben erläutert, müssen zur Berechnung der Leckstabilität und Leckschwimmlage aufgrund fehlender Stabilitätsinformationen Annahmen getroffen werden. Nicht aufzufinden in den Bordunterlagen waren beispielsweise die Momente der Freien Oberflächen für die einzelnen Abteilungen und Räume, auch waren die stability cross-curves nicht in den Stabilitätsunterlagen aufzufinden. Wegen der fehlenden hydrostatischen Informationen über den maximalen Ladetiefgang hinaus, mußte zwangsläufig nach der Methode des verlorenen Auf-



triebs gerechnet werden, dann aber auch ohne weitere Iterationen. Denn durch die sich im ersten Rechengang einstellenden neuen Tiefgänge muß zur Iteration die neue Wasserlinienfläche als Ausgangsbasis zur Rechnung hinzugezogen werden. Diese aber liegt wiederum ebenfalls jenseits des Maximaltiefgangs. Eine für den Bordbetrieb ausreichende Einschätzung zum Plotten der Leckhebelarmkurve bietet die wall-sided Formula. Dies ergibt sich eben aus den fehlenden KN-Werten für den Leckfall. Die wall-sided Formula gibt nur hinreichend genaue Werte für kleinere Krängungswinkel und setzt voraus, daß ein Schiff wall-sided, also kastenförmig, gebaut ist. Dies trifft zumindest für den Bereich zwischen der Ausgangschwimmlinie und der Endschwimmlinie bei den meisten Schiffen zu, so daß diese Formel angewendet werden kann. Sie findet vor allem auch deshalb Anwendung, da  $G$  als konstant angenommen wird. Rein mathematisch kann die wall-sided GZ- Kurve nicht der der regulären Hebelarmkurve ähneln, da sie stetig steigend ist, bedingt durch die bis 90 Grad Schlagseite wachsenden Werte für  $\tan\varphi$  und  $\sin\varphi$ . Deshalb wurde der Graph der Hebelarmkurve im Leckfall auch nur bis zum Wert von 30 Grad geplottet.

In diesem Zusammenhang fällt auch das geringe GM nach der Flutung auf. Dabei sind durch die Art der Berechnung des Endzustandes der Flutung Unterschiede im GM-Wert zu beobachten. Dies ist nicht weiter verwunderlich, wählt man doch bei der Methode des zusätzlichen Gewichts und der des verlorenen Auftriebs unterschiedliche Ansätze. Erst die Berechnung des aufrichtenden Momentes liefert wieder gleiche Werte.

Neben den oben genannten Annahmen und Vereinfachungen, hat der Autor auch folgende Eingabewerte nur überschlägig eingeben können. Aus diesem Grund wurden diese Werte mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen in die Simulation aufgenommen.

Dazu zählen:

- Das Flächenträgheitsmoment der Leckflächen (um ihre eigene Achse)
- Simulationsfehler durch nicht-angepasste Ausgangskrängung

*Flächenträgheitsmoment der Leckflächen*

Für eine rechteckige Grundfläche berechnet sich das Flächenträgheitsmoment zu

$$\frac{L * B^3 * \kappa}{12} \text{ mit}$$

L = Länge der Fläche

B = Breite der Fläche

$\kappa$  = Flutbarkeitsfaktor .

Die ausführliche Methode zur Berechnung der beschädigten Wasserlinienfläche nach einem Wassereinbruch, bei dem der beschädigte Raum nicht vollständig getaucht ist, wurde bereits in 3.1.2 erläutert. Da weder das Flächenträgheitsmoment, noch  $\kappa$  für den jeweiligen Tauchungszustand bekannt sind, wurde eine grobe Näherung für die Räume angenommen.

	x -Richtung		y -Richtung	
	R234	M109	R234	M109
L:	46.5	9.5	13.0	4.0
B:	13.0	4.4	46.5	9.5
$\kappa$ :	1.0	1.0	1.0	1.0
Tr.Moment:	8517	51	108923	206
Gesamt:	8567		109209	

Tabelle 3.8: Flächemoment-Fehler

*Simulationsfehler durch nicht-angepasste Ausgangskrängung*

Bei der Simulation wurden 41 Werte pro Szenario aus den gegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen erzeugt. Damit verbunden ist auch eine fortlaufende Veränderung der Ausgangstrimm- und Krängungslage. An Bord würde man starke Trimm- und Krängungslagen durch entsprechendes Stauen beziehungsweise Ballasten vermeiden. Bei der Simulation hier wurde jedoch auf eine Schleifenprogrammierung verzichtet und optimale Ausgangswerte von 0 Grad Schlagseite und 47cm achterlicher Trimm gewählt. Die Anti-Heelingtank-Füllungen wurden entsprechend angepasst. Dies bedeutet für die Simulation, daß bei entsprechender Manipulation der TCG-Werte der Ladung eine Intaktkrängung vorliegen kann, die vom Schiff in der Praxis jedoch gleich behoben wird. Bei einem kommerziellen Softwareprodukt müsste dieses Manko freilich behoben werden, da sonst unrealistische Ausgangssituationen für den Intaktfall generiert würden. Am Einfachsten wäre eine entsprechende Anti-Heeling Füllung zu errechnen, die dann die TCG-Werte entsprechend anpasst. Da rollende Ladung an Bord unter Aufsicht des Ladungsoffiziers in der Regel schon während des Beladens gewichtsmäßig gleichverteilt wird, kann auf die

### *3.1 Die Simulation als Alternative zur Leckbewertung*

---

Simulation der TCG-Werte auch ganz verzichtet werden. Weitreichender wäre auch der Verzicht auf die Simulation der gesamten Intaktdaten, so daß lediglich Wassereinbruchsszenarien generiert werden. Diese Vorgehensweise ist sicherlich dann gerechtfertigt, wenn zuverlässige Daten vorliegen<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup>Zuverlässige Daten liegen in der Regel vor, wenn Tanks und Leerräume mit Füllstandssensoren ausgestattet sind und dem Schiff zuverlässige Daten zu den Ladungsgewichten und -schwerpunkten vorliegen, sowie eine hinreichend genaue Eingabe der Staupositionen vorgenommen wird.

### 3.1.10 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Beispielrechnungen

Die Beispielrechnungen zu den beiden Beispielschiffen haben zwei wichtige Erkenntnisse geliefert. Erstere ist die, daß der Wassereinbruchfall eine sehr komplexe Bedrohung ist, die nicht mit einem allgemeingültigen Maßnahmenkatalog bewältigt werden kann. Deshalb muß die Schiffsführung in der Lage sein, jeden einzelnen Wassereinbruchfall hinreichend genau beurteilen zu können um im Anschluß daran die notwendigen fallbezogenen Maßnahmen ergreifen zu können. Dazu zählt primär ein entsprechendes Training der gesamten Besatzung, wobei nach Ansicht des Autors für Schiffsoffiziere zusätzliches kontinuierliches theoretisches Training vermittelt werden muß. Die zweite wichtige Erkenntnis aus den Untersuchungen ist die, daß mit Hilfe von geeigneten Modellen und entsprechender Genauigkeit der Grunddaten die Simulation ein wichtiges Werkzeug zur Beurteilung von Leckereignissen sein kann. Dabei könnte das Ladungsprogramm mit geeigneter Simulationssoftware aufgestockt werden und dem Kapitän einen Aufschluß über die möglichen Gefahren der bevorstehenden Reise geben. Die Pflicht zur Stabilitätsdokumentation besteht für Schiffe ohnehin, so daß alle Schiffsmassen für den konkreten Fall vorliegen. Werden vom Simulationsmodul auch Verbräuche mitkalkuliert, kann ein leistungsfähiger Lecknachweis für jede Reise erstellt werden. Folgende Daten werden dann von einem leistungsfähigen Rechner vor Beginn jeder Reise in Leckszenarien manipuliert:

1. 1-, 2- oder Mehrabteilungslecks aller Räume unterhalb des Schottendecks mit max. Penetration von  $B/5$ .
2. Ladungsgewichte und Schwerpunkte mit gewissen Toleranzen und Wahrscheinlichkeitsverteilungen.
3. Ist-Tankbestände, um kritische Leckfälle in ihrer Schadensausdehnung begrenzt zu halten<sup>24</sup>.

Für die Schiffsführung wäre durch die Simulation ein Zugewinn an Sicherheit zu erwarten. Durch diese relativ einfach zu realisierende Maßnahme wird zudem auch das Bewußtsein und die Kenntnis des Leckfalls erhöht. Dabei ist so ein Modell nicht allein auf den RoPax-Schiffstyp festgelegt, sondern kann auch auf andere Schiffe ausgeweitet werden.

Bekannt ist beispielsweise das Problem, daß Tankschiffe bei konkreten Beladungszuständen nicht mehr die SOLAS-Leckstabilitätskriterien erfüllen. Und gerade in solchen Fällen muß der Schiffsführung ein Werkzeug in die Hand gegeben werden, um Konformität nach den Regeln nachzuweisen. Ist so ein Simulationssystem an Bord installiert, kann auch gegenüber Hafen- und Flaggenstaatskontrollen sowie Vetting-Inspektoren mit hinreichender Sicherheit aufgetreten werden. Dies ist aber nur dann möglich, wenn die Besatzung auch entsprechend geschult ist. Deshalb wurde in dieser Arbeit ein entsprechender Modellkurs nach IMO-Format erstellt, der dieses bei fachgerechter Umsetzung leisten kann.

---

<sup>24</sup>Ein Schiff wie Beispielschiff 1 hat beispielsweise eine vorliche Vertrimmung bei maximaler Beladung mit Eisenbahnen. Daraus ergibt sich eine grössere Gefahr bei Beschädigungen der vorderen Bereiche.

Aus den gezeigten Beispielrechnungen wurde zudem deutlich, daß die Methode des verlorenen Auftriebs sich mitunter deutlich in den Ergebnissen von der Methode des hinzukommenden Gewichts unterscheidet. Während der Schiffbauer die erstere bevorzugt, so ist der Bordpraktiker eher mit letzterer vertraut, da sie in der Methodik Teil der Berechnungsroutine ist, das heißt, Nautiker sind mit der Massen- und Momentenrechnung schon aus dem ständig geforderten Stabilitätsnachweis vertraut und der Autor hat durch seine Bordbesuche und -praxis, aber auch durch die nicht-repräsentativen Fragebogenergebnisse (vergleiche mit Abschnitt 4.3.1) die Schlußfolgerung gezogen, dass Kapitäne und Schiffsoffiziere oftmals lediglich vom Terminus des "verlorenen Auftriebs" gehört haben, die Methode selbst aber nicht anwendbar bereit halten. Zum anderen ist der Effekt der freien Oberflächen bei der Methode des hinzukommenden Gewichts ohne großen Aufwand abzuleiten, während die freien Oberflächen bei der Methode des konstanten Displacements, gerade bei den Zwischenflutungszuständen, schwerer zu ermitteln ist.

#### **Nutzen der Simulation**

Wie bereits zuvor mehrfach erwähnt, liegt noch großes Optimierungspotenzial in den verwendeten Modellen. Mit entsprechender Simulationssoftware an Bord ließen sich somit eine Reihe von Schäden unterhalb des Schottendecks in ihrem Risiko klassifizieren. Dem Kapitän stünde dann ein weiteres Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung zur Verfügung, und zwar bereits vor der Abfahrt. Ebenso wären Simulationen oberhalb des Schottendecks denkbar. Nach Ansicht des Autors ist dies aber nicht nötig da:

- Bei den schweren Seeunfällen der Vergangenheit keine Beschädigung der Außenhaut vorangegangen ist.
- Und in der Regel bei einem solchen Falle ohnehin die umgehende Evakuierung einzuleiten ist.
- Der moderne Schiffbau hat aus den Katastrophen der Vergangenheit gelernt und ist so weit vorangeschritten, daß das Risiko des Seeschlages mit Wassereintritt auf dem RoRo-Fahrzeugdeck geringer ausfällt.
- Beschädigungen oberhalb des Schottendecks durch Kollisionen als gering einzuschätzen sind<sup>25</sup>.

Aus den Erläuterungen zu den Modellen geht hervor, daß die Simulation über keine weiteren Daten verfügen muß, die nicht schon ohnehin von einem Ladungsrechner bereitgestellt werden. Es muß lediglich sichergestellt werden, daß für jeden einzelnen Raum des Schiffes alle Werte in der Datenbank bereitgestellt werden. Dazu zählt die Wasserlinienfläche in Abhängigkeit der Flutungshöhe unter Berücksichtigung des Flutbarkeitsfaktors, sowie alle anderen, von der Füllhöhe abhängigen Werte wie LCG, TCG, VCG und das Freie Oberflächenmoment. Diese Daten

---

<sup>25</sup>Dieser unwahrscheinliche Fall liegt dann vor, wenn es bei schwerem Seegang zu einer Kollision kommt und das RoRo-Fahrzeugdeck Wasser aufnimmt

liegen aber von der Bauwerft vor und müssen nicht erst erstellt oder berechnet werden. Damit bleibt lediglich die Generierung von Zufallszahlen für ausgewählte Werte als Programmieraufgabe. Unverzichtbar ist eine gute statistische Aufbereitung der Werte, so wie dies beispielsweise vom Softwarepaket Crystal Ball bereitgestellt wird. Als zusätzliches Merkmal dieser Aufbereitung und Auswertung ist ein Kriterienkatalog für die Erstellung von Damage Control Plänen in der Art wie nach Abbildung 3.8 beschrieben.

# Kapitel 4

## Schulung der Schiffsführung für den Leckfall

### 4.1 Überblick über Notfallmaßnahmen im Wassereinbruchfall

Ganz grundsätzlich gilt, daß sich die Ursachen von Seeunfällen zum überwiegenden Teil aus menschlichen Fehlverhalten ableiten lassen [16]. Dies gilt auch für die Unfallbekämpfungs- und Evakuierungsmaßnahmen durch Schiffsbesatzungen. Der Irrglaube, die neuesten Entwicklungen in der Schiffstechnik mit elektronischen und softwaretechnischen Entscheidungshilfen verhindern ebenso wie das hohe Maß an schiffbaulicher Sicherheit eine Schiffskatastrophe, scheint noch nicht antiquiert zu sein. Nur so lässt sich die Ignoranz einiger Schifffahrtsunternehmen erklären, die das Risiko eines schweren Schiffsunfalls scheinbar bewußt tolerieren [50]. Dennoch, oder gerade deshalb, erfordern diese hochmodernen und automatisierten Systeme einen kritischen und erfahrenen Benutzer, der von solider psychischer Natur ist und sein Wissen und Können auch unter enormen Belastungen effektiv anwenden kann. Besonders im Wassereinbruchfall muß die Schiffsleitung auf ein breites Basisverständnis von Schwimmfähigkeit und Stabilität von Schiffen zurückgreifen können. Dazu gehört auch das Wissen um die mathematisch-physikalischen Zusammenhänge während der Flutung und die Folgen eines Wassereinbruchs für das Verhalten des Schiffes. Neben der Stabilität des Schiffes ändern sich auch die Manövriereigenschaften, der Trimm und die Krängung. Die Schiffsleitung muß befähigt werden, an die Situation angepasste Entscheidungen zu treffen. So kann der Kapitän nach Feststellung, daß ein Leckschaden mit Bordmitteln nicht behoben werden kann und zu sinken droht, sich für eine Strandung entscheiden und das Schiff und somit die Personen an Bord retten. Bei genügend Auftriebsreserve kann ein Gegenfluten die beste Maßnahme sein, um das Kentern eines Schiffes zu vermeiden. Ist ein Leck nicht beherrschbar und muß evakuiert werden, kommt es auf die Schiffsleitung an, diesen Fakt so früh wie möglich zu erkennen und entsprechende Maßnahmen

inzuleiten. Aber auch das übrige seemännische Personal entscheidet mit Wissen und Können über den Erfolg der Maßnahmen zur Rettung des Schiffes und der Personen an Bord.

## 4.2 Training für den Leckfall: Schulung an Ladungsrechnern

Wie alle Notfälle an Bord von Schiffen, so müssen auch Erstmaßnahmen im Leckfall trainiert werden. Diese Aufgabe setzt einen fundierten Wissen- und Erfahrungsgrundschatz aller Besatzungsmitglieder voraus, wobei der Schiffsleitung und insbesondere dem Kapitän die Einschätzung der Schwimmlage und die Organisation der Abwehr- und gegebenenfalls der Evakuierungsmaßnahmen zukommt. Alle diese Aufgaben erfordern aber auch eine gut ausgebildete Mannschaft, die ihre Aufgaben sicher beherrscht. Dabei lässt sich zusammenfassend schlussfolgern, daß ohne Training für diese ganz spezielle Notfallmaßnahme die Risiken für Besatzung und Schiff nicht tragbar sein können. Wie bereits im Kapitel 2 angemerkt, so ist unter einem holistischen Blickpunkt der menschliche Faktor ausschlaggebend für einen Seeunfall und seine Folgen. Daraus ableitend, erschließt sich die Notwendigkeit des Trainings der beteiligten Parteien. Dieses Training kann nicht allein ingenieurtechnisch ausgerichtet sein, denn die Reihe der Unfälle bei denen Kapitäne in der Vergangenheit in ihrer Kommunikations- und Teamfähigkeiten versagten (vgl. Seeunfall der Princess of the Stars im Anhang B) gibt Anlass zu der Annahme, daß hier Verbesserungsbedarf besteht. Bereits im Kapitel 2.2. wurde nachgewiesen, daß sich Trainingsmaßnahmen nicht auf Schiffsbesatzungen alleine beschränken können. Das Management einer Reederei sowie andere verantwortliche Personen im Landbetrieb des Unternehmens müssen neben der nautisch-technischen Kompetenz auch soziale Kompetenz nachweisen und dies durch entsprechende Trainingsmaßnahmen untermauern. Weil aber aus der traditionellen Rolle der IMO heraus der Fokus auf den Schiffsbetrieb konzentriert, soll auch hier nur die Aus- und Weiterbildung des Bordpersonals untersucht werden.

Dabei kann die Methodik des Lernens unterschiedliche Formen annehmen. Möglich sind praktisches On-board training, aber auch E-Learning Kurse oder Videokonferenzen wie sie bereits in einigen Unternehmen gängige Praxis sind. Auch reedereieigene Simulatoren sind bereits in Betrieb und aus Kostengründen greifen nicht selten Schifffahrtsunternehmen auf ihr eigenes Personal zurück, um in in-house Kursen Mitarbeiter zu schulen.

### Schulung an Ladungsrechnern

In den MSC.Circ. 919 [23] und MSC.Circ. 1245 [28] wird ausgeführt, daß ein Ladungsrechner mit Leckmodul als schnelle Methode zur Leckkontrolle eingesetzt werden kann. In ersterem Pa-



pier wird aber auch hingewiesen, daß dieses Softwaretool nur ergänzend zur Konsultation des Leckhandbuches gebraucht werden sollte. Der Autor bezweifelt die Fähigkeit vieler Nautiker, die bereitgestellte Software hinreichend nutzen und ihre Grenzen einschätzen zu können. Der Einsatz solcher Software setzt nämlich Grundwissen voraus, wie beispielsweise Rechenmethoden zur Leckstabilität. Da kein Ladungsrechnertraining nach SCTW vorgeschrieben ist und auch die Bordausrüstung international nicht verbindlich ist, kann eine Reederei lediglich in die Pflicht genommen werden, die an Bord verwendete Technik dem Nautiker mit Trainingsmaßnahmen vertraut zu machen. In welcher Form dies erfolgt, bleibt dem Reeder überlassen. Somit fehlt ein einheitliches Ausbildungskonzept auf internationaler Ebene.

Ein Ausweg aus dieser Unzulänglichkeit ist aus Sicht des Autors ein entsprechendes Training in einem 2-tägigen Seminar. Den Rahmenlehrplan dazu hat der Autor entwickelt und im Anhang angefügt. Dabei wird dem Training am Ladungsrechner mit Leckmodul ein eigener Abschnitt gewidmet.

## 4.3 Feststellung des Schulungsbedarfs und Weiterbildungsmöglichkeiten

Das Kapitel 2 ist im Abschnitt 2.2 auf die Ausbildungsminimumstandards von Nautikern im Leckfall eingegangen. Darüber hinaus wurde aufgezeigt, daß das Management eines Schifffahrtsunternehmens mit dem ISM Code weitgehende Verantwortung für die Ausbildung, das Training und die Ausrüstung der Besatzungen an Bord hat. Am Beispiel des Untergangs der "Herald of Free Enterprise" wurde aufgezeigt, wie das Management an Land in dieser Hinsicht versagt hat. Die in der Einleitung aufgeworfene 1.These zur unzureichenden Schulung und Training der Schiffsführung 1.1 soll mit Hilfe eines Fragebogens bewiesen werden. Im nächsten Abschnitt wird auf die wissenschaftliche Methode der Deduktion mit Hilfe eines Fragebogens eingegangen. Auch wenn im Kapitel 3 aufgezeigt wurde, daß Schiffsbesatzungen nicht ausreichend mit den notwendigen Informationen oder Mitteln ausgestattet sind, um die Schwimmfähigkeit und Leckstabilität an Bord hinreichend genau und in kurzmöglichster Zeit zu beurteilen, so ist dennoch davon auszugehen, daß ein für den Leckfall gut ausgebildeter Kapitän oder Senior-Schiffsoffizier über das Reedereimanagement auf die Mißstände aufmerksam machen kann. Auch aus diesem Grund wurde ein Entwurf eines IMO Modell Kurses zur Einschätzung von Schwimmfähigkeit und Stabilität im Leckfall entworfen und der Arbeit im Anhang C eingefügt. Bei Einführung eines entsprechenden IMO Modell Kurses ist davon auszugehen, daß Schifffahrtsunternehmen stärker Notiz von der Notwendigkeit zur Schulung der Besatzungen für den Leckfall nehmen.

### 4.3.1 Fragebogen zur Ermittlung des Schulungsbedarfs

Zur Ermittlung des Schulungsbedarfs von Schiffsbesatzungen für den Leckfall sind mehrere wissenschaftliche Methoden möglich. Eine dieser Methoden wäre die Analyse von Unfallunter-

suchungen an Bord von RoRo und RoPax-Schiffen, mit besonderem Augenmerk auf die Rolle des menschlichen Faktors. Im Abschnitt 1.2.2 wurde aber bereits gezeigt, daß die vorhandenen Daten zum einen sehr spärlich und zum anderen in ihrer Qualität sehr unterschiedlich sind. Dieses Problem besteht seit langer Zeit und bereitet große Schwierigkeiten für die Gesetzgebung, da diese sich in sehr großem Maße auf wissenschaftliche Untersuchungen gründen, die aus der Analyse vergangener Unfälle hervorgingen (vergleiche mit 2.1.7).

Der Autor hatte sich für die Befragung mittels Fragebogen entschieden und eine Vielzahl von Fährreedereien, die im Nord- und Ostseeraum operieren, um Ausfüllung des Fragebogens gebeten. Nur vier Reedereien haben auf die Anfrage geantwortet und nur eine Reederei hat die ausgefüllten Fragebögen zurückgesandt. Die Absagen wurden entweder damit begründet, daß die Bordbesatzungen durch ihre hohe Verantwortung für die vielen Menschen an Bord nicht die Zeit haben, die Fragebögen auszufüllen oder daß die Reederei kein Interesse an solcher Befragung hat. Es kann über unterschiedliche Beweggründe stark spekuliert werden. Unumstritten ist aber, daß negative Forschungsergebnisse die Reputation eines Fährunternehmens stark gefährden können.

Der Fragebogen wurde in deutscher und englischer Sprache verfasst (siehe Anhang D) sowie im Internet unter [www.shipping-pennant.com](http://www.shipping-pennant.com) zur online-Befragung bereitgestellt. In den Anschreiben an die Reedereien mit Bitte um Ausfüllen des Fragebogens wurde zum Teil auf die online-Option hingewiesen. Obwohl die Glaubhaftigkeit der Angaben bei anonymen online-Befragungen<sup>1</sup> angezweifelt werden kann, ist davon auszugehen, daß bei den eingegangenen ausgefüllten online-Formularen keine Manipulation der Angaben vorgenommen wurde. Dies läßt sich aus den sinnvollen und vollständigen Angaben schließen.

Eine der Schwierigkeiten in der statistischen Auswertung ist die Feststellung der derzeitigen Gesamtpopulation der an Bord von RoRo oder RoPax-Schiffen tätigen Senioroffiziere. Aus der Flottenanalyse von Kapitel 1 (vergleiche mit Tabelle 1.1) geht aber hervor, daß etwa 2200 RoRo- und RoPax-Schiffe weltweit existieren. Überschlägt man die Anzahl der Senioroffiziere an Bord, dann kann man etwa von etwa 8800 Senioroffizieren an Bord diesen Schiffstyps ausgehen. Diese Zahl ergibt sich aus der Annahme, daß pro Schiff etwa 2 Senioroffiziere (Kapitän und Erster Offizier) eingesetzt werden und RoRo und RoPax-Schiffe im 1:1 Verkehr fahren, also 2 Stammbesatzungen in regelmäßigen Abständen wechseln. Statistisch gesehen ist also die Ausgangsgesamtheit etwa 8800.

Wie bereits anfangs formuliert, war die Resonanz sehr gering und blieb auf 13 Datensätze beschränkt. Um zu einer aussagefähigen Stichprobenauswahl zu kommen, sind nach Stutely (2003) [60], zitiert in [54], mindestens 30 oder mehr Stichprobensätze für jede Kategorie der gesamten Stichprobe erforderlich. Ein Repräsentationsschluß ist also aus einer solch geringen Datenmenge nicht möglich. Da etwa 95% der Stichprobenergebnisse im Bereich von  $\pm 1.96$  Standardfehlern um den Wert der Grundgesamtheit liegen, müßte bei einem Konfidenzintervall von 95% und einer Fehlergrenze von 5% der Stichprobenumfang etwa 369 betragen. Diese Berechnung gründet sich auf die Ausführung in Saunders (2009, S.581) [54]. Dabei wird folgender mathematisch-

---

<sup>1</sup>Es wurde lediglich nach der E-Mail Adresse gefragt, ohne Validierung derselben

### 4.3 Feststellung des Schulungsbedarfs und Weiterbildungsmöglichkeiten

---

statistischer Ansatz verwendet:

$$n = p[\%] * q[\%] * \left( \frac{z}{e[\%]} \right)^2.$$

mit:

$n$  als Minimumstichprobenumfang

$p$  [%] ist der Anteil der zur speziellen Kategorie gehört

$q$  [%] ist der Anteil der nicht zur speziellen Kategorie gehört

$z$  ist der Standardfehlerwert, der zum jeweiligen Konfidenzintervall gehört (bei 95% Konfidenzintervall ist dies 1.96)

$e$  [%] ist der gewünschte Standardfehler

Die Bestimmung des Minimumstichprobenumfangs beruht für  $p$  und  $q$  auf einer Schätzung. Hier wird geschätzt, daß 40% der Befragten nicht die richtige Antwort wissen und dementsprechend 60% die Fragen richtig beantworten würden. Demnach ergibt sich nach Einsetzen in die obige Formel eine Minimumanzahl der Stichproben von:

$$n = 40 * 60 * \left( \frac{1.96}{5} \right)^2 \approx 369.$$

Nach Saunders (2009) op.cit. pp.582 kann bei einer Grundgesamtheit von weniger als 10.000 die Stichprobenanzahl unter Hinzunahme der folgenden mathematischen Formel weiter reduziert werden:

$$\hat{n} = \frac{n}{1 + \frac{n}{N}}.$$

$\hat{n}$  ist dabei der angepasste neue Stichprobenumfang,  $n$  ist der zuvor kalkulierte Stichprobenumfang und  $N$  ist die Grundgesamtheit. Daraus ergibt sich als neuer Stichprobenumfang:

$$\hat{n} = \frac{369}{1 + \frac{369}{N}} \approx 354.$$

Das Erheben einer solchen Datenmenge im Rahmen dieser Arbeit war nicht möglich und daher können die wenigen Datenbestände lediglich ein Indikator für die eingangs erhobene These 1.1 sein, nicht aber ein statistischer Beweis. Im Folgenden wird dennoch auf die analysierten Daten aus den 13 Datensätzen eingegangen, auch weil zumindest eine Reederei die Fragebögen ausgefüllt zurückgesandt hat. Dabei sind 12 der 13 Fragebögen von Senior-Schiffsoffizieren beantwortet worden und nur ein Kandidat hatte noch keine Leitungsfunktion als Kapitän oder Erster Offizier an Bord.

Dabei sind besonders große Wissenslücken bei folgenden Themengebieten festgestellt worden: Mehr als die Hälfte der Befragten konnten die Frage zum 2-Abteilungsfall nicht richtig beantworten und nur 2 Befragte haben den 1-Abteilungsfall aus Frage 2 richtig beantworten können.

Im Leckfall kann dies bedeuten, daß Schiffsbesatzungen trotz der Regelkonformität ihrer Schiffe Fehlmaßnahmen einleiten, weil ihnen der Abteilungsstatus ihres Schiffes nicht bekannt ist.

Die Frage nach der Funktion der Querflutungskanäle wurde von 11 Befragten richtig beantwortet und wenig Schwierigkeiten gab es bei der Definition der Permeabilität. Eine sehr alarmierende Angabe zur Frage 5 machten immerhin 6 der 13 Befragten. Diese aus dem Intaktfall stammende Frage könnte ein Indiz dafür sein, daß ein Großteil der an Bord eingesetzten Schiffsoffiziere dringend ein refresher-training für allgemeine Schiffsstabilität benötigen. Dementsprechend ist es nicht verwunderlich, daß bei den auf den Leckfall abgestimmten Fragen nur sehr unzufriedenstellende Antworten gegeben wurden. Bis auf die Fragen 9 und 11 deuten die Ergebnisse bei der Mehrzahl der Fragen auf große Wissenslücken hin. Immerhin 6 von 13 Befragten konnten nicht die beiden Methoden zur Leckrechnung in Frage 8 richtig benennen und alarmierende 8 von 13 Befragten konnten die Frage zum Einströmvolumen nicht richtig beantworten. Der Fragenkomplex zu den praktischen Methoden der Leckbekämpfung reflektiert ein ähnliches Bild: Weniger als die Hälfte der Befragten wusste um die zu ergreifenden Erstmaßnahmen im Wasserbruchfall. Die Fragen 14 und 15 sind ein Indiz für die geringe Bedeutung, die der Leckabwehr an Bord von Schiffen zugestanden wird.

#### 4.3.2 Interpretation der Fragebogenergebnisse

Wie bereits zu Beginn dieses Abschnitts erwähnt, kann keine gesicherte statistische Aussagewahrscheinlichkeit zum Wissensstand der Seniorschiffsoffiziere an Bord von RoRo und RoPax-Schiffen gemacht werden. Dennoch wird aus den wenigen analysierten Datensätzen deutlich, daß die nicht repräsentative Stichprobe dennoch die Ausgangsthese 1.1 unterstützt und ein Indiz für Schulungsbedarf signalisiert. Dabei ist die Anzahl falscher und nicht-gewusster Antworten zum Basiswissen Leckbewertung und Leckbekämpfung zumindest bei den Schiffsoffizieren der Reederei die die Fragebögen beantwortet hat, besorgniserregend.

#### 4.3.3 Entwurf eines IMO Model Kurses für den Leckfall

Rückschließend auf die Erkenntnisse aus der Unfallforschung (vgl. mit Abschnitten 2.2, 2.2.5, 3.1), der Analysen der Industrie (vgl. mit Abschnitt 1.1) und den Ergebnissen des nicht-repräsentativen Fragebogens, hat der Autor einen Entwurf zu einem IMO Model Kurs *Stability and Survivability in Damaged Ship Condition* entwickelt. Dieser ist im Anhang C eingefügt.

IMO Modell Kurse sind von der IMO verabschiedete Kurse, die bei der Implementierung von neuen Vorschriften helfen sollen. So wurde mit Einführung des ISPS Codes auch die neuen Funktionen des Ship Security Officers, des Port Facility Security Officers und des Company Security Officers gebildet. Um einen einheitlichen Standard der Kandidaten, die diese neuen Funktionen bekleiden sollen, zu gewährleisten, beinhalten IMO Modell Kurse Anleitungen zur Ausbildung,

### 4.3 Feststellung des Schulungsbedarfs und Weiterbildungsmöglichkeiten

---

dem Training und der theoretischen Vermittlung von Fachwissen der Kandidaten. Sie bilden demnach eine Art Rahmenlehrplan. Die Aufgabe der IMO Modell Kurse ist nicht die Wissensvermittlung per 'se. Sie sind keine Lehrbücher oder haben den Charakter von Übungsblättern. IMO Modell Kurse sind lediglich Hilfsmittel zur Gestaltung eines entsprechenden Lehrgangs mit dem Ziel der Ausbildung nach den Vorgaben der verabschiedeten Konvention, Codes oder Ähnliches. Es wird zudem auch ein zeitlicher Rahmen vorgeschlagen und eine Abgrenzung zur anderen Qualifikationen nach IMO Rechtsvorschriften vorgenommen. In der Grundidee von IMO Modell Kursen steckt auch die technische Kooperation mit Entwicklungsstaaten, die ihrerseits Hilfestellung in der Umsetzung der IMO Richtlinien benötigen und daher die Entwicklung eines IMO Modell Kurses entweder selbst vorschlagen oder aber unterstützen. Dabei steht es der Administration eines Mitgliedsstaates frei, ob sie den Vorgaben des IMO Model Kurses folgt, oder aber eigene Konzepte entwickelt und genehmigt. In jedem Fall muß aber sichergestellt werden, daß die Ausbildung in dem jeweiligen Mitgliedsstaat den Anforderungen der IMO Rechtsvorschrift genügt. Es liegt dann im Ermessen der Administration zu entscheiden, ob ein Trainingsinstitut mit entsprechendem Kursangebot die Auflagen der IMO und der Flaggenadministration erfüllt. Der hier vorgelegte Entwurf eines IMO Model Kurses ist keineswegs erschöpfend und kann nur Grundlage eines ausgereiften Konzepts sein. Ein IMO Modell Kurs wird in der Regel von den Mitgliedsstaaten oder den Organisationen mit Beobachtungsstatus bei der IMO als Vorschlag unterbreitet, um diskutiert und optimiert zu werden. Es ist auch durchaus möglich, daß eine Kombination dieses Kurses mit anderen, bereits existierenden Kursen, vorgenommen wird<sup>2</sup>.

Wie in den Zielen des Entwurfs des IMO Modell Kurses *Stability and Survivability in Damaged Ship Condition* formuliert, wird besonders die Berufsgruppe der Kapitäne mit diesem Kurs adressiert. Diese sind in der Regel nicht in die routinemäßige Erstellung der Stabilitätsdokumentation bei Abfahrten der Schiffe involviert, sondern prüfen lediglich die vom Ersten Offizier errechneten Parameter zur Stabilität und Schwimmfähigkeit, wie beispielsweise  $\overline{GM}$ ,  $\overline{KG}$ , Tiefgänge, Biege- und Torsionsmomente und andere Parameter. Der Leckfall, der ohnehin nicht Teil des Routinebetriebes darstellt, kann auf Schiffen im besten Falle aber nur trainiert werden. Die bei der Analyse dieser Arbeit untersuchten Leckunterlagen, die vom Reedereimanagement an die Schiffe weitergegeben wurden und zu Trainingsmaßnahmen an Bord verwendet werden sollen, sind nach Ansicht des Autors unzureichend und für den Notfall an Bord nur in sehr geringem Maße tauglich (vgl. mit Abschnitt 3.1.7). Obwohl die große Mehrzahl der Kapitäne in ihrem Berufsleben nie den Leckfall erlebt, so können doch die Auswirkungen in einem solchen verheerend sein. Durch das Erneuern des Befähigungszeugnisses ohne zusätzlichen Schulungszwang für den Leckfall (vgl. mit Abschnitt 2.2.1) wird einem Kapitän nicht das nötige Wissen in regelmäßigen Abständen abgefragt, obwohl dies bei anderen Qualifikationen wie der medizinischen Erstversorgung der Fall ist. Aus diesem Grunde wurden die wesentlichen Aspekte des Leckfalls in dem Entwurf zum IMO Modell Kurs aufgenommen. Die Inhalte sind die theoretischen Grundlagen der Schiffstheorie und Stabilität im Leckfall, sowie in praktische Maßnahmen an Bord zur Bekämpfung eines Wassereintrichfalls gegliedert. Es soll ein anwendungsbezogener

---

<sup>2</sup>z.B. mit IMO Modell Kurs 1.29: Proficiency in Crisis Management and Human Behaviour Training including Passenger Safety, Cargo Safety and Hull Integrity Training

### *4.3 Feststellung des Schulungsbedarfs und Weiterbildungsmöglichkeiten*

---

Kurs sein, der nur die Inhalte vermittelt, die die Schiffsführung dringend benötigt. Die theoretischen Grundlagen sind daher auf dieses Ziel abgestimmt.

Ein Reeder, der seine Mitarbeiter nach diesem Modell Kurs ausbildet, läuft auch weniger Gefahr, daß seine Bordbesatzungen bei Hafenstaatenkontrollen oder Vetting-Inspektionen mit Bußgeldern bestraft werden beziehungsweise Charterer von ihrer Intention ein Schiff zu chartern, Abstand nehmen. Auch die Haftung in einem schweren Unglücksfall wird bei einem Reeder liegen, wenn man nachweisen kann, daß die Besatzungen an Bord nicht auf einen Notfall wie den Wassereinbruch nicht entsprechend geschult waren.

# Kapitel 5

## Zusammenfassung der Ergebnisse

### 5.1 Ergebnisse der Arbeit und Rechtfertigung der Hypothesen

Das Ziel dieser Arbeit war die Erhöhung der Schiffssicherheit im Wassereinbruchfall. Zu diesem Zweck wurden wissenschaftliche Untersuchungen zu folgendem Zweck durchgeführt:

1. Nachweis der Notwendigkeit des Trainings der Schiffsbesatzung
2. Notwendigkeit der verbesserten Borddokumentation zur Stabilität im Leckfall
3. Simulation als Mittel der Entscheidungsfindung im Leckfall

Im ersten Kapitel wurde auf die Bedeutung der Schiffstypen RoRo- und RoRo-Passagierschiff aufmerksam gemacht. Ebenso wurde gezeigt, wie verheerend Unfälle auf solchen Schiffstypen ausfallen können auf denen eine hohe Personenanzahl an Bord ist. Zusätzlich wird durch die durchgängigen Ladedecks das Risiko des schnellen Sinkens im Wassereinbruchfall erhöht. Das zweite Kapitel hat aufgezeigt, daß die schiffbaulichen Regelungen keineswegs ausgereift sind und Überarbeitungsbedarf der neuen SOLAS 2009-Regeln von einigen Schiffbauexperten gefordert wird. Dies trifft vor allem auf Schiffe zu, die einen langen Laderaum unterhalb des Schotendecks aufnehmen. Desweiteren wurde im Kapitel 2 die Rolle des menschlichen Faktors im Wassereinbruchfall betont. Dabei wurde darauf hingewiesen, daß für jedes RoRo-Passagierschiff ein funktionierendes Sicherheitsmanagement-Regime erarbeitet werden muß. Dies kann nur in enger Zusammenarbeit und Unterstützung durch das Reedereimanagement erfolgen. Neben Reedereien haben auch die Flaggenstaaten dafür zu sorgen, daß die IMO Konventionen, insbesondere die hier relevante STCW Konvention und der STCW Code, richtig umgesetzt werden. In der Beurteilung des Risikos (risk management) wurden am Ende des 2.Kapitels zwei akademisch anerkannte Methoden des Risik Managements in ihren Grundprinzipien aufgezeigt. Die Soft System Methodology und Bayes'sche Netzwerke können geeignete Werkzeuge sein, das Risiko eines schweren Unfalls nach einem Wassereinbruch deutlich zu minimieren. Dieser Ansatz

steht auch in Analogie zu dem neuen Konzept des risikobasierten Ansatzes im Schiffbau, wie dem EU-finanzierten SAFEDORE-Projekt. Ein Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Möglichkeit für den Kapitän mögliche Leckszenarien für sein Schiff vor Abfahrt zu simulieren. Dies hat den Vorteil, daß die Simulation von Leckfällen dann den aktuellen Beladungsfall berücksichtigt und Leckfälle nicht generalisiert wie der Leckplan, der nach SOLAS gefordert wird. In der Abbildung 5.1 ist die Grundidee der Simulation grafisch aufgezeigt. Auf der linken Seite befindet sich der allgemeine Leckplan, wie er nach SOLAS Kapitel II-1, Teil B-4 gefordert wird. Die dort gelb gezeigten Bereiche stellen Beschädigungen dar, bei denen das Überleben des Schiffes vom Beladungszustand abhängt<sup>1</sup>. Das Schiff ist den Regeln nach konform, wenn es Beschädigungen überlebt, die die grün eingezeichneten Abteilungen in jedem Beladungszustand überlebt. Mit Hilfe der Simulation ist es aber vor Abfahrt möglich, das Überleben von Leckfällen unter Berücksichtigung des aktuellen Beladungszustandes vorherzusagen. Die Simulation zur Lecksicherheit des Schiffes vor Beginn einer konkreten Reise kann mit moderner Rechnerunterstützung innerhalb kürzester Zeit bewerkstelligt werden. Aufgrund einer solchen Analyse kann der Kapitän im Wassereintrittsfall sicher und schnell über die einzuleitenden Maßnahmen entscheiden. Ein weiterer Vorteil wäre die Rechtssicherheit, die dem Kapitän und dem Reeder mitgegeben würde. Denn: Ist aus der Simulation ersichtlich, daß das Schiff bei fortschreitender Flutung nicht zu halten ist, wird:

- der Verzug der Hilfeleistung auf ein Minimum reduziert;
- kann die Evakuierung unverzüglich und geordnet stattfinden; und
- beschränkt sich die Berichterstattung durch das Schiff an Land auf ein Minimum<sup>2</sup>.

Im Kapitel 4 wird darauf eingegangen, wie durch Schulung der Senioroffiziere, und dies kann auch die Leitenden Ingenieure des Maschinenraums umfassen, der Leckfall besser eingeschätzt und bekämpft werden kann. Obwohl aus Mangel an Antworten kein repräsentatives Ergebnis vorgestellt werden konnte, so decken sich doch die Fragebogenantworten mit der eingangs aufgestellten These, daß Schiffsbesatzungen dringend für den Leckfall geschult werden müßten. Obwohl das Hauptaugenmerk hier bei RoPax-Schiffen liegt, sollte die Schulung nicht auf Personal dieses Schiffstyp begrenzt werden. Um die Schulung einheitlich und mit den hier entwickelten Notwendigkeiten zu füllen, hat der Autor einen IMO Modell Kurs "Stability and Survivability in Damaged Ship Condition" entwickelt. Dieser wird bei der IMO in Englisch eingereicht und da Deutsch keine anerkannte UN-Sprache ist, wurde der Entwurf direkt in Englisch verfasst.

Im Kapitel 1 wurde auch auf die unterschiedlichen Ursachen eines Leckfalls hingewiesen. Dabei können Lecksituationen auch dann auftreten, wenn die Besatzung alle notwendigen Vorsichtsmaßnahmen getroffen hat. Es kommt aber dann darauf an, daß ein Grundverständnis über den Leckfall an Bord herrscht und ein Mechanismus implementiert ist, der in kurzer Zeit und mit

---

<sup>1</sup>Die Abbildung ist lediglich zur Anschaulichkeit gedacht und reflektiert keinen real existierenden Leckplan

<sup>2</sup>Die Simulationsergebnisse können nach Erstellen derselben über E-Mail an Land (Emergency Response Service oder Reedereimanagement) gesendet und dort in das System eingelesen werden.



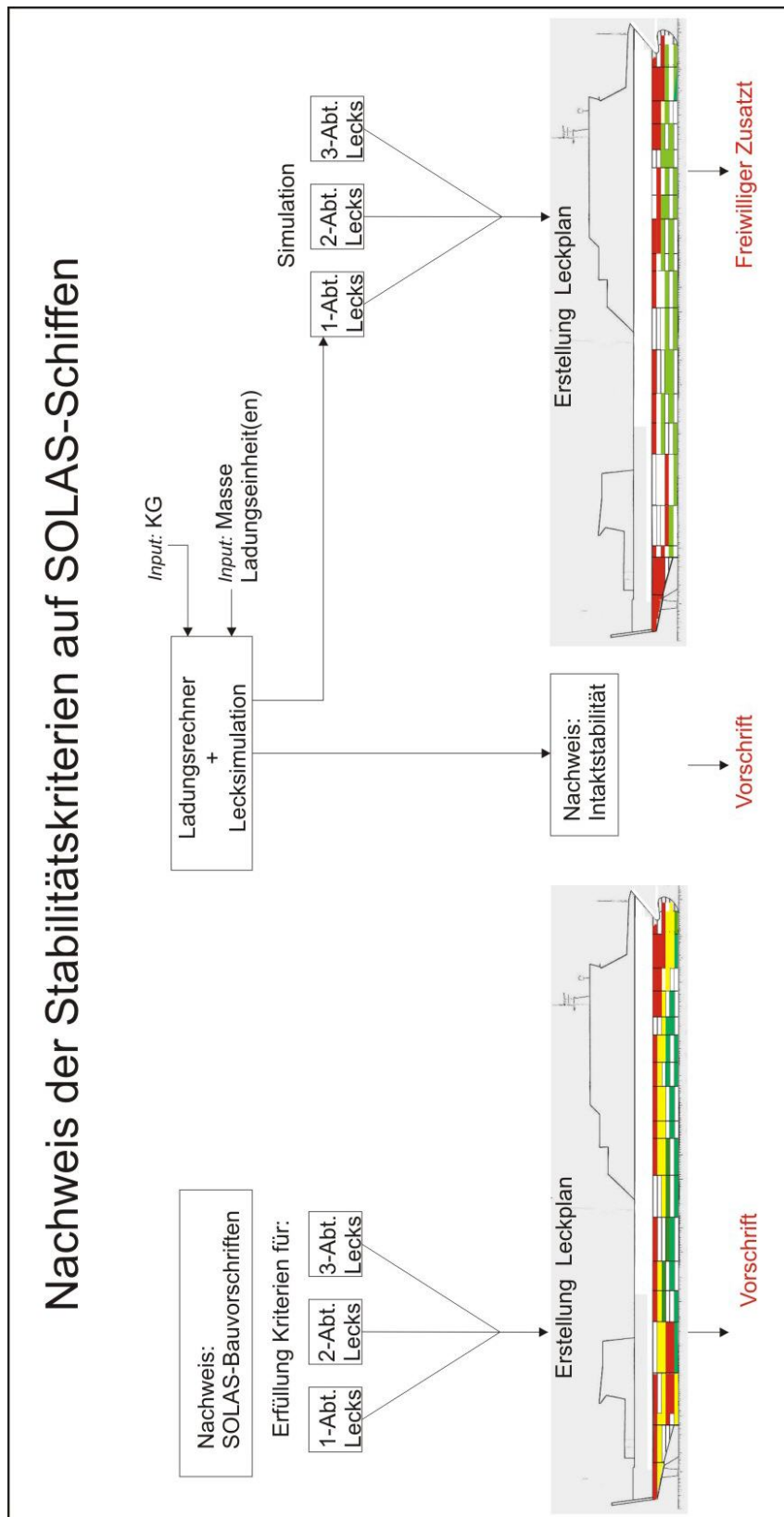


Abbildung 5.1: Durch die Simulation erzeugter Damage Control Plan

ausreichender Sicherheit dem Kapitän als Entscheidungshilfe zur Seite steht. Ein zuverlässiger Mechanismus kann nur dann vorherrschen, wenn alle Beteiligten, also Besatzung, Reeder, Bauwerft, Klassifikationsgesellschaft und Flaggenadministration an der Verbesserung zur Lecksicherheit zusammenarbeiten und gemeinsame Lösungen finden.

## 5.2 Realisierbarkeit und Ökonomie der vorgeschlagenen Maßnahmen

Ziel dieser Arbeit war, Konzepte zur Verbesserung der Schiffssicherheit auf Ro-Ro- und Ro-Ro-Passagierschiffen aufzuzeigen. Dazu wurde unter anderem im Kapitel 2 auf schiffbauliche Maßnahmen eingegangen. Die derzeitige Diskussion zur Änderung des SOLAS 2009-Standard zeigt deutlich, daß hier deutliche Sicherheitsdefizite von einer großen Anzahl von Experten festgestellt wurden. Die SDS-Arbeitsgruppe der IMO, die mit den Änderungen beauftragt wurde, hat auf Ihrer letzten Sitzung im Januar 2011 das Abschlussdatum der Revisionen von 2009 auf das Jahr 2013 verschoben. Ein ganz wesentlicher Aspekt spielte dabei die derzeitige Forschung auf diesem Gebiet, denn eines der großen Probleme in den schiffbaulichen Vorschriften ist die Abschätzung der zu erwartenden dynamischen Bedingungen für ein Schiff. Dazu zählen Wind und Seegang sowie die Ausbreitung von Wasser in einem Schiff. Das europäische Forschungsprojekt FLOODSTAND beispielsweise untersucht noch bis 2012 diese Aspekte mit dem Ziel, zuverlässige Flutungssimulationen für Schiffskonstruktionen zu ermöglichen [36]. Das Problem genaue Flutungsszenarien zu modellieren und anschließend zu simulieren bestand auch in dieser Arbeit und es wurde deshalb eine Vielzahl von Annahmen getroffen, die die Problematik im Schiffbau zu einem Teil widerspiegeln. Um realitätsnahe Aussagen zum Flutungsprozess zu machen, müssen die Ergebnisse der Forschung abgewartet werden<sup>3</sup>.

Unbeachtet in dieser Arbeit blieb auch das Phänomen der *rogue* oder *steep waves*. Diese werden umgangssprachlich auch oft als Monsterwellen bezeichnet. Deren Existenz wurde über lange Zeit von vielen Experten angezweifelt. Die Klassifikationsgesellschaften, von denen die renommierten der Branche sich in der International Association of Classification Societies (IACS) zu einem Interessenverbund zusammengeschlossen haben, erkannten diese Gefahren, wenn auch die Klasseregeln diese derzeit noch nicht berücksichtigen [21]. Dennoch gibt es seit geraumer Zeit, und vor allem durch die hohen Containerverluste und starken Beschädigungen von Kreuzfahrtschiffen durch *rogue waves*, vermehrtes Forschungsinteresse auf diesem Gebiet. Ein in dieser Ausrichtung bekanntes Programm hatte die EU mit dem Forschungsprojekt MAXWAVE unter-

---

<sup>3</sup>FLOODSTAND untersucht beispielsweise die Ausbreitung von gefluteten Räumen, die keine wasserdichten Schotten aufnehmen, wohl aber die Ausbreitung von Wassermassen verzögern (z.B. Kabinenbereich). Ebenso wird der Einfluss der Druckverlustes bei unterschiedlichen Flutungsöffnungen untersucht.

nommen.

Diese Arbeit hat nicht den Versuch unternommen, die bestehenden Schiffbauregeln zu verbessern oder neue Konstruktionskonzepte vorzuschlagen. Es wurde aber darauf hingewiesen, daß moderne Schiffdesigns großem ökonomischen Druck unterliegen, also wettbewerbsfähig sein müssen. Gerade im Ro-Ro-Verkehr sind kurze Lade- und Löschzeiten unabdingbar, weil andere Verkehrsträger den Schifffahrtsmarkt bedrängen. Ein Schiffseigner wird daher ein hohes Maß an Laderaum bei akzeptabler Unterteilung der Schiffskonstruktion nach geltenden Sicherheitsstandards fordern. Unter den derzeitigen schwierigen finanziellen Bedingungen für den globalen Schifffahrtsmarkt sind daher nur sehr begrenzt weitere Sicherheitsinnovationen zu erwarten, wenn diese nicht eklatante Sicherheitslücken schließen oder eine kostengünstigere Alternative zu bisherigen Standards darstellen. Ein Versuch in dieser Richtung sind die so-*genannten Goal-Based-Standards* im Schiffbau, also alternative Designs bei Sicherheitsäquivalenz. Der Fokus dieser Arbeit hat sich aufgrund dieser Schwierigkeiten, aber auch aus dem Wissen, dass der Faktor Mensch bei den großen Seeunfällen der Vergangenheit eine ausschlaggebende Bedeutung eingenommen hat, auf die Ausbildung der Schiffsbesatzungen konzentriert. Es wurde daher gezeigt, dass es hier große Mängel bei gleichzeitigen Defiziten in der Stabilitätsdokumentation an Bord gibt. Die Ausbildungsvorschriften, die in der STCW-Konvention international niedergelegt sind und durch entsprechende Empfehlungen der IMO implementiert werden können, müssen nach Ausführungen des Autors entsprechend ergänzt werden. Der Entwurf eines IMO Model Kurses wurde aus diesem Zweck im Verlauf dieser Forschungen zu dieser Arbeit entwickelt. Dabei sollten aus Sicht des Autors zwei Komponenten zu einem späteren Zeitpunkt in diesem Model Kurs ergänzt werden:

- Ausbildung von Schiffsoffizieren in der Dynamik von Wind und See (Erweiterung durch ein Dynamikmodul)
- Simulation von Leckfällen am Schiffsführungssimulator

Durch leistungsfähige Rechnertechnik ist die Simulation in der Ausbildung für verschiedene Verkehrsträger längst etabliert. Der IMO Model Kurs sollte dementsprechend das Leckverhalten von Schiffen durch Simulation zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Ergebnisse der Forschungen dazu vorliegen, aufnehmen. Dabei ist der Umfang der Simulation weitreichend zu gestalten, also nicht nur die Leckbewertung sollte berücksichtigt werden, sondern auch Leckbekämpfungsmaßnahmen und nautische Manöver.

Aber auch in der Reedereiorganisation, die stark vom ISM Code reguliert wird, sollte das Training und die Ausbildung der Besatzungen konkreter formulieren und Leckfalltraining nach dem hier vorgeschlagenen IMO Model Kurs vorschreiben. Auf der bereits weiter oben erwähnten letzten Sitzung des SLF-Sub-Committees der IMO sind die *Guidelines on operational information for Masters of passenger ships for safe return to port by own power or under tow* [34] verabschiedet worden. Diese enthalten Empfehlungen über die zur Verfügung zu stellenden Stabilitätsinformationen für Kapitäne von Passagierschiffen, einschließlich von RoRo-Passagierschiffen. In diesem Zu-

sammenhang wurde über Trainingsbedarf des Kapitäns oder anderer verantwortlicher Offiziere diskutiert, da diese Probleme in der Interpretation der Stabilitätsinformationen haben könnten. Diese Diskussion wird im STW-Unterausschuss (STW 43) wieder aufgenommen werden und es bleibt abzuwarten, ob die in dieser Forschungsarbeit aufgezeigten Defizite adressiert werden.

## 5.3 Empfohlene weiterführende Forschung zum Wassereinbruchfall

Die in dieser Arbeit aufgestellte 1.These 1.1 konnte aus Mangel an Datensätzen nicht wissenschaftlich-statistisch nachgewiesen werden. Da der Autor überzeugt ist, daß die Problematik ein ernstzunehmendes Sicherheitsproblem für RoRo- und RoRo-Passagierschiffe und deren Besatzungen darstellt, empfiehlt sich eine weitergehende statistische Analyse aus Befragungen durch Fragebögen und/oder Interviews. Ebenso kann im Zuge der Auswertung eines modifizierten Fragenkatalogs ein verbesserter Entwurf des IMO Modell Kurses *Stability and Survivability in Damaged Ship Condition* ausgearbeitet werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt aus Sicht des Autors ist die Untersuchung zu Stabilitätsunterlagen an Bord von Schiffen und die verbesserte Darstellung von Stabilitätsinformationen für den Leckfall. Die hier untersuchten Informationen des Lecksicherheitshandbuches waren nur ungenügend anschaulich und nach Meinung des Autors wenig geeignet für den Notfall. Eine Untersuchung der an Bord befindlichen computerunterstützten Leckanalyse und Leckstabilitätskalkulation könnte mehr Aufschluß über die zweite aufgestellte These dieser Arbeit bringen. Entsprechende operationelle Aspekte könnten in die Entwicklung moderner Leckbewertungssystem miteinfließen. Die vom Autor mit dieser Arbeit angestrebte engere Kooperation zwischen Schiffbauern und Schiffsbetreibern unter anderem mit Kooperationen zur Entwicklung von modernen Sensorsystemen und Software könnte, neben dem Training der Besatzung, einen deutlichen Entwicklungssprung für die Leckbewertung bedeuten und damit die Schiffssicherheit signifikant erhöhen.

# Literaturverzeichnis

- [1] BARRASS, C.B. ; DERRET, D.R.: *Ship Stability for Masters and Mates*. 6th. edition. Oxford, United Kingdom : Elsevier, 2006
- [2] BIRAN, A.B.: *Ship Hydrostatics and Stability*. Oxford, UK : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003
- [3] CORBETT, A.: DFDS denies race tension on its ships. In: *TradeWinds* (2010), January
- [4] CORBETT, Adam: UK gears up for bridge- management initiative. In: *TradeWinds 12 February 2010* (2010), January
- [5] DINWOODIE, J.: Learning through accident or academy?: the potential of classroom based study for developing competencies in managers of ferry services. (2007)
- [6] DITTMAR, F.: *Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung I*. 6.Auflage. Reinhard Mohn, Hamburg : Reinhard Mohn GmbH, 1994
- [7] DREESSEN, S.: Risiko- und Sicherheitsanalyse in der Fährschiffahrt im ostseeraum unter Berücksichtigung von Bedrohungen. In: *Doctoral Thesis* (2006)
- [8] EASON, C.: Stark warning over focus on capacity above ship stability. In: *Hamburg University of Technology, Institute of Ship Design and Ship Safety* (2009)
- [9] EMSA: Maritime Accident Review 2008. (2009)
- [10] FAIRPLAY ONLINE: Manual standards debate emerges. In: *Fairplay Online* (2008), April
- [11] FAIRPLAY WEEKLY: Aversion to rust? In: *Fairplay Weekly* (2008), April
- [12] FRANK, J.: Shipping boom is driving alarming hull claims increase. In: *Lloyd's List* (2008), April, Nr. 03 April
- [13] GALLE, M.: GDV Schadensverhuetung - Emergency Response. In: *pdf-Praesentation 120* (2007), March
- [14] GENTRY, B.: Crystal Ball User Manual. In: *Crystal Ball 7.3* (2007)

- 
- [15] GESELLSCHAFT FÜR SICHERHEITSWISSENSCHAFT: *Wuppertal*. [http://www.gfs-aktuell.de/Wir\\_ueber\\_uns.html](http://www.gfs-aktuell.de/Wir_ueber_uns.html), May 2009
- [16] HAHNE ET AL: *Handbuch Schiffssicherheit*. Hamburg : Seehafen Verlag GmbH, 2006
- [17] HAND, M.: Accidents double on fleet boom, officer shortage. In: *Lloyd's List Daily On-line* (2008), Februar
- [18] HAND, M.: Sulpicio Lines hit by fleet safety inquiry. In: *Lloyd's List Daily Online* (2008), July
- [19] HILGERT ET AL: *Nautische Stabilitätsbilanzen*. Wustrow, Germany : Hochschule für Seefahrt Warnemünde - Wustrow, 1991
- [20] IACS: Onboard Computers for Stability Calculations. In: *Unified Requirements* (2006), Nr. UR L5
- [21] IACS: Goal-based new ship construction standards. In: *MSC 83/INF.5* (2007)
- [22] IMO: Regional Agreement concerning Specific Stability Requirements For Ro-Ro Passenger Ships. In: *IMO Circular Letter No.1891* (1996)
- [23] IMO: Guidance for damage control plans. In: *MSC/Circ.919* (1999)
- [24] IMO: Guidelines for Formal Safety Assessment(FSA). In: *MSC/Circ.1023* (2002)
- [25] IMO: *International Safety Management Code*. 2002 edition (electronic). London, UK : IMO - International Maritime Organization, 2002
- [26] IMO: *Development of revised SOLAS chapter II-1 PARTS A, B and B-1*. Bd. SLF 46/INF.5. International Maritime Organization, 2003
- [27] IMO: *Safety of Life at Sea*. Consolidated Edition 2004 + amendments. London, UK : IMO - International Maritime Organization, 2004
- [28] IMO: Guidance for damage control plans and information to the Master. In: *MSC/Circ.1245* (2007)
- [29] IMO: Interim Explanatory Notes To The SOLAS CHAPTER II-1 Subdivision and Damage Stability Regulations. In: *MSC.1/Circ.1226* (2007), January
- [30] IMO: Adoption of amendments to the International Safety Management (ISM) Code). In: *MSC.273(85)* (2008)
- [31] IMO: Casualty Investigation Code. In: *Resolution MSC.255(84)* (2008)
- [32] IMO: Revision of the Intact Stability Code - New generation of intact stability criteria. In: *German submission* (2008)

- [33] IMO: Damage Stability Regulations for RoRo-Passenger Ships - Report of the SDS. In: *SLF 52/11/1* (2009), October
- [34] IMO: Report of the SDS Working Group. In: *SLF 53/WP.6* (2011)
- [35] JAFFEE, A.: Ferry travel prone to accidents. In: *The Washington Times* (2008)
- [36] JALONEN, R.: Integrated Flooding Control and Standard for Stability and Crises Management. In: *FLOODSTAND Research Project* (2010)
- [37] JENSEN, F.V. ; NIELSEN, T.D.: *Bayesian Networks and Decision Graphs*. Bd. 2nd Ed. Springer, New York, 2007
- [38] KEHREN, F.I ; KRUEGER, S.: Development of a Probabilistic Methodology for Damage Stability regarding Bottom Damages. In: *Hamburg University of Technology, Institute of Ship Design and Ship Safety* (2007), S. 1–11
- [39] KOELMANN, H.J.: A new method and program for probabilistic damage stability. In: *SARC* (2006), May, S. 245–255
- [40] KORNACKI, J.: Analysis of the wind influence on the ship turning manoeuvres on port turning basins. In: *Scientific Journals* (2008), Nr. 13(85), S. 40–44
- [41] KRISTIENSEN, S.: *Maritime Transportation - Safety Management and Risk Analysis*. Oxford,UK : Butterworth-Heinemann, 2005
- [42] KRUEGER, S.: Telefongespräch am 24.April 2008. In: *Hamburg University of Technology, Institute of Ship Design and Ship Safety* (2008)
- [43] LLOYDS LIST: Horncliff holed by own container. In: *Lloyd's List* (2008), Februar
- [44] LLOYDS LIST: Ship Stability ignored says leading surveyor. In: *Lloyd's List Daily Online* (2008), April, Nr. 01 April
- [45] LOWRY, N.: Sea Diamond senior officers and operator blamed in Greek probe. In: *Lloyd's List* (2009), July, Nr. 9
- [46] MARINE ACCIDENT INVESTIGATION BRANCH (MAIB): Report on the investigation of the structural failure of MSC Napoli. In: *MAIB Report No 9/2008* (2008)
- [47] MCA: Guidance Notes On The Stockholm Agreement. In: *Guidance & Regulations - Guidance of Surveyors - Classes I, II & II (A) - Part 2* (2006)
- [48] MEYNA, A. ; PAULI, B.: *Zuverlässigkeitstechnik - Quantitative Bewertungsverfahren*. Carl-Hanser-Verlag München und Wien, 2010
- [49] N.N.: Development of a Probabilistic Methodology for Damage Stability regarding Bottom Damages. In: *Cruise and Ferry* (2009), Jul/Aug, S. 10–11

- [50] N.N.: Overcrowded ferries halted. In: *Safety at Sea International* (2010), March
- [51] RAWSON, K.J. ; TUPPER, E.C.: *Basic Ship Theory*. fifth. Oxford, United Kingdom : Butterworth / Heinemann, 2001
- [52] RHODES, M.A.: *Ship Stability*. Lanarkshire, United Kingdom : Seamanship international Ltd., 2003
- [53] SASI: Casualties on the rise. In: *Safety at Sea International* (2009), February, S. 5
- [54] SAUNDERS ET AL: *Research methods for business students*. 5th. London, UK : Pearson Education Ltd, 2009
- [55] SCHRÖDER, J.U.: Zur Ermittlung von Unfallursachen und begünstigenden Faktoren für Unfälle in der Seeschiffahrt. In: *Dissertation* (2003), S. 1–11
- [56] SCIENCE, National A.: Human error in Merchant Marine Safety. In: *Maritime Transportation research Board - Commission on Sociotechnical Systems* (1976)
- [57] SHK: *Loss of M/S FINNBIRCH between Öland and Gotland, 1 November 2006, Case S-130/06*. NORRKÖPING, Sweden : Swedish Accident Investigation Board (SHK), 2006
- [58] SOININEN: *Report of Damage Stability Study*. Report. Finland : ELOMATIC, 2007
- [59] STRASSER ; JASIONOWSKI ; VASSALOS, D.: Calculation of the TIME-TO-FLOOD of a box-shaped barge by using CFD. In: *10th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles* (2009), June, S. 733–740
- [60] STUTELY, M.: *Numbers Guide: The Essentials of Business Numeracy*. London, UK : Bloomberg Press, 2004
- [61] SZOZDA, Z.: Application of the TRIPOD Method for Human Factor Analysis on the example of M/F JAN HEWELIUSZ Capsizing. In: *10th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, St. Petersburg* (2009)
- [62] TAGG/TUZCU: A Performance-based Assessment of the Survival of Damaged Ships - Final Outcome of the EU Research Project HARDER. In: *6th int. Ship Stability Workshop, Webb Institute, 2002* (2002)
- [63] TIJARDOVIC, I.: *Practical Ship Stability*. Split, Croatia : I.Tijardovic, 2006
- [64] TIMES, Manila: Lax shipping inspections by too many govt groups. (2008), July
- [65] TUPPER, E.: *Introduction to Naval Architecture*. 3rd. Oxford : Butterworth-Heinemann, 1996
- [66] VASSALOS, D. ; PAPANIKOLAOU, A.: Stockholm Agreement - Past, Present & Future. (2001)



- [67] WANG ET AL: An offshore risk analysis method using fuzzy Bayesian network. In: *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 131 (2009), Issue 4
- [68] WEGMENT: Total Stability Assessment of Damaged Passenger Ro/Ro Vessels. In: *WEGMENT 30th School* (1998), September
- [69] YANG, Z.: Risk assessment and decision making of container supply chains. In: *Doctoral Thesis* (2006), September
- [70] YEE, K.P.: *Terrorist Group Planning Malacca Oil-Tanker Attacks*. <http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=20670001&sid=aYrh2Rgb9zZU>, March 03 2009



## **Anhang A**

### **Der Untergang der Herald of Free Enterprise 1987**

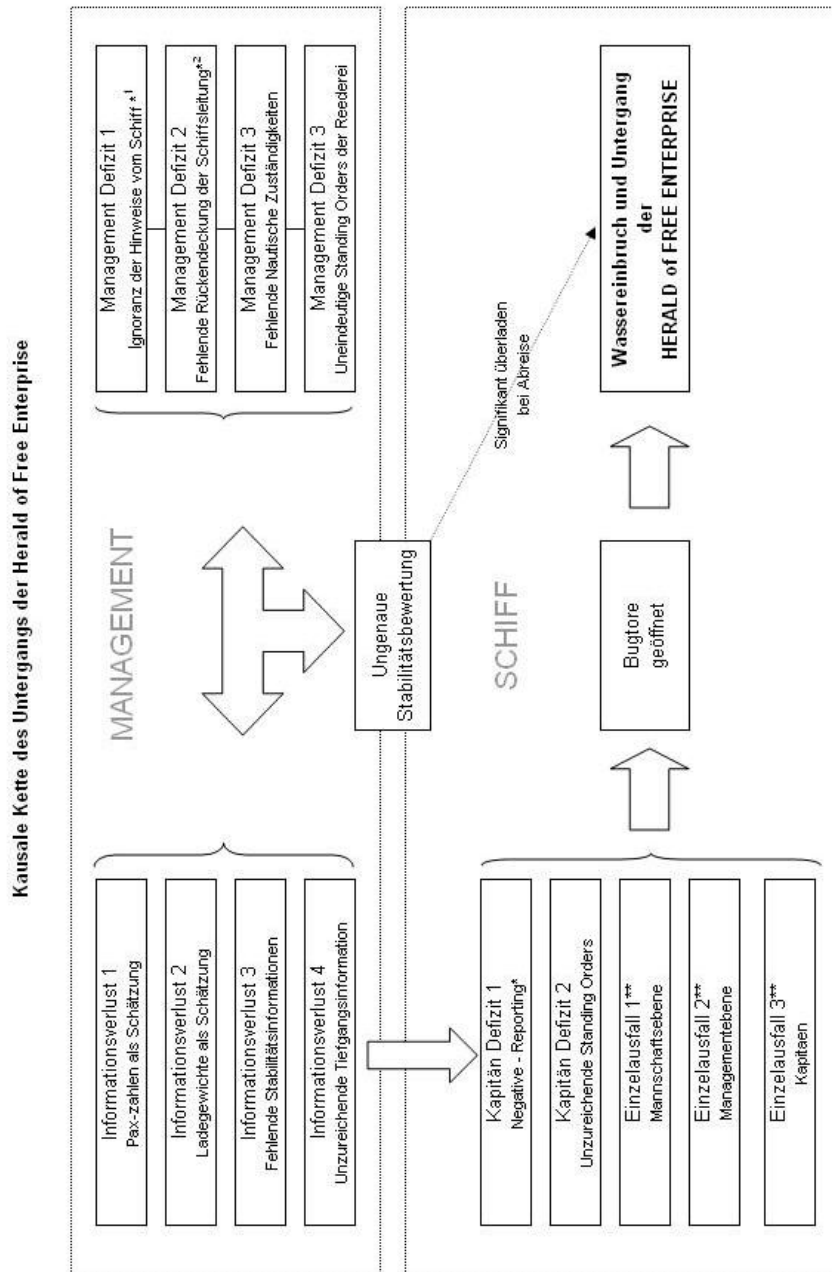


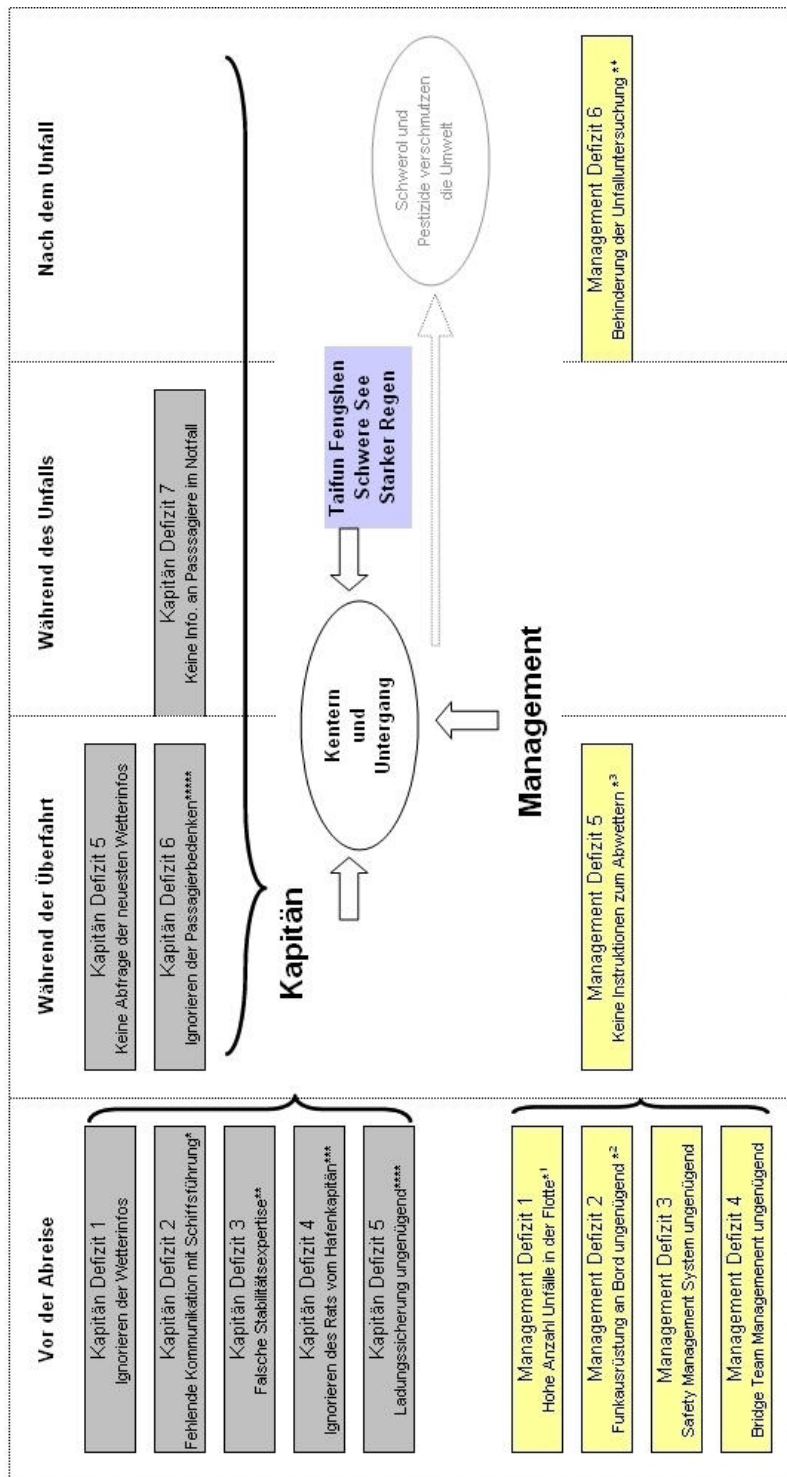
Fig. 2.1

\* Dieses negative System der Berichterstattung geht davon aus, dass das Schiff seetüchtig ist, wenn dem Kapitän keine anderslautende Meldung (Bugtor noch geöffnet) gemacht wird  
 \*\*Der Hilfsbootsmann, der verantwortlich war für das Schließen der Bugtore erschien nicht, der Ladeoffizier kontrollierte den Verschlusszustand nicht und der Kapitän fragte nicht nach  
 \*1 Mehrere Eingaben an das Management: Anzeige zum Verschlusszustand der Bugtore, Installation einer Tiefgangsanzeige, stärkere Ballastpumpe, verlässliche Paxzahlen und Ladegewichte  
 \*2 Bei Disziplinarmaßnahmen durch die Schiffsleitung knickte das Management ein, weil sie ein Streik befürchtete

## **Anhang B**

### **Der Untergang der Princess of the Stars 2008**

Kausale Kette des Untergangs der PRINCESS OF THE STARS



\* Der 2. Offizier war verantwortlich für die Wetterdaten, aber der Kapitän fragte diese nicht ab

\*\* 2 Ballasttanks nicht geflutet

\*\*\* Dieser hatte dem Kapitän wegen der Taifunwarnung abgeraten abzulegen

\*\*\*\* Nach Auswertung von Augenzeugenberichten ist anzunehmen, dass Ladung verrutschte und kurz danach das Schiff kenterte

\*\*\*\*\* Diese hatten den Kapitän in schwerer See eindringlich gebeten, unter Land Schutz zu suchen

\*<sup>1</sup> Innerhalb von 28 Jahren 45 Unfälle mit 7 Untergängen

\*<sup>2</sup> Der einzig mögliche Kommunikationsweg mit den Häfen war mittels Simplex-Funkgeräten (keine Satellitenverbindung oder Duplex Funk)

\*<sup>3</sup> Während andere Schiffe während des Taifuns unter Landschutz abwettern, gab das Management keine solche Instruktionen

\*<sup>4</sup> Sulpicio als Reedereiunternehmen unterstellte des Untersuchungsbehörden Befangenheit und hoffte auf Einstellung des Untersuchungsverfahrens (squad tactics)

## **Anhang C**

# **Entwurf: IMO Model Kurs Stability and Survivability in Damaged Ship Condition**

IMO Model Course

Stability and Survivability

in Damaged Ship Condition

**ENTWURF**

## **C.1 Introduction**

One of the most critical situations for ships has always been when water enters the ship until it founders. A number of regulatory measures have been introduced by the IMO to reduce the risk of foundering, the latest being SOLAS 2009 Stability requirements as set out in Chapter II of the Convention. It is important, though, that deck officers have a profound knowledge of the ship's theory to assess flooding situations and that they are provided with the necessary training to take effective countermeasures. In order to provide ship's staff with the necessary means to assess such situations it is of utmost importance that the ship is equipped with a set of stability information as stipulated in Chapter II-1 Part B Regulation 22 of the SOLAS Convention. The ship operator is responsible for equipping the ship with these information and should ensure that the documentation on board is compiled in a user-friendly way without unnecessary information. As deck-officers are subject to Port State Control they might be requested to prove the vessel's damage stability capabilities in a number of scenarios. As it is the case in a real damage scenario, deck officers have then to assess the situation quickly but accurately enough. Especially on ro-ro and ro-ro-passenger ships the time-window to save the ship and its crew is often very short and masters have to make quick decisions. As ships grow rapidly in size and are able to carry thousands of people and valuable cargo and furthermore have a considerable amount of fuel and bunkers on board, the risk for people on board and the marine environment is too high for being disregarded. A major accident with a total loss of a ship can cause sustainable damage to the shipping industry and the maritime environment with a large sum of compensation claims brought forward by the victim parties. If it is shown that persons or a ship could have been survived if appropriate measures had been taken to save the ship, its crew and passengers, the responsibility would also rest with the operator of the ship or the crew management company. It is therefore believed that a model course on damage stability helps to raise confidence and awareness among deck officers as such knowledge is not part of the daily routine on merchant ships. Thus a ship master may have been sailing for decades without any refresher course on damage stability which exposes the ship she or he is sailing in peril. Even if ship's crews are not able to assess the current situation it is crucial that they can report correctly on the current damage case to Emergency Response Services (ERS) ashore. Shipping companies are therefore strongly advised to train their crews in accordance with this model course to enable their staff to combat flooding in a professional and effective way.

### **C.1.1 Purpose of the Model Course**

This course has been developed out of two reasons: The first being the renewal of Certificate of Competency as per STCW Code A-II for ship officers in continuous service on board ships. The 2010 amendments to the STCW Convention and its related Code (Manila Amendments) which are expected to be finalized in June 2010 do not require a refresher course for ship officers to revalidate their Certificates of Competency (CoC) if they can provide active sea service for one year or more. A refresher course is only an option for revalidation, not a necessary requirement. Officers which are not required to pass a test or exam for revalidation of the CoCs may sail as



masters for many years without refreshing their knowledge on damage stability as the application of such knowledge is not part of their daily routine. Furthermore, it is common practice that chief officers are assigned with the duty to calculate the ship's stability prior departure in port. Thus ships masters are often tasked with confirming the stability statements rather than assessing the stability themselves. It is therefore believed that considerable knowledge gaps of damage stability assessments and calculations have been accumulated. The second reason for developing this model course is that the STCW Convention and the STCW Code only generically stipulate what minimum knowledge, understanding and proficiency (KUPs) are required for senior navigational officers. This IMO Model Course aims at improving the KUPs of senior deck officers who passed their exams as Master Mariner a considerable time back in the past. It may be also taught to junior deck and engine officers in order to consolidate their recently acquired knowledge about survivability in damaged conditions and damage stability calculations. As the level of maritime education varies instructors are advised to adjust their teaching methods to the level of the course participants, e.g. mathematical explanations on moments of inertia may not include advanced mathematics such as integration or differential equations. Upon completion of the course the trainee should be capable of explaining the flooding process in detail with all the inherent effects on survivability and stability of the ship, and, should have a broad knowledge of the follow-up measures such as stabilizing the ship, evacuation of crew and passengers, effective communication with onshore-assistance and other vital procedures to save the ship and its people.

### C.1.2 Use of the Model Course

This model course gives a guideline to instructors on the content of the course. Any instructor should bear in mind that candidates will assess such a course on the relevance to their actual work. In order to provide a valuable knowledge instructors should support their explanations by giving a number of real-case examples. Such an approach may raise the awareness of participants and motivate them to provide a useful contribution to the success of the course. It is therefore counterproductive to linger on a topic which is well known by all trainees.

### C.1.3 Lesson plans

Before an individual course is being taught instructor have to plan the course according to the detailed teaching syllabus and by paying attention to the needs of the attendees. Courses given to professionals with an academic background generally differ from those given to those without a degree. A similar approach is necessary when addressing a certain group of trainees, such as engine officers or shore personnel responsible for loading and unloading of a ship.

## **C.2 Part A: Course Framework**

### **C.2.1 Entry standards**

This course requires knowledge of basic ship theory as being taught at maritime academies who offer courses for students who want to attain the qualification as deck officers. Thus those attending the course will need to hold a certificate of competency for officers in charge of a navigational watch or similar training on ship stability with some practical experience on board ships.

### **C.2.2 Course certificate**

As this course is not part of the mandatory training program for ships officers, no obligatory documentary evidence is required. The training provider of this course should, however, issue a certificate which confirms the successful participation of a trainee.

### **C.2.3 Course intake limitations**

As this course is endeavours to qualify senior officers to have an in-depth understanding of ships damage stability the number of students should not exceed 12. However, if a training institute has the necessary equipment and facilities, the number of students may be increase to an appropriate level.

### **C.2.4 Staff requirements**

As the course on damage stability requires detailed knowledge on ship's theory only naval architects or instructors holding a Ship's Master qualification with the necessary academic background are appropriate qualified instructors. A duly qualified ship surveyor is also considered as duly qualified.

### **C.2.5 Teaching facilities and equipment**

This course requires a loading computer with integrated damage stability software and a classroom with a projector. Such a projector helps to demonstrate the use of the loading computer and the different damage scenarios which are to be developed by the instructor. Further, it can give an easy-to-understand display of a number of sketches and drawings which form an essential part of this course. However, an overhead projector is considered being sufficient for the same purpose and can be used instead of a projector. Thus a course provider should ensure that following minimum equipment is provided to attendees of the course:

- loading computer software with a damage stability add-on tool for at least one sample ship

- large scale ship sketches for illustrating the effects of water ingress
- damage control plan and damage control booklet of the sample ship

### C.2.6 IMO References

- ◇ R1 International Convention for the Safety of Life At Sea (SOLAS) 1974,as amended
- ◇ R2 IMO Model Course 1.17 "BASIC STABILITY", 1991
- ◇ R3 International Code on Intact Stability, 2008
- ◇ R4 International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers 1978 (STCW), as amended
- ◇ R5 MSC.1/Circular.1245 - Guidelines for Damage Control Plans, 2007

### C.2.7 Textbooks

- ◇ T1 Barras, C. and Derret,D.(2006) *Ship Stability for Masters and Mates*. 6th edition. Oxford, UK. Butterworth-Heinemann
- ◇ T2 Rhodes, M.(2003) *Ship Stability*. Lanarkshire, UK. Seamanship Internatinal Ltd.
- ◇ T3 Tijardovic, I.(2006) *Practical Ship Stability*. Split, Croatia. Captain Dr. I.Tijardovic.

## C.3 Part B: Course Outline

	Subject Area	Hours (h)
1	<b>Damage Stability and Survivability</b>	2.0
	.1 <i>Concise overview on ship stability</i>	
	.2 <i>Cross flooding arrangements</i>	
	.3 <i>Stability at large angles of heel</i>	
2	<b>Ship design and subdivision of ships</b>	2.0
	.1 <i>Definitions</i>	
	.2 <i>Watertight integrity</i>	
	.3 <i>Cross flooding arrangements</i>	
	.4 <i>Flooding detection systems</i>	
	.5 <i>The ship's Damage Control Plan</i>	
3	<b>International regulations and guidelines for damaged ships</b>	4.0
	.1 <i>SOLAS Deterministic concepts</i>	
	.2 <i>SOLAS'90, SOLAS'95 (Stockholm Agreement)</i>	
	.3 <i>SOLAS Probabilistic concepts (A.265(VIII), SOLAS 2009,)</i>	
	.4 <i>International Code on Intact Stability</i>	
4	<b>On-board stability assessments</b>	4.0
	.1 <i>Method of Constant Displacement</i>	
	.2 <i>Method of Added Weight</i>	
	.3 <i>Software solutions and training of personnel</i>	
5	<b>Flooding countermeasures</b>	4.0
	.1 <i>Training, drills and maintenance</i>	
	.2 <i>Nautical manoeuvres</i>	
	.3 <i>Tank operations</i>	
	.4 <i>Leak defense methods</i>	

## C.4 Part C: Detailed Teaching Syllabus

Learning Objectives	IMO References	Teaching Aids
<b>1 Damage Stability and Survivability</b> .1 Concise overview on ship stability .2 Determining the 2nd moment of inertia (I) of an area .3 .4 Stability at large angles of heel		2.0
<b>2 Ship design and subdivision of ships</b> .1 Definitions .1 Required Index R, Attained Index A .2 Factors, $p_i$ and $s_i$ .2 Watertight integrity .1 Basic concept of watertight integrity .2 Breach of watertight integrity .3 Structural arrangements to retain watertight integrity .4 Measures to maintain watertight integrity .3 Cross flooding arrangements .1 Function .2 Types of cross-flooding arrangements .4 Flooding detection systems .1 Function .2 Types of Flooding detection systems .5 The ship's Damage Control Plan		2.0
<b>3 International regulations and guidelines for damaged ships</b> .1 SOLAS Deterministic concepts .2 SOLAS Probabilistic concepts .3 International Code on Intact Stability .4 Damage control information (SOLAS Part B-4/Reg.19) .5 Prevention and control of water ingress (SOLAS Part B-4/Reg.22)		4.0

Detailed Teaching Syllabus (cont.)

	Learning Objectives	IMO References	Teaching Aids
4	<b>On-board stability assessments</b> <i>.1 Stability information to be provided to the Master</i> <i>.2 Method of Constant Displacement</i> <i>.3 Method of Added Weight</i> <i>.4 Software solutions and training of personnel</i>		4.0
5	<b>Flooding countermeasures</b> <i>.1 Training, drills and maintenance</i> <i>.2 Nautical manoeuvres</i> <i>.3 Tank operations</i> <i>.4 Leak defense methods</i> <i>.1 pipeline system, valves and accessories</i> <i>.2 The ship's de-ballast and bilge system</i> <i>.3 de-ballast operations</i>		4.0

## C.5 Part D: Instructor Manual

The course participant, before being encountered with the details of the flooding process and techniques and procedures of damage stability assessments must have a profound knowledge of the basic stability theory. Thus a repetition of basic terms is recommended. The trainee might be asked to detail stability difficulties encountered by different types of ships, e.g. the wind moment is of more importance to a ropax-ferry and a car carrier than for a large fully laden tanker. It might be also useful to develop short computer animations of the flooding process for a single ship. With appropriate software tools, e.g. flashmovie-maker, such movies may last only a couple of seconds but contribute to a successful learning effect.

### C.5.1 Damage Stability and Survivability

#### Concise overview on ship stability

As this course is aimed at conveying to students the means and skills to take appropriate action in a damaged conditions, the repetition of the basic stability principles should be brief. It is assumed that officers and masters are familiar with the physics of a trimmed and heeled ship. However, a few information should be given on statical stability and the calculation of  $\overline{GZ}$ ,  $\overline{KG}$ , list and trim.

#### Stability at large angles of heel

As the buoyancy force of a heavily heeled ship does intersect the ship's centre line in a fixed point as for smaller angles of heel, cross-curves of stability are prepared to calculate the value GZ. One of the most difficult tasks of assessing stability is to have reliable data of the ship's hydrostatic data. A large number of ships have these data only tabulated for even keel, i.e. without trim. But it is known that ships may be strongly affected to their stability at large changes of trim. If these data, however, are not calculated the ship's loading officer may encounter situations where the stability assessment is insufficiently accurate. It is therefore desirable to have cross-curves drawn for a number of different trims, e.g. cross-curves for even keel, 1m and 2m trim (forward and aft). Only then adequately precise results can be obtained from damage calculations by the

ship's crew. A very good way of conveying the content is to show results of such calculations in order to highlight the differences in GZ values. Depending upon the students, instructors may consider to develop the wall-sided formula as it is a good approximation of the GZ for large angles of heel.

### **C.5.2 Ship design and subdivision of ships**

Subdivision of ships is a necessity but does have implications which are not desirable. Thus a more subdivided ship will be more expensive to build, it will be more inconvenient to access its compartments and also more difficult to stow cargo, let alone to maintain the cargo holds or void spaces. Thus any ship design is a compromise between safety of the ship and its economic deployment. Course participants should be familiarized with different ships design and different levels of sub-division. Active participation should be encouraged as the learning effect is greater when course participants exchange information of the layout of the ships they serve on.

#### **Definitions**

In order to assess a damaged situation and get a better understanding, the trainee should be familiar with the basis ship design features and definitions of flooding. The tutor therefore should define the terms

- bulkhead deck
- subdivision draft
- permeability
- watertight compartment.

#### **Watertight integrity**

A ship under SOLAS provisions is required to fulfill a large number of design obligations. Among other things these comprise collision bulkheads and other bulkheads (longitudinal, transverse) subdividing the ships's hull, double bottoms, watertight doors and watertight lifts . The instructor should detail the different means of ensuring watertight integrity. A number of examples may



further illustrate how watertight integrity is being breached when vulnerable elements of the ship are unprotected. Analyzing cases of foundered vessels is considered helpful in this respect.

### **Cross flooding arrangements**

Course participants need to understand the requirement to fit ships with cross-flooding arrangements. Their purpose is to be shown using suitable presentation techniques. Instructors should outline the different methods of providing cross-flooding of opposite spaces, such as cross-flooding valves which are permanently open, others which are manually operated and remotely controlled cross-flooding valves. The effects on the ship's stability should be highlighted if cross-flooding valves are malfunctioning. A calculation example may be used to underpin the importance of cross-flooding arrangements.

### **Flooding detection systems**

Instructors are advised to introduce course participants with commonly used sensor-equipment to detect water ingress at an early stage. It should be made clear that water may enter a ship while it is intact, i.e. not after a collision or grounding. Especially in heavy seas the water ingress may not be noticed until a considerable amount of water has already entered the ship. As there are a wide variety of different flooding detection devices which use different methods of measuring it is recommended to give an overview of what is currently being used on board ships. Such explanations should also comprise the regulatory side as for certain spaces flooding detection devices are compulsory for ships. Course participants need to be aware that flooding detection may be achieved by using audio, visual or a combination of both techniques. Tutors should then advise on the advantages and disadvantages of the different types. Although such detection systems are a great improvement for detecting water ingress, their use on board ships is currently very limited due to the large number of spaces on board.

### **The ship's Damage Control Plan**

The ship's damage control plan is a tool for quickly assessing the ship's survivability in a damage case. Such plans are usually coloured in order to indicate the different categories of survivability. These plans should be discussed in detail with course participants. It is crucial to elaborate on the symbols used and where key elements on the ship's subdivision can be found, such as watertight bulkheads, remote controlled watertight flaps, doors, etc. Each participant should be able to interpret damage control plans and advise on the survivability of damages which require the urgent evacuation of the ship's passengers and crew. In this respect instructors are advised to highlight the limitations of such plans which only can give an indication on certain damage cases. A ship can be in various loading conditions and be exposed to very different wave and wind conditions which cannot be considered in a damage control plan. Thus care should be exercised when drawing conclusions from such plans.

### **C.5.3 International Regulations and Guidelines on Subdivision and Stability of ships**

Instructors should briefly introduce course participants to the existing regulations on subdivision and stability of ships, their application and basic concepts. It is expected that course participants know the deterministic concepts of SOLAS'90, SOLAS'95 (Stockholm Agreement) and the probability-based approach of A.265(VIII) including its revision. To understand each concept better, the instructor may consider to highlight the differences in the concepts in achieving a acknowledged and satisfying degree of subdivision of ships. It should also be understood that documents produced by the shipyard or independent contractors which show the compliance of a ship with existing stability regulations should be not mistaken as tool for assessing the ship's stability and survivability in a damage case as they only confirm compliance with existing regulations. It should be clear to participants that ships have to fulfill the mandatory requirement to provide the master of the ship with all necessary stability information as outlined in SOLAS Chapter II-1, Part B-1. Reference to the International Safety Management (ISM) Code is made in the International Code on Intact Stability which requires in Section 2.1 the ship to carry a Stability booklet approved by the

Administration. Further information can also be found in MSC.1/Circular.1245 (Guidelines for Damage Control Plans and Information to the Master). Further, stability criteria as set out in the *International Code on Intact Stability* should be brought to the attention of course participants. This topic should not include advanced calculations of ship's stability to prove compliance with existing regulations.

#### **C.5.4 Good seamanship to minimize the risk of sinking in a damage ship condition**

The objectives of this teaching module is to familiarize course participants with some basic rules to prevent the ship from capsizing or sinking once it is damaged and water enters the ship's hull. A list of actions to be taken as immediate response in a damage case should be developed with course participants. Such an approach motivates participants to actively take part in developing the Best Managing Practices (BMP) in a damage case. Instructors should attempt to guide participants in developing these BMPs. One of the most important actions to be taken first is to prevent progressive flooding, i.e. to close all watertight doors. A number of preventive measures should be taken before departing from a port. Among other things, these include proper securing of cargo, regular check on the ship's bilge system, free the drainage system, check of sensors indicating water ingress, camera systems, drills to combat water ingress and others.

#### **C.5.5 On-board methods for determining the survivability of a damaged ship**

Course participants should be familiar with the two commonly used methods to calculate the ship's damage stability: the *method of lost buoyancy* and the *method of added weight*. Simple examples might be used to illustrate the basic concept behind each method. It should be also explained why computer programmes mainly use the "lost buoyancy method" whereas on board ships the "added weight method" is the preferred option. Course participants should also be introduced on how to calculate the ship's volume and what parameters are used to describe the stability of ships. Instructors may envisage to compare the two

calculation methods by analysing one sample damage case. Then the methods could be applied and their results compared.

### **Software solutions and training of personnel**

Due to a fast development in computing, on-board loading computers are more and more common on board ships. Although not yet required to be carried on board ships by international law, they are already being extensively used. Likewise, their capabilities and functionality increases and more and more manufacturer offer damage stability software tools as an add-on modules to the basic loading computer software. The International Association of Classification Societies (IACS) distinguishes 3 different kinds of stability software [20]:

- Software calculating intact stability only
- Software calculating stability and checking damage stability
- Software calculating intact and damage stability by direct application of pre-programmed damage cases for each loading case

How important loading computers with a damage stability module are is reflected by the number of non-compliant tanker vessels which operate often under loading conditions which are not included in the Stability Information Booklet. Although a vessel may still complies with the intact criteria researchers found out, that the damage criteria are often not met. In order to utilize the extra features of damage stability modules, officers should be trained to use them effectively. As the damage stability add-on is not part of the daily routine on board, regular use of it is recommended. The tutor should give a short overview of the capabilities and limitations of such software. It is recommended that students use such software packages at the training institute. Different scenarios of water ingress should be simulated and the student should be encouraged to identify the limitations of the software on her/his own, e.g.

- Can the dimension or area of the penetration be specified?
- Calculation of cross-flooding might be not considered
- Progressive flooding might not be considered

- What is the effect on the time to flood for different sizes of hull penetrations?
- How long does it take to simulate a high number of intermediate flooding states?
- Is the downflooding angle displayed?

It is important to change cargo masses and centres of gravity for the loaded masses in order to notice the effect such changes have on stability in damaged condition. It is important that each scenario is carefully planned before conducted. Before any scenario is simulated, the student shall predict the impact of the water ingress and determine critical locations for progressive flooding, the location of cross-flooding valves and critical openings which need to be secured, such as pipes and ducts or overflow pipelines. A subsequent debriefing helps to identify the misconceptions and wrong assumptions and will thus facilitate better understanding of the flooding process.

Also, every student need to understand how the results of the computation are derived, i.e. which underlying method is being used. Usually, such software uses the method of lost buoyancy. A large number of stability software is based on the hull modeling of the vessel. The tutor is advised to detail the advantages of such calculation method. In connection with the relevant part of this course, the student may be asked to explain the differences of the two commonly known methods of computation (Lost Buoyancy vs. Added Weight). It is also important for the student to understand that trim has a large effect on stability as the trim changes the cross curves of stability and therefore  $\overline{GZ}$ .

## C.5.6 Flooding countermeasures

### Training, drills and maintenance

A damaged ship, apart from its structural safety and its subdivision design, is highly dependent upon the ability and knowledge of its operators to withstand the damage. The analysis of shipping casualties in the past has shown that the human error had been a major contributing factor in many of the tragic accidents. Poor communication and lack of standard procedures have contributed

to the fondering of the *Herald of Free Enterprise* 1987. Unnoticed pre-existing corrosion on board the cruise ship Pacific Star made her vulnerable in bad weather in 2007. The Al Salam Boccacio 98 sank due to blocked scupper pipes. And the Princess of the Stars sank 2008 as she had a number of her ballast tanks left empty when it capsized in a severe storm. All these casualties could have been prevented by the ship's crew themselves, i.e. without modifying the ship's hull. It is therefore essential that the ship-specific ISM manual on board addresses all the issues of damage survivability such as regular drills and training of damage scenarios. A maintenance program or maintenance record file has to be in place for ensuring that all facilities and tools are operational. Only on trial and in an emergency the deficiencies in communication and skills will be noticeable. Some ship's crew lack knowledge of their own ship and could not find the location of an incident, let alone take effective action. The minimum set of preparedness for damage cases is:

1. ISM action plan for the damage case
2. Regular drills on damage cases (filed)
3. On-board Officer training (loading computer + damage software)
4. Maintenance plan (scupper functionality, cross-flooding valve operation etc.)
5. Training for all crew members on watertight integrity
6. Training for all crew members on closing all watertight doors, ramps and bulkheads
7. Sounding devices and locations
8. Officer training on the damage stability documentation on board
9. Tank operations and means of transferring damage water

### **Nautical manoeuvres**

A ship might have been damaged below or above the waterline which may cause water ingress below or above the bulkhead deck. It is crucial to identify whether

a ship can be trimmed and heeled in such a way as to avoid or minimize the amount of water flooding in. Depending on the sea state such measures may in itself be sufficient to resume the voyage to the next port. However, if a ship has been damaged in adverse weather conditions such measures could deteriorate the situation even further. A constant exchange of water through a damaged cargo hold or tank can be safer than an gradual piling up of water layers above the bulkhead deck. The quickest solutions to minimize the amount of water entering a ship are changes of course and speed. In most of the cases a considerable reduction of speed is of utmost importance. If the distance to the next port of refuge or shelter from ashore is not a viable option, an appropriate heading should be chosen as to minimize the inflow of water.

### **Tank operations**

A more time-consuming but very effective measure to keep a ship upright or in a heeling position which minimizes the water inflow are tank operations. A vessel may transfer fluids from one tank to another or simply discharges the content outboard. Some valves might be only operable manually and in case of flooding only accessible for a limited period of time. In such cases a quick decision is to be made whether or not the crew shall attempt to operate such valves manually while there is sufficient time to do so.

### **Leak defence methods**

Many ships these days have very limited capabilities to secure a major hull penetration. However, a few techniques might be applied by the crew in case the ship is damaged. It has been proven useful to apply a tarpaulin from the outer hull to defend a leakage as the most effective method. Instructors are advised to emphasize the physical limits of people when engaged in damage control activities. Crews should not be put at risk when requested to secure a leakage. Such work is physically very demanding and only small leakages can be successfully sealed if easily accessible.

A number of pump operations may reduce the flow of damage water by raising the ship on one side or by trimming the ship. A ship should have a specialized squad for damage control activities. Crews which are part of this squad

should be able to undertake quickly and confidently soundings, apply damage control material and tools, communicate with the ship's bridge using the right terminology and be familiar with the watertight integrity of the ship. It is of utmost importance for crews to know their ship. Regular drills with alternating locations of the assumed damage helps to familiarize the crew with their ship. Drills are also an effective indicator for any deficiencies in the crews conduct and knowledge.

## **C.6 Part E: Guidance on the implementation of model courses**

*Note:* The IMO Secretariat developed Guidelines on the Implementation of model courses which can be found as Appendix to other IMO Model Courses, e.g. IMO Model Course 3.19, of the recent past. These guidelines should be attached to this course as well but are not course specific and thus omitted here.



# Anhang D

## Questionnaire

### D.1 Damage stability Questionnaire

This questionnaire forms the basis for the development of an IMO Model Course „Damage Stability and Survivability“. The aim is to detect knowledge gaps which would be addressed in the model course. The questionnaire is anonymous and will not be forwarded to any third party. However, the statistical analysis may be made public at a later stage. It is developed for ship masters and chief officers as the responsible persons on board in a damage case.

Please check the boxes as applicable.

On which type of vessel have you sailed during your career?

---

- General cargo
  - Container (incl. CONBULK, container feeder)
  - RoRo (excl. RoPax, incl. LoRo)
  - RoPax
  - Passenger
  - Tanker
  - Bulk carrier
  - Heavy lift
  - Multipurpose
  - Special (cable-layer, dredger, tug, SAR etc.)
- 

Please indicate your rank on your last ship(s)?

---

- Captain
  - C/O (incl. staff captain)
  - 2nd Off.
  - Other Junior officer
  - rating
  - work returner
- 

Please state how long you have been sailing as deck officer:

Approximately ..... years.

My age is ..... years.

### **D.1.1 Subdivision and other shipbuilding measures to mitigate the adverse effects of a damaged ship**

Question 1:

How would you define a 2-compartment ship?

- a) A 2-compartment ship must be able to withstand the flooding of two adjacent main compartments.
- b) A 2-compartment ship must be able to withstand the flooding of two main compartments.
- c) A 2-compartment ship must be able to withstand the flooding of all possible damages as long as these damages leave two main compartments intact.
- d) I don't know

Question 2:

Is a 1-compartment ship non-compliant if it does not sustain a bulkhead-damage which separates two main compartments?

- a) It is not compliant as it must sustain the damage of a bulkhead without flooding two compartments.
- b) It is still compliant but unfortunate.
- c) That depends upon the location of the bulkhead as only certain bulkheads are able to prevent the flooding of 2 compartments (e.g. engine-room bulkhead).
- d) I don't know

Question 3:

In order to limit the consequences for a damaged ship cross-flooding valves are fitted. What is their main purpose?

- a) These valves lead to the ship's hull, so that the water of a flooded compartment can flow outboard.

- b) The valves are located on the ship's hull and are designed to let seawater in to reduce a list.
- c) Cross-flooding valves link two tanks or compartments in order to reduce the list.
- d) I don't know

Question 4:

As per SOLAS '90 watertight subdivision bulkheads shall be capable of supporting at least

- a) the pressure due to a head of water as high as the entire compartment.
- b) the pressure due to a head of water up to the margin line including the dynamic portion caused by the free surface moment.
- c) the pressure due to a head of water up to the margin line, i.e. up to 76mm below the the bulkhead deck.
- d) I don't know

*Note:* Since 2009 the text is as follows: In all cases, watertight subdivision bulkheads shall be capable of supporting at least the pressure due to a head of water up to the bulkhead deck.

### D.1.2 On-board measures to assess a ships' stability and survivability

Question 5:

Please select an action to be taken if your ship has a negative  $\overline{GM}$  and is heavily inclined (ship intact).

- a) Ballast the DB-tank which is on the inclination side to lower the  $\overline{GM}$ .
- b) Reduce the list by ballasting the DB-tanks opposite of the inclined side.
- c) It does not matter as the stability of the ship will be increased in any case, either by ballasting the inclined or the opposite side.
- d) I don't know

Question 6:

You have detected a leakage on the ship's hull. In which case do you need to immediately evacuate the ship when progressive flooding of the adjacent compartments can not be prevented?

- a) When the leakage area is  $\geq 0.5m^2$
- b) When the leakage area is  $\geq 0.15m^2$
- c) When the leakage area is  $\geq 1.5m^2$
- d) I don't know

Question 7:

Does the volume of the floodwater entering the ship over a period of time depend upon the depth of the damage below the waterline, and is this considered when calculating the volume of floodwater entering the ship?

- a) yes it does, but it is negligible and therefore not considered in the calculation.
- b) yes.
- c) No.

- d) I don't know

Question 8:

What methods of calculating the damaged ships' stability are scientifically recognized?

- a) The methods of „added buoyancy“ and „lost weight“
- b) The methods of „lost buoyancy“ and „added weight“
- c) The methods of „constant loading“ and „total buoyancy“
- d) I don't know

Question 9:

Why might intermediate stages of flooding be more dangerous to a ship than the final stage of flooding?

- a) Because of the free surface moment effects and subsequent reduction of GM.
- b) Because of the dynamic alteration of the ship's floating state which must impact the ability to properly launch life saving appliances.
- c) Because during flooding the water intake has an adverse dynamic effect which causes extra pressure on the compartment walls („hammering“).
- d) I don't know

Question 10:

The  $\overline{BM}$  ( $BM = \frac{I}{V}$ ) of the damaged ship is compared to the  $\overline{BM}$  of the intact ship

- a) greater
- b) smaller
- c) the same (no change)
- d) I don't know

Question 11:

What is the „permeability“ of a compartment?

- a) Permeability of a damaged compartment is the amount of water flooding the adjacent compartments in a 1 hour-period.
- b) Permeability of a space is the proportion of the immersed volume of that space which can be occupied by water.
- c) Permeability describes the amount of water in a compartment and thus, inter alia, the value of the free surface moment. Permeability is only applicable to compartments containing fluids.
- d) I don't know

Question 12:

You want to calculate the new draught of your damaged ship by the *method of constant displacement*. Assume a midship damage on your ship which was floating on an even keel before the damage. The damaged compartment is not entirely flooded. the calculation of the draught increase would be:

- a)  $\Delta T = \frac{\text{lost buoyancy}}{\text{damaged water-plane area}}$
- b)  $\Delta T = \frac{\text{lost weight}}{\text{intactwater-plane area}}$
- c)  $\Delta T = \frac{\text{gained buoyancy}}{\text{intactwater-plane area}}$
- d) I don't know

Question 13:

One of the difficulties of calculating the final stage of flooding of a ship (ignoring the cases when the damaged compartment is entirely below the intact waterline) is that the exact amount of floodwater is not known. It is therefore sufficiently correct for the master to

- a) calculate the amount of floodwater up to the intact waterline because draught calculated by this method in the final stage of flooding does not differ significantly from the exact mathematical solution.
- b) calculate the amount of floodwater under the assumption that the entire damaged compartment/space is flooded. Making that assumption considers an extra safety margin.

- c) calculate the final stage of flooding by using the 2 methods as described above and monitor the results through the mathematical method of iteration until the draughts do not change noticeably.
- d) I don't know

### **D.1.3 Damage control measures**

Question 14:

What method is more effective to mitigate floodwater entering a ship?

- a) securing the outer hull with damage control kit
- b) securing the inner hull with damage control kit
- c) it depends upon the training, skill and physical fitness of the damage control crew. If they are able to withstand the physical and psychological pressure securing the inner hull is generally more efficient.
- d) I don't know

Question 15:

To prevent your ship from capsizing or foundering you should

- a) before initiating other measures first try to seal the hull and prevent any further water intake
- b) deballast all tanks possible in order to get extra buoyancy
- c) prevent progressive flooding to adjacent compartments
- d) I don't know



## D.2 Fragebogen

Dieser Fragebogen dient als Grundlage zur Erarbeitung des Entwurfs zu einem IMO-Modell-Kurs „Leckstabilität und Überleben im Leckfall“. Das Hauptziel ist dabei die Identifizierung von Wissenslücken bei der Schiffsleitung, insbesondere aber Kapitänen und Ersten Offizieren, da diese im Leckfall die einzuleitenden Notfallmaßnahmen beschließen.

Dieser Fragebogen setzt voraus, daß die Befragten über ein fundiertes Grundlagenwissen über Schiffsstabilität und Schwimmfähigkeit verfügen. Die Befragung bleibt anonym und wird nicht an Dritte weitergeleitet, sondern lediglich statistisch ausgewertet. Es werden weder Firmennamen noch Mitarbeiternamen gesammelt, gespeichert oder weitergegeben.

Bitte kreuzen Sie die richtige Antwort an:

Auf welchen Schiffstypen sind Sie im Verlauf Ihrer seemännischen Karriere als Nautiker gefahren?

- 
- Stückgut
  - Container (inkl. CONBULK, container feeder)
  - RoRo (exkl.RoPax, inkl. LoRo)
  - RoPax
  - Passagierschiff
  - Tanker
  - Schüttgut
  - Schwergut
  - Multipurpose
  - Spezialschiff (Tonnenleger, Kabelleger, Bagger, Schlepper, Seenotkreuzer etc.)
-

Bitte geben Sie den Rang an, den Sie derzeit oder innerhalb der letzten Zeit vorwiegend innehatten?

- 
- Kapitän
  - Erster Offizier (Staff captain)
  - 2.Offizier
  - Nautischer Wachoffizier
  - Andere
  - Berufswiedereinsteiger als Nautiker
- 

Bitte geben Sie an, über wieviele Jahre Berufserfahrung als Nautiker Sie verfügen:

Etwa .....Jahre.

Ich bin ..... Jahre alt.

### D.2.1 Schiffbauliche Maßnahmen zur Lecksicherheit

Frage 1:

Was ist ein 2-Abteilungsschiff?

- a) Ein 2-Abteilungsschiff muß die Beschädigung von zwei benachbarten wasserdichten Abteilungen überstehen können.
- b) Ein 2-Abteilungsschiff muß die Beschädigung von zwei wasserdichten Abteilungen überstehen können.
- c) Ein 2-Abteilungsschiff kann alle Beschädigungen überstehen, solange 2 wasserdichte Abteilungen intakt bleiben.
- d) Das weiß ich nicht.

Frage 2:

Ist ein 1-Abteilungsschiff nicht regelkonform, wenn es genau am wasserdichten Schott getroffen wird und durch die Flutung von 2 Abteilungen sinkt?

- a) Es ist nicht regelkonform, da selbst bei Beschädigung eines wasserdichten Schottes in keinem Falle 2 Abteilungen gleichzeitig beschädigt werden dürfen.
- b) Es ist regelkonform, hat aber das Pech, genau an dieser Stelle getroffen zu werden.
- c) Das hängt von der Lage der Beschädigung ab, da nur bestimmte Schotten die Flutung von 2 Abteilungen verhindern können (z.B. Maschinenraumschott).
- d) Das weiß ich nicht.

Frage 3:

Um die Lage eines Schiffes stabil zu halten, sind an Bord so genannte Querflutungskanäle oder cross flooding valves installiert. Was ist deren hauptsächliche Aufgabe?

- a) Querflutungskanäle sind Überlaufleitungen nach außenbords, die verhindern, daß Tanks überlaufen und auf der entsprechenden Seite eine noch größere Schlagseite verursachen.
- b) Querflutungskanäle sind Außenbordsventile, die geöffnet werden können, um Wasser von außenbord einzulassen, um eine Schlagseite auszugleichen.

- c) Querflutungskanäle verbinden zwei sich gegenüberliegende Tanks, so daß diese sich gegenseitig ausbalancieren können.
- d) Das weiß ich nicht.

Frage 4:

Wasserdichte Abteilungsschotte nach SOLAS'90<sup>1</sup> müssen bei einer Flutung *mindestens*

- a) dem Druck einer Wassersäule bis zur vollständigen Flutung der Abteilung standhalten können
- b) dem Druck einer Wassersäule bis zur Tauchgrenze, inklusive des dynamischen Anteils, verursacht durch freie Flüssigkeitsoberflächen
- c) dem Druck einer Wassersäule bis zur Tauchgrenze, also 76 Millimeter unterhalb Oberkante Schottendeck, standhalten
- d) Das weiß ich nicht

---

<sup>1</sup>*Bemerkung:* Seit 2009 lautet der Text so: In allen Fällen müssen wasserdichte Abteilungsschotte in der Lage sein, dem Druck einer Wassersäule bis zur Höhe des Schottendecks standzuhalten.

## D.2.2 Bewertung der Stabilität und Schwimmfähigkeit an Bord

Frage 5:

Bitte geben Sie an, welche der folgenden Maßnahmen Sie im Falle eines negativen GM-Wertes und einer starken Schlagseite ergreifen würden (Schiff intakt).

- a) Zunächst würde ich die DB-tanks auf der tiefer eingetauchten Seite fluten um das GM zu erhöhen.
- b) Als erstes gilt es die Schlagseite zu verringern. Deshalb flute ich die gegenüberliegenden DB-tanks.
- c) Ich flute irgendeinen DB-tank, egal welche Seite. Es kommt lediglich darauf an, erst einmal das GM zu erhöhen.
- d) Das weiß ich nicht.

Frage 6:

Ihr Schiff ist beschädigt und Wasser dringt ein. Ab welcher Leckgröße beginnen Sie mit der sofortigen Evakuierung, wenn die fortschreitende Flutung der benachbarten Abteilungen nicht verhindert werden kann?

- a) Wenn die Leckgröße  $\geq 0.5m^2$  ist
- b) Wenn die Leckgröße  $\geq 0.15m^2$  ist
- c) Wenn die Leckgröße  $\geq 1.5m^2$  ist
- d) Das weiß ich nicht

Frage 7:

Hängt die Menge des einströmenden Leckwassers (Einströmvolumen) bei einem Leck unterhalb der Wasserlinie (WL) auch von der Tiefe des Lecks in Bezug zur WL ab und wird dies bei der Berechnung der Einströmmenge berücksichtigt?

- a) Ja, aber vernachlässigbar klein und deshalb nicht berücksichtigt
- b) Ja
- c) Nein
- d) Das weiß ich nicht

Frage 8:

Welche Methoden der Leckrechnung sind gebräuchlich und wissenschaftlich anerkannt?

- a) Die Methoden des „hinzukommenden Auftriebs“ und des „verlorenen Gewichts“
- b) Die Methoden des „verlorenen Auftriebs“ und des „hinzukommenden Gewichts“
- c) Die Methoden des „konstanten Ladens“ und des „totalen Auftriebs“
- d) Das weiß ich nicht

Frage 9:

Warum können die Zwischenflutungszustände im Leckfall eine größere Gefahr für das Schiff bedeuten als der Endzustand der Flutung?

- a) Wegend der freien Oberflächen und der damit verbundenen GM-Reduktion
- b) Weil in der Zwischenflutungsphase wegen der dynamischen Veränderungen die Rettungsmittel nicht klargemacht werden können
- c) Während der Zwischenflutungszustände sind durch die dynamische Wasseraufnahme die Pressungen an den Abteilungswände besonders hoch („hammering“)
- d) Das weiß ich nicht

Frage 10:

Das BM ( $BM = \frac{I}{V}$ ) des lecken Schiffes ist im Vergleich zum BM des intakten Schiffes :

- a) größer
- b) kleiner
- c) gleichbleibend
- d) Das weiß ich nicht

Frage 11:

Was bezeichnet man mit Permeabilität oder dem Flutbarkeitsfaktor einer Abteilung?

- a) Der Flutbarkeitsfaktor gibt an, welche Menge Wasser innerhalb einer Stunde zu einer benachbarten Abteilung progressiv überflutet
- b) Der Flutbarkeitsfaktor ist der Anteil des Raumes, der von Leckwasser eingenommen werden kann.

## D.2 Fragebogen

---

- c) Der Flutbarkeitsfaktor wird nur für Tanks angegeben und bezeichnet den Anteil der Wassermenge, der zum Effekt der Freien Oberflächen beiträgt
- d) Das weiß ich nicht.

### Frage 12:

Sie wollen den neuen Tiefgang Ihres Schiffes im Leckfall nach der Methode der konstanten Verdrängung berechnen. Es sei eine Mittschiffsbeschädigung bei ebenen Kiel angenommen. Die beschädigte Abteilung ist im Endzustand des Flutungsprozesses nicht vollständig geflutet. Dann berechnet sich die Tiefgangszunahme wie folgt:

- a)  $\Delta T = \frac{\text{verlorenes Auftriebsvolumen}}{\text{beschädigte Wasserlinienflaeche}}$
- b)  $\Delta T = \frac{\text{wegfallendes Gewicht}}{\text{Intaktwasserlinienflaeche}}$
- c)  $\Delta T = \frac{\text{hinzukommendes Auftriebsvolumen}}{\text{Intaktwasserlinienflaeche}}$
- d) Das weiß ich nicht

### Frage 13:

Eine der Schwierigkeiten den Wassereinbruch direkt zu berechnen ist die, daß die Menge des einströmenden Leckwassers nicht sofort bekannt ist (abgesehen von den Fällen bei denen die lecke Abteilung unterhalb der Intaktwasserlinie liegt). Eine hinreichend genaue Methode ist:

- a) die Berechnung der Leckwassermasse bis zur Intaktwasserlinie, da sich die Tiefgänge im Endzustand der Flutung in den meisten Fällen nur gering von dieser Annahme unterscheiden.
- b) die Berechnung der Leckwassermasse unter Annahme der vollständigen Flutung des lecken Raumes/Abteilung. Mit dieser Annahme wird eine zusätzliche Sicherheitsmargin berücksichtigt.
- c) die Berechnung nach einer der o.g. Leckrechnungsmethoden mit wiederholten Iterationsschritten die so lange wiederholt werden, bis sich die Tiefgänge nicht mehr merklich ändern
- d) Das weiß ich nicht

### D.2.3 Maßnahmen zur Leckabwehr

Frage 14:

Welches ist die effektivste Art der Lecksicherung (Verkeilung der Leckfläche)?

- a) die Leckabwehr von innen
- b) die Leckabwehr von außen
- c) das hängt von der Erfahrung und physischen und psychischen Belastbarkeit der Leckbekämpfer ab; bei hoher Belastbarkeit der Besatzung ist demnach ein Angriff von innen in der Regel am effektivsten
- d) Das weiß ich nicht

Frage 15:

Um Ihr Schiff im Leckfall vor dem Kentern oder dem Sinken durch parallele Tiefertauchung zu bewahren, sollte Sie:

- a) noch vor anderen Maßnahmen das Leck erst abdichten und den Raum lenzen
- b) alle pumpbaren Räume, die flüssige Stoffe enthalten leerpumpen und so extra Reserveauftrieb schaffen
- c) mit allen Mitteln versuchen, die progressive Flutung auf benachbarte Abteilungen zu verhindern
- d) Das weiß ich nicht



## D.3 Auswertung

Häufigkeitstabellen

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	7	53.8
Falsch	5	38.5
Weiß ich nicht	1	7.7
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.1: Was ist ein 2-Abteilungsschiff?

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	2	15.4
Falsch	10	76.9
Weiß ich nicht	1	7.7
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.2: Ist ein 1-Abteilungsschiff nicht regelkonform, wenn es genau am am wasserdichten Schott getroffen wird und durch die Flutung von 2 Abteilungen sinkt?

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	11	84.6
Falsch	2	15.4
Weiß ich nicht	0	0
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.3: Um die Lage eines Schiffes stabil zu halten, sind an Bord so genannte Querflutungskanäle oder cross flooding valves installiert. Was ist deren hauptsächliche Aufgabe?

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	5	38.8
Falsch	8	61.5
Weiß ich nicht	0	0
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.4: Wasserdichte Abteilungsschotte nach SOLAS'90 müssen bei einer Flutung mindestens...

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	7	53.8
Falsch	5	38.5
Weiß ich nicht	1	7.7
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.5: Bitte geben Sie an, welche der folgenden Maßnahmen Sie im Falle eines negativen GM-Wertes und einer starken Schlagseite ergreifen würden (Schiff intakt).

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	2	15.4
Falsch	6	46.2
Weiß ich nicht	5	38.5
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.6: Ihr Schiff ist beschädigt und Wasser dringt ein. Ab welcher Leckgröße beginnen Sie mit der sofortigen Evakuierung, wenn die fortschreitende Flutung der benachbarten Abteilungen nicht verhindert werden kann?

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	5	38.5
Falsch	6	46.2
Weiß ich nicht	1	7.7
Keine Angabe	1	7.7
total	13	100

Tabelle D.7: Hängt die Menge des einströmenden Leckwassers (Einströmvolumen) bei einem Leck unterhalb der Wasserlinie (WL) auch von der Tiefe des Lecks in Bezug zur WL ab und wird dies bei der Berechnung der Einströmmenge berücksichtigt?

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	7	53.8
Falsch	4	30.8
Weiß ich nicht	2	15.4
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.8: Welche Methoden der Leckrechnung sind gebräuchlich und wissenschaftlich anerkannt?

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	10	76.9
Falsch	1	7.7
Weiß ich nicht	2	15.4
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.9: Warum können die Zwischenflutungszustände im Leckfall eine größere Gefahr für das Schiff bedeuten als der Endzustand der Flutung?

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	6	46.2
Falsch	5	38.5
Weiß ich nicht	2	15.4
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.10: Das BM (BM = I/V) des lecken Schiffes ist im Vergleich zum BM des intakten Schiffes :

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	10	76.9
Falsch	1	7.7
Weiß ich nicht	1	7.7
Keine Angabe	1	7.7
total	13	100

Tabelle D.11: Was bezeichnet man mit Permeabilität oder dem Flutbarkeitsfaktor einer Abteilung?

### D.3 Auswertung

---

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	8	61.5
Falsch	4	30.8
Weiß ich nicht	1	7.7
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.12: Sie wollen den neuen Tiefgang Ihres Schiffes im Leckfall nach der Methode der konstanten Verdrängung berechnen. Es sei eine Mittschiffsbeschädigung bei ebenen Kiel angenommen. Die beschädigte Abteilung ist im Endzustand des Flutungsprozesses nicht vollständig geflutet. Dann berechnet sich die Tiefgangszunahme wie folgt:

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	3	23.1
Falsch	9	69.2
Weiß ich nicht	1	7.7
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.13: Eine der Schwierigkeiten den Wassereinbruch direkt zu berechnen ist die, daß die Menge des einströmenden Leckwassers nicht sofort bekannt ist (abgesehen von den Fällen bei denen die lecke Abteilung unterhalb der Intaktwasserlinie liegt). Eine hinreichend genaue Methode ist:...

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	6	46.2
Falsch	6	46.2
Weiß ich nicht	1	7.7
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.14: Welches ist die effektivste Art der Lecksicherung (Verkeilung der Leckfläche)?

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Richtig	5	38.5
Falsch	8	61.5
Weiß ich nicht	0	0
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.15: Um Ihr Schiff im Leckfall vor dem Kentern oder dem Sinken durch parallele Tiefertauchung zu bewahren, sollte Sie:

Antwort	Häufigkeit	Anteil [%]
Kapitän	5	38.5
Erster Offizier	7	53.8
Andere	1	7.7
Keine Angabe	0	0
total	13	100

Tabelle D.16: Bordfunktionen der Befragten

# Anhang E

## Damage Card

**ANNEX 5**

**DAMAGE CARDS AND INTACT STABILITY CASUALTY RECORDS**

Card No ..... Number of files to this casualty .....  
 (If more than one damage, please complete another sheet with description of that penetration)

Date and place° of casualty (category and details) .....  
 (harbour, quay wall ; river, channel ; coastal waters ; open sea ; other)

Nature of casualty (category and details) .....  
 (capsize ; collision ; fire/explosion ; grounding ; heavy weather ; loss ; other)

Nature of damage (category and details) .....  
 (dent/deformation ; breakage/crevice ; strong deformation ; other)

Damaged Ship.

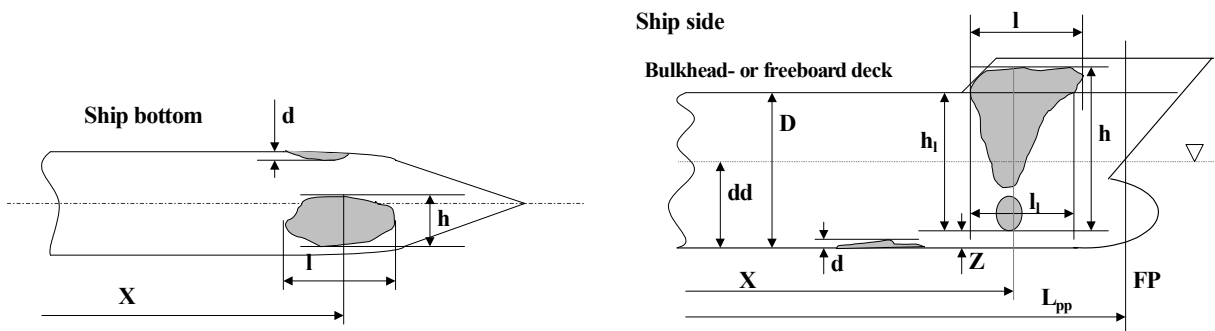
Ship Name° ..... IMO No. ....

Type\* (category and details) .....  
 (Bulk Carrier ; Gen. Cargo ; Container ; Fishing ; Passenger + Pass/Cargo ; RoRo, Car Carrier, Ferry, Car Ferry ; Service Ship + Specialised ; Tanker ; other)

Length between perpendiculars\*  $L_{pp}$  = .....  $L_{oa}$  = ..... Moulded breadth\*  $B$  = .....

Moulded depth\*  $D$  = .....

Draught before damage: amidships  $d_i$  = ..... (or fore  $d_i$  = ..... aft  $d_i$  = .....)



Dimensions and location of damage (see sketches above).

Ship side ..... Damage position .....  
 (portside ; starboard ; bottom) (fore ship ; afterbody ; cargohold ; rudder ; engineroom ; other)

Position (height) with reference to WL ..... Damage type (position No) .....  
 (damage extends: 1=below and above; 2=above but not below; 3= below but not above; 4= within - the physical limits of the ship structure)

Distance from AP to centre of damage\*  $X$  = .....

Distance from base line to the lower point of damage\*  $Z$  = .....

Length of  $l$  = ..... Height of  $h$  = ..... Penetration  $d$  = .....

damage\*  $l_1$  = ..... damage\*  $h_1$  = ..... of damage\*  $d_1$  = .....

$dd_{mid}$  = .....  $dd_{fore}$  = .....  $dd_{aft}$  = ..... (draughts after damage)

$dd_{mid\ calc}$  = .....

Hole in ship:  Yes  No

Struck vessel:  Yes  No

Ship to ship collision:  Yes  No

Striking vessel:  Yes  No

Notes: .....

(If damage extends above bulkhead/freeboard deck, additional dimensions should be given for the part located below this deck, these being marked with suffix “?”)





## NOTES

1. Damage cards should be completed for decked, steel seagoing ships 25 m in length and over, for all breaches of the hull causing flooding of any compartment (collisions, stranding, etc.)
2. The term “damaged ship” refers to the ship for which this card is being completed.
3. A sketch showing location of damage and of main transverse bulkheads would be desirable.
4. Depth D should be measured to the bulkhead deck in passenger ships and to the freeboard deck in non-passenger ships or to the uppermost completed deck, if bulkhead or freeboard deck are not specified.
5. In the case of collision with another ship, it is desirable to fill in damage cards for both ships.
6. All measurements should be given in metres.
7. Data marked with an asterisk (\*) are the most important.
8. The provision of data marked (°) is optional.