



**Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Fakultät Life Sciences  
Department Medizintechnik**

**Sicherheitsrelevante Maßnahmen im Land– und Schiffbau  
Evakuierungsbetrachtungen einer schwimmenden  
Versammlungsstätte**

Bachelorarbeit  
im Studiengang Gefahrenabwehr

vorgelegt von

**Jonas Tittelbach  
Matrikel: 2021154**

Hamburg  
27. Februar 2014

<b>Erstprüfer:</b>	Dr.-Ing. Peer Rechenbach	HAW Hamburg
<b>Zweitprüfer:</b>	Dr. Daniel, Povel	DNV GL

Die Abschlussarbeit wurde betreut und erstellt in Zusammenarbeit mit DNV GL

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	1
Tabellenverzeichnis.....	2
Abkürzungsverzeichnis.....	3
1 Einleitung.....	4
2 Methodik und Aufbau .....	5
3 Grundlagen für die Evakuierung der schwimmenden Versammlungsstätte .....	7
3.1 International Maritime Organization (IMO).....	7
3.1.1 International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) .....	8
3.1.2 Codes, Resolutionen und Rundschreiben der IMO .....	9
3.2 ARGEBAU.....	10
3.2.1 Musterbauordnung (MBO).....	10
3.2.2 Muster-Versammlungsstättenverordnung .....	10
4 Einführung in die Evakuierungsanalyse.....	11
4.1 Die verschiedenen Evakuierungsmodelle .....	11
4.2 Das Simulationsprogramm AENEAS .....	13
4.2.1 Grundlegende Funktionsweise.....	13
4.2.2 Demographische Modellierungsparameter .....	16
4.2.3 Ergebnisse und Auswertung der Simulation .....	18
5 Gegenüberstellung der Regelungen aus Landbau-und Schiffbau .....	21
5.1 Schutzziele.....	21
5.2 Rettungswege.....	22
5.3 Bemessung der Rettungswege.....	23
5.4 Treppen und Treppenräume .....	25
5.5 Türen .....	26
5.6 Sicherheitsbeleuchtung, Sicherheitszeichen und Notstromversorgung.....	27
5.7 Bestuhlung und Umwehrungen .....	28
5.8 Tabellarische Zusammenfassung .....	30

6	Modellierung der schwimmenden Versammlungsstätte.....	32
6.1	Grundlegende Annahmen und Maße .....	32
6.2	Bauliche Planung und Ausstattung .....	33
6.2.1	Nutzungsart unabhängige Planung .....	33
6.2.2	Nutzungsart 1 .....	36
6.2.3	Nutzungsart 2 .....	37
6.3	Tabellarische Zusammenfassung .....	38
7	Annahmen der Evakuierungssimulation .....	40
7.1	Allgemeine Annahmen.....	40
7.2	Personen .....	40
7.2.1	Demographische Parameter .....	40
7.2.2	Personenverteilung .....	40
7.3	Geometrie .....	41
7.4	Routen .....	42
7.5	Szenarien .....	43
8	Simulationsergebnisse .....	46
8.1	Szenario 1 .....	46
8.1.1	Qualität und Dauer der Evakuierung.....	46
8.1.2	Identifikation von möglichen Stauungen .....	48
8.2	Szenario 2 .....	49
8.2.1	Qualität und Dauer der Evakuierung.....	49
8.2.2	Identifikation von möglichen Stauungen .....	51
8.3	Szenario 3 .....	52
8.3.1	Qualität und Dauer der Evakuierung.....	52
8.3.2	Identifikation von möglichen Stauungen .....	54
8.4	Szenario 4 .....	54
8.4.1	Qualität und Dauer der Evakuierung.....	54
8.4.2	Identifikation von möglichen Stauungen .....	56
8.5	Szenario 5 .....	57

8.5.1	Qualität und Dauer der Evakuierung.....	57
8.5.2	Identifikation von möglichen Stauungen .....	58
8.6	Szenario 6.....	59
8.6.1	Qualität und Dauer der Evakuierung.....	59
8.6.2	Identifikation von möglichen Stauungen .....	62
9	Auswertung .....	63
10	Fazit .....	67
11	Literaturverzeichnis.....	69
	Eigenständigkeitserklärung.....	71

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verband von Schubleichtern (3) .....	4
Abbildung 2: Individueller Evakuierungsprozess (12 S. 257) .....	12
Abbildung 3: Diskretisierung des Grundrisses (13) .....	13
Abbildung 4: Steuern des Potentials durch Routen (13).....	14
Abbildung 5: Beispielhafte Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe .....	19
Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung der Dichteberechnung.....	19
Abbildung 7: Berechnung der Gesamtevakuierungszeit (8 S. 7).....	20
Abbildung 8: Außenansicht der schwimmenden Versammlungsstätte .....	33
Abbildung 9: Oberdeck der schwimmenden Versammlungsstätte .....	34
Abbildung 10: Unterdeck der schwimmenden Versammlungsstätte .....	34
Abbildung 11: Nutzungsart 1 der schwimmenden Versammlungsstätte .....	37
Abbildung 12: Nutzungsart 2 der schwimmenden Versammlungsstätte .....	38
Abbildung 13: Nutzungsart 1 Unterdeck (AENEAS Geometrie) .....	42
Abbildung 14: Nutzungsart 2 Unterdeck (AENEAS Geometrie) .....	42
Abbildung 15: Oberdeck (AENEAS Geometrie) .....	42
Abbildung 16: Fluchtwege der schwimmenden Versammlungsstätte .....	43
Abbildung 17: Brandorte Nutzungsart 1 .....	43
Abbildung 18: Brandorte Nutzungsart 2 .....	43
Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe (Szenario 1) .....	46
Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe (Szenario 2) .....	49
Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe (Szenario 3) .....	52
Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe (Szenario 4) .....	55
Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe (Szenario 5) .....	57
Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe (Szenario 6) .....	60
Abbildung 25: Anteile der Gehgeschwindigkeit gemessen an der Gesamtevakuierungszeit eines einzelnen Agenten [s].....	64
Abbildung 26: Anteile der Personendichten gemessen an der Gesamtevakuierungszeit eines einzelnen Agenten [s].....	65

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Parameter der Agenten .....	15
Tabelle 2: Demographische Zusammensetzung (8 S. 34) .....	16
Tabelle 3: Gehgeschwindigkeit auf flachen Untergrund (8 S. 36).....	17
Tabelle 4: Gehgeschwindigkeit auf Treppen (8 S. 37) .....	17
Tabelle 5: Zusammenfassung der baulichen Maßnahmen aus Land –und Schiffbau .....	30
Tabelle 6: Personenverteilung Nutzungsart 1 .....	41
Tabelle 7: Personenverteilung Nutzungsart 2.....	41
Tabelle 8: Simulierte Evakuierungszeit (Szenario 1) .....	46
Tabelle 9: Zeitlicher Verlauf des 95%-Durchlaufes (Szenario 1) .....	47
Tabelle 10: Mögliche Staubildung am Ober- und Unterdeck (Szenario 1).....	48
Tabelle 11: Simulierte Evakuierungszeit (Szenario 2) .....	49
Tabelle 12: Zeitlicher Verlauf des 95%-Durchlaufes (Szenario 2) .....	50
Tabelle 13: Mögliche Staubildung am Ober- und Unterdeck (Szenario 2).....	51
Tabelle 14: Simulierte Evakuierungszeit (Szenario 3) .....	52
Tabelle 15: Zeitlicher Verlauf des 95%-Durchlaufes (Szenario 3) .....	53
Tabelle 16: Mögliche Staubildung am Ober- und Unterdeck (Szenario 3).....	54
Tabelle 17: Simulierte Evakuierungszeit für den 95%-Durchlauf (Szenario 4).....	54
Tabelle 18: Zeitlicher Verlauf des 95%-Durchlaufes (Szenario 4) .....	55
Tabelle 19: Mögliche Staubildung am Ober- und Unterdeck (Szenario 4).....	56
Tabelle 20: Simulierte Evakuierungszeit für den 95%-Durchlauf (Szenario 5).....	57
Tabelle 21: Zeitlicher Verlauf des 95%-Durchlaufes (Szenario 5) .....	58
Tabelle 22: Mögliche Staubildung am Ober- und Unterdeck (Szenario 5).....	59
Tabelle 23: Simulierte Evakuierungszeit für den 95%-Durchlauf (Szenario 6).....	59
Tabelle 24: Zeitlicher Verlauf des 95%-Durchlaufes (Szenario 6) .....	60
Tabelle 25: Mögliche Staubildung am Ober- und Unterdeck (Szenario 6).....	62
Tabelle 26: RSET aller Szenarien ohne Sicherheitsfaktor .....	65
Tabelle 27: RSET aller Szenarien mit Sicherheitsfaktor und zugeordneten Brandorten.....	66
Tabelle 28: Gegenüberstellung der RSET des Unterdecks und der ASET.....	66

## Abkürzungsverzeichnis

ARGEBAU.....	Arbeitsgemeinschaft der für das Bauwesen zuständigen Minister
ASET.....	<i>Available Safe Egress Time</i>
Circ.....	<i>Circular</i>
DIN.....	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
FSS Code .....	<i>Code for Fire Safety Systems</i>
IMCO.....	<i>Inter Governmental Maritime Consultative Organization</i>
IMO.....	<i>International Maritime Organization</i>
MBO .....	<i>Musterbauordnung</i>
MSC .....	<i>Maritime Safety Committee</i>
MVStättV .....	<i>Muster-Versammlungsstättenverordnung</i>
MVZ .....	<i>Main Vertical Zone</i>
RESET.....	<i>Required Safe Egress Time</i>
roro.....	<i>Roll On Roll Off</i>
SOLAS .....	<i>International Convention for the Safety of Life at Sea</i>

## 1 Einleitung

Thema der vorliegenden Arbeit sind Evakuierungsbetrachtungen einer schwimmenden Versammlungsstätte im Falle eines Brandes. Die Versammlungsstätte ist dabei das Ergebnis des Umbaus eines Schubleichters (s. Abbildung 1), welcher ebenfalls einen Schwerpunkt dieser Arbeit darstellt. Problematisch hierbei ist die nicht eindeutige Einordnung in die Regelwerke des Schiff- und Landbaus. Der Schubleichter ist ein schwimmfähiger Körper, der jedoch keinen eigenen Antrieb besitzt. Daher fällt er nicht in das Anwendungsgebiet des internationalen Schiffbaus (1). In seiner vorgesehenen Nutzung als Versammlungsstätte hat er zwar eine Landverbindung, die über Gangways hergestellt wird, ist jedoch nicht mit dem Erdboden verbunden. Somit fällt er auch nicht in das Anwendungsgebiet des Landbaus (2 S. 5). Aus diesem Grund werden in nachfolgender Arbeit die Ziele und Grundprinzipien dieser Regelwerke analysiert und im Zuge des Umbaus angewendet. Durch eine Evakuierungsanalyse werden im Anschluss die Evakuierungszeiten ermittelt sowie die Qualität der Evakuierung, insbesondere die Stauung, näher untersucht. Zum Ende der Arbeit soll die Frage geklärt sein, ob eine sichere und schnelle Evakuierung im Falle eines Brandes möglich ist.



Abbildung 1: Verband von Schubleichtern (3)

Da die Personensicherheit in der schwimmenden Versammlungsstätte im Brandfall nicht nur von der Planung der Rettungswege und den geometrischen Gegebenheiten abhängt, sondern auch von brandschutztechnischen Maßnahmen, wird diese Arbeit in Kooperation mit Herrn Sebastian Milek erstellt. Herr Milek wird in einer eigenständigen Bachelorarbeit die schwimmende Versammlungsstätte unter den Gesichtspunkten des Brandschutzes näher analysieren und Brandszenarien simulieren, dessen Ergebnisse als Bewertungsgrundlage für die Evakuierungszeiten dienen. Zwischen den Arbeiten wird es folgende Wechselbeziehungen geben:

- Gemeinsame Bewertungsparameter
- Gegenseitiger Austausch von Maßnahmen
- Gegenseitiger Austausch der Ergebnisse aus den Simulationen



## 2 Methodik und Aufbau

Zu Beginn der Arbeit wird es in Kapitel 3 eine kleine Einführung in die Regelungen aus Land- und Schiffbau gegeben. Die Dokumente, die in diesem Kapitel beschrieben werden, bilden die Grundlage für die spätere Gegenüberstellung in Kapitel 5. Im nachfolgenden Kapitel erfolgt eine Einführung in die Evakuierungsanalyse und die verschiedenen Evakuierungsmodelle. Zudem wird auf das Simulationsprogramm AENEAS eingegangen. Hier wird die grundlegende Funktionsweise von AENEAS erklärt und die demographischen Modellierungsparameter näher betrachtet. Weiterhin werden die Ergebnisse, die man durch dieses Simulationsprogramm erhält, näher beschrieben, um so das Verständnis für die spätere Auswertung der Ergebnisse zu verbessern. Wie bereits erwähnt, wird es in Kapitel 5 eine Gegenüberstellung der Regelungen aus Land- und Schiffbau geben. Hier werden die relevanten Regelungen wiedergegeben und anschließend die Grundprinzipien herausgearbeitet, damit der Umbau des Schubleichters „Europa leichter Typ IIa“ zur schwimmenden Versammlungsstätte geplant werden kann. In Kapitel 6 werden die Erkenntnisse aus Kapitel 5 durch den theoretischen Bau der schwimmenden Versammlungsstätte angewendet. Dabei werden grundlegende Annahmen hinsichtlich der Anzahl der Personen und der benötigten Räumlichkeiten für z.B. Toiletten- und Lagerräume getroffen. Zudem werden zwei mögliche Nutzungsarten festgelegt, um so die Auswirkung der Inneneinrichtung auf die Evakuierungsperformance näher untersuchen zu können. Nach Abschluss der Modellierung der schwimmenden Versammlungsstätte wird im nachfolgenden Teil die Evakuierungssimulation durchgeführt. Hierdurch sollen Evakuierungszeiten und mögliche Stauungen, die sich durch die geometrischen Bedingungen ergeben, berechnet bzw. identifiziert werden. Dazu werden zunächst Annahmen hinsichtlich der Personen, Geometrie, Routen und Szenarien getroffen. Ein wichtiger Punkt hierbei sind die Szenarien. Bedingt durch die zwei Nutzungsarten ergeben sich insgesamt sechs Szenarien (pro Nutzungsart drei). Durch diese Szenarien werden mögliche Ausfälle von Treppen bzw. Gangways berücksichtigt und deren Auswirkungen auf den Evakuierungsprozess analysiert. Um eine Aussage darüber treffen zu können, ob eine sichere Nutzung der schwimmenden Versammlungsstätte möglich ist, wird zum einen die Qualität der Evakuierung, insbesondere die Stausituation, näher betrachtet. Zum anderen wird die Required Safe Egress Time (RESET), d.h. die Zeit, die benötigt wird um die Evakuierung durchzuführen, ermittelt. Dabei soll zwischen folgenden zwei Zeiten unterschieden werden:

- Die RSET für die gesamte Evakuierung, d.h. die Zeit die benötigt wird um die Menschen aus dem Unterdeck zu den öffentlichen Verkehrsflächen zu evakuieren.
- Die RSET für die Evakuierung aus dem Unterdeck, d.h. die Zeit die benötigt wird um das Unterdeck zu evakuieren.

Die Zeit die für den gesamten Evakuierungsprozess benötigt wird, spielt für die Zugänglichkeit der Angriffswege der Feuerwehr, die gleichzeitig die Rettungswege der Besucher darstellen, eine entscheidende Rolle. Um die Personensicherheit im Unterdeck bewerten zu können, wird die RSET für das Unterdeck herangezogen und der Available Safe Egress Time (ASET) gegenübergestellt. Die ASET wird in der Arbeit von Herrn Sebastian Milek erarbeitet und bereitgestellt. Sie gibt an wie viel Zeit die Personen im Falle eines Brandes haben um das Unterdeck zu verlassen. Die Verrauchung spielt hierbei eine wesentliche Rolle, aber auch Temperatur und die Konzentration von Kohlendioxid, Sauerstoff sowie Kohlenmonoxid werden berücksichtigt. Zur weiteren Bewertung der Stauungen wird exemplarisch ein Szenario ausgewählt und ein einzelner Agent hinsichtlich der Dichten und Laufgeschwindigkeit näher analysiert. Eine sichere Evakuierung ist dann gegeben, wenn die RSET kleiner ist als die ASET und die Stauungen als nicht personenschädlich eingestuft werden.

### 3 Grundlagen für die Evakuierung der schwimmenden Versammlungsstätte

#### 3.1 International Maritime Organization (IMO)

Aufgrund der Tatsache, dass Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit auf See wesentlich effektiver sind, wenn diese auf internationaler Ebene geregelt werden, wurde 1948 die International Governmental Maritime Consultative Organization (IMCO) - eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen - gegründet. 1982 erhielt die Organisation ihre heutige Bezeichnung. Die IMO hat ihren Sitz in London und besitzt heutzutage 170 Mitgliedsstaaten (Stand 2013).

Seit 1948 entwickelte sich das Aufgabenfeld der IMO stetig weiter und wird in ihrem heutigen Slogan gut wiedergegeben: *„Safe, secure and efficient shipping on clean oceans (4 S. 2).“*

Das Ziel der IMO ist es, die Zusammenarbeit der Staaten auf dem Gebiet der technischen Fragen der internationalen Seeschifffahrt -insbesondere der Sicherheit der Schiffe auf See und des maritimen Umweltschutzes- sowie die Organisation des Informationsaustausches zwischen den IMO Mitgliedern, zu fördern.

Die IMO hat keine Möglichkeit bzw. Befugnis Konventionen gegenüber individuellen Staaten oder Schiffen durchzusetzen. Es liegt ganz alleine im Ermessen des Staates solche Konventionen zu übernehmen und in seine Gesetzgebung zu integrieren. Allerdings führt die IMO Listen von Staaten (z.B. IMO White List zur Umsetzung des STCW 95-Übereinkommens) als Kontrollinstrument, da nur positiv gelisteter Staaten international anerkannt sind (4), (5).

### 3.1.1 International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)

Die SOLAS zählt zu den bedeutendsten aller Abkommen, die die Sicherheit von Handelsschiffen betreffen. Die erste Version wurde 1914 als Antwort auf das Titanic Unglück verabschiedet. Bis 1960 wurden drei weitere Versionen veröffentlicht.

Die fünfte Version des SOLAS-Abkommens aus dem Jahre 1974 wurde durch das Verfahren der stillschweigenden Zustimmung ergänzt. Damit lassen sich Neuerungen schneller und mit weniger Aufwand einführen, da nicht mehr die ausdrückliche Zustimmung jedes Mitgliedstaates erforderlich ist. Insofern treten beschlossene Änderungen zu einem bestimmten Zeitpunkt in Kraft, es sei denn, im Vorfeld hat eine vorher festgelegte Anzahl von Parteien Einwände gegen die betreffende Änderung vorgetragen. Als Resultat dieser Novellierung wurde das Abkommen aus dem Jahr 1974 bei zahlreichen Anlässen geändert und aktualisiert. So wird das Abkommen häufig als „SOLAS, 1974 in der geänderten Fassung“ betitelt.

Das Hauptziel der SOLAS liegt darin, einen Mindeststandard für den Bau, die Ausrüstung und den Betrieb von Schiffen unter Gesichtspunkten der Sicherheit zu gewährleisten. Die Flaggenstaaten sind dafür verantwortlich, dass sich alle Schiffe unter Ihrer Flagge an die Vorgaben halten. Eine Reihe von Zertifikaten ist in der Konvention vorgeschrieben, die dieses belegen sollen. Sollte es einen triftigen Grund geben dies anzuzweifeln, gibt es die Möglichkeit, dass Vertragsstaaten andere überprüfen. Diese Vorgehensweise ist bekannt als Hafenstaatkontrolle.

Das heutige Standardwerk der SOLAS besteht grob aus zwölf Kapiteln, in denen die einzelnen Anforderungen in Form von Regeln aufgeführt sind. Sie enthalten Regelungen über die Inspektion der verschiedenen Schiffstypen und die Ausstellung von Übereinstimmungsdokumenten sowie die Verpflichtung zuständiger Behörden zur Durchführung von Untersuchungen nach Schiffsunglücken.

Des Weiteren enthält die SOLAS Bestimmungen bezüglich der Unterteilung in wasserdichte Abteilungen, Stabilität, Maschinenteknik, elektrische Installationen, Brandschutz, Branderkennung und Brandbekämpfung. Außerdem werden Rettungsmittel und –einrichtungen, einschließlich der Anforderungen an Rettungsboote und Schwimmwesten, abhängig vom Schiffstyp thematisiert. Die letzten Kapitel enthalten umfassende technische Vorgaben zu den Bereichen Sprechfunk, Navigation, Beförderung von Gütern und gefährlichen Gütern im Speziellen, Nuklearschiffen, Management für den sicheren Schiffsbetrieb, Sicherheitsmaßnahmen für Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge und zusätzliche Sicherheitsvorschriften für Massengutfrachter (6), (7).

### 3.1.2 Codes, Resolutionen und Rundschreiben der IMO

Das SOLAS-Abkommen stellt an sämtliche Bereiche funktionelle Anforderungen, ohne jeweils Angaben zur technischen Umsetzung dieser Vorgaben zu machen. Um den Anwender dieser Vorschriften bei der Herausforderung der technischen Umsetzung zu unterstützen und ein allgemein gültiges technisches Sicherheitsniveau zu schaffen, bedient sich die IMO verschiedener Instrumente, die in Form von Codes, Resolutionen und Rundschreiben (engl. Circulars) veröffentlicht werden.

In manchen Bereichen ist es nicht sinnvoll Vorschriften als Konventionen zu verabschieden. Daher bedient man sich der Codes, welche grundsätzlich in zwei Gruppen unterteilt werden:

- Bindende Codes
- Empfehlende Codes

Die Codes werden durch Verweise in die Konventionen eingebunden. Dies ist besonders vorteilhaft, da bei Änderungen nicht die gesamte Konvention geändert werden muss, sondern nur der Code. Das ist wesentlich leichter und schneller möglich.

Resolutionen werden grundsätzlich in folgende zwei Arten unterschieden:

- Durch diplomatische Konferenzen angenommene Resolutionen
- Von IMO Gremien verabschiedete Resolutionen

Ersteres dient der Erläuterung der verschiedenen Konventionen oder bringt Absichtserklärungen zur Weiterentwicklung zum Ausdruck. Die durch IMO Gremien verabschiedeten Resolutionen verfolgen grundsätzlich das Ziel der Interpretation und Klarstellung von Konventionstexten bzw. der einheitlichen Einführung.

Ähnlich zu den Resolutionen, die durch die IMO-Vollversammlung veröffentlicht werden, nutzen die einzelnen Fach- und Unterausschüsse der IMO ebenfalls die Möglichkeit, Dokumente in Form von so genannten Rundschreiben, auch als Zirkulare betitelt, zu publizieren. Sie dienen der Klarstellung oder Interpretation von Konventionsregelungen (5). Ein für diese Bachelorarbeit wichtiges Rundschreiben ist die MSC.1/Circ.1238. Sie ist eine Richtlinie für Evakuierungsanalysen für neue und bereits vorhandene Passagierschiffe (8 S. 1).

## 3.2 ARGEBAU

Die ARGEBAU ist eine Arbeitsgemeinschaft, die ihre Zuständigkeit im Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen hat. Sie wird aus den Minister/Ministerinnen sowie Senatoren/Senatorinnen der 16 Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland gebildet und trägt die heutige Bezeichnung: *"Bauministerkonferenz - Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (ARGEBAU) (9 S. 1)."*

Die Bauministerkonferenz behandelt Fragen, die für die Länder im Bereich Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen von gemeinsamer Bedeutung sind (9).

### 3.2.1 Musterbauordnung (MBO)

Zur Wahrung der Einheitlichkeit des Bauordnungsrechts hat die Fachkommission „Bauaufsicht“ der ARGEBAU eine Musterbauordnung entwickelt. Die Musterbauordnung ist die Grundlage des Bauordnungsrechts und dient als Rahmenrichtlinie. Sie ist jedoch nicht Gesetz, denn die Gesetzgebungszuständigkeit bleibt Sache der Länder (10 S. 7). Die 74-seitige Musterbauordnung ist inhaltlich in sechs Teile mit insgesamt 87 Paragraphen gegliedert. Zu Anfang des Dokumentes werden Schutzziele genannt, die in den nachfolgenden Paragraphen durch bauliche und anlagentechnische Vorgaben konkretisiert werden. Neben diesen Vorgaben werden auch formelle Angelegenheiten, Zuständigkeiten sowie Pflichten in der MBO geregelt (2).

### 3.2.2 Muster-Versammlungsstättenverordnung

Damit Versammlungsstätten weitgehend einheitlich beurteilt werden können, hat die Bauministerkonferenz eine Muster-Versammlungsstättenverordnung entwickelt. Genauso wie die Musterbauordnung dient die Versammlungsstättenverordnung als Rahmenrichtlinie und ist nicht verpflichtend für die einzelnen Bundesländer. Die Rechtfertigung einer solchen Verordnung wird durch die Tatsache begründet, dass sich in Versammlungsstätten eine große Anzahl an Personen aufhält und schon ein verhältnismäßig kleines Schadensereignis enorme Auswirkungen haben kann. Die MVStättV ist jedoch keine in sich abgeschlossene Regelung. Grundlage für den Bau von Versammlungsstätten ist zunächst die Muster-Bauordnung, deren Bestimmungen durch die MVStättV modifiziert und konkretisiert werden (10 S. 8).

## 4 Einführung in die Evakuierungsanalyse

### 4.1 Die verschiedenen Evakuierungsmodelle

Das Ziel einer Evakuierungsanalyse ist es, die benötigten Räumungszeiten zu bestimmen sowie Bereiche, in denen Stauungen auftreten können, sicher zu erkennen und diese zu vermeiden. Zusätzlich soll aufgezeigt werden, dass die Fluchtwege auch für den Fall, dass einzelne Fluchtwege blockiert sind, ausreichend dimensioniert sind. Um eine solche Analyse durchführen zu können, bedient man sich verschiedener Evakuierungsmodelle. Diese reichen von einfachen Handformeln bis hin zu komplexen computergestützten Simulationen. Grundsätzlich unterscheidet man jedoch zwischen folgenden zwei Modellen (11 S. 293):

- Makroskopisches Modell
- Mikroskopisches Modell

**Makroskopische Modelle** basieren hauptsächlich auf Optimierungsansätzen und berücksichtigen nicht die individuellen Unterschiede und Entscheidungen der zu evakuierenden Personen (12 S. 230). Sie lassen sich in zwei Gruppen unterteilen. In vereinfachte Berechnungsansätze zur Kapazitätsanalyse und in Verfahren, welche auch die Dynamik der Bewegung einer größeren Menschenmenge näherungsweise berücksichtigen. Diese Verfahren werden oft angewandt und beschränken sich auf die Bewegung eines kompakten Personenstromes und dessen Rettungswegsführung. Die Berechnungsschritte sind damit meist übersichtlich und leicht nachzuvollziehen. Makroskopische Modelle nehmen an, dass alle Personen gleichzeitig mit der Räumung beginnen, es keine Einschnitte im Personenstrom gibt und dass alle Personen hinreichend beweglich sind, um mit der Gruppe mitzuhalten. Diese optimistische Betrachtung und Vereinfachung führt zu Unsicherheiten, die in der späteren Bewertung zwingend berücksichtigt werden müssen (11 S. 294, 295).

**Mikroskopische Modelle**, in denen die individuellen Bewegungen der zu evakuierenden Personen im Vordergrund stehen, basieren auf Simulationen. Diese Modelle wurden entwickelt, um die Einschränkungen der makroskopischen Modelle zu reduzieren und den individuellen Einfluss auf die Effizienz der Entfluchtung zu betonen (11 S. 295). Sie berücksichtigen individuelle Parameter (z.B. Laufgeschwindigkeit, Reaktionszeit und physische Eigenschaften) sowie Interaktionen zwischen den Personen während der Evakuierung. Die mikroskopischen Modelle werden in zwei Typen unterschieden (11 S. 295, 299):

- Räumlich diskrete Modelle
- Räumlich kontinuierliche Modelle

Bei den **räumlich diskreten Modellen** wird die Geometrie von einem Gitternetz überdeckt. Die Individuen sind an dieses Gitternetz gebunden und bewegen sich von Zelle zu Zelle. Ihre Laufrichtung wird dabei vom eigenen Ziel und von der Bewegung der benachbarten Individuen beeinflusst. Die Gitterstruktur kann zu Einschränkungen bei Variabilität individueller Mobilitätsparameter wie Körpergröße und Gehgeschwindigkeit sowie der Modellierung der individuellen Bewegung führen.

Bei den **räumlich kontinuierlichen Modellen** sind die Individuen nicht durch eine Zellstruktur beschränkt, sondern können sich frei im Raum bewegen. Sie sind lediglich an die tatsächlich vorhandenen geometrischen Grenzen gebunden. Diese Modelle ermöglichen daher ein größtmögliches Maß an Flexibilität, was jedoch meist auch höhere Rechenkapazitäten voraussetzt.

In mikroskopischen Modellen wählen die Individuen ihre Route Schritt für Schritt, d.h. die Entscheidung über die Wahl des Weges erfolgt an jedem definierten Knotenpunkt entlang der Route. Die ursprünglich gewählte Route kann sich im Laufe des Evakuierungsprozesses ändern. Grund hierfür können z.B. versperrte Wege oder ein hohes Maß an Stauung sein. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel dafür, wie sich ein Evakuierungsprozess für jede einzelne Person gestalten kann.

Durch mikroskopische Modelle lassen sich Staubereiche bestimmen, die Evakuierungszeit berechnen und das System der Fluchtwege bewerten und gegebenenfalls optimieren (12 S. 230, 231, 257).

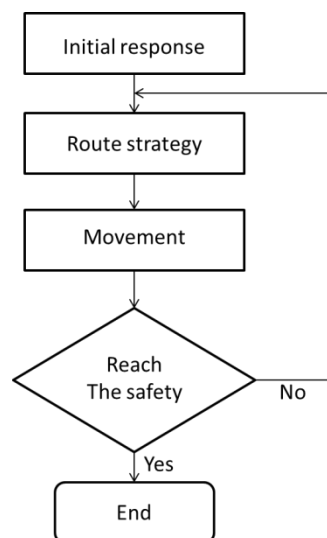


Abbildung 2: Individueller Evakuierungsprozess (12 S. 257)



## 4.2 Das Simulationsprogramm AENEAS

### 4.2.1 Grundlegende Funktionsweise

Für die nachfolgende Evakuierungsanalyse wird das Simulationsprogramm AENEAS verwendet. AENEAS ist von der TraffGo HT GmbH in Zusammenarbeit mit dem Germanischen Lloyd als leistungsbasiertes Analyseverfahren speziell zur Erstellung von Evakuierungskonzepten entwickelt worden. In dem Programm sind die grundlegenden Parameter der IMO bzw. der bereits beschriebenen MSC/Circ. 1238 implementiert.

Die Grundlage von AENEAS wird von einem sogenannten Multi-Agent-Modell gebildet, welches zu den mikroskopischen Modellen gehört. Das bedeutet, dass die Personen (Agenten) als Individuen mit eigenständigen Verhaltensweisen, Fähigkeiten und Zielen in diskretem Raum und diskreter Zeit repräsentiert werden. Die Diskretisierung des Grundrisses wird in Abbildung 3 deutlich.

Der zu analysierende Grundriss wird in ein Gitter quadratischer Zellen unterteilt. Die Kantenlänge jedes Quadrats beträgt 0,4m, sodass sich pro Zelle eine Fläche von 0,16m<sup>2</sup> ergibt. Diese Fläche entspricht einer wissenschaftlich ermittelten Standfläche einer Person im dichten Gedränge.

Die Agenten springen von Zelle zu Zelle. Dabei ist nur ein Agent pro Zelle erlaubt. Pro Zeitschritt (jeweils eine Sekunde) springen die Agenten je nach individueller Geschwindigkeit mehrmals. Die Geschwindigkeit jedes Agenten wird vom Programm so gewählt, dass die Gesamtpopulation einer gewählten Verteilung entspricht.

In AENEAS gibt es verschiedene Zelltypen. Diesen Zelltypen sind verschiedene Informationen zugeordnet und dienen dazu, die Laufgeschwindigkeit der Agenten maßgeblich zu beeinflussen.

Folgende Zelltypen werden unterschieden: Freie Zellen, Wandzellen, Zielzellen, Türzellen, virtuelle Türzellen, Treppen- und Sprungzellen, Gefahrzellen.

Freie Zellen können von Agenten betreten werden, ohne dass ihre Bewegung beeinflusst wird. Wandzellen hingegen dienen als physikalische Begrenzung und können von den Agenten nicht betreten werden. Sie können, wie der Name schon sagt, als Wand oder auch als Einrichtungsgegenstände dienen. Jeder Agent, der die Zielzelle seiner Route betritt, gilt als gerettet oder wählt eine Folgeroute (13 S. 14-34).

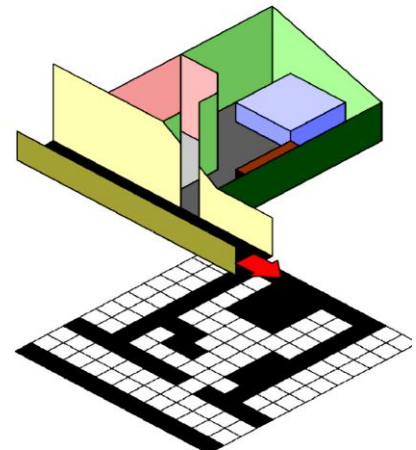


Abbildung 3: Diskretisierung des Grundrisses (13)

In der Regel verringert sich die Geschwindigkeit des Personenstroms, wenn dieser Türen passiert. Um diesen Effekt zu berücksichtigen, wird die Geschwindigkeit jedes Agenten, der eine Türzelle betritt, auf ein Viertel seiner maximalen Geschwindigkeit reduziert. Virtuelle Türen verhalten sich wie normale Türen, jedoch reduzieren sie nicht die Geschwindigkeit der Agenten. Sie dienen dazu eine virtuelle Grenze in Räumen einzurichten, um so die Personen besser zu verteilen oder das Potential zu steuern.

Treppenzellen ermöglichen einen Wechsel zwischen den Ebenen. Auf ihnen bewegen sich die Agenten mit halber Geschwindigkeit. Treppenzellen müssen durch Wandzellen seitlich abgegrenzt werden und funktionieren nur in Verbindung mit den Sprungzellen, die in „UP“ und „DN“ unterschieden werden. Sie liefern dem Agenten die Information, ob er auf der nachfolgenden Treppenzelle nach oben oder nach unten laufen soll. Um eine Gefahr zu berücksichtigen, die z.B. das Versperren eines Fluchtweges zur Folge hat, werden Zellen integriert, die nach einer stochastisch definierten Zeit nicht mehr betretbar sind. Das bedeutet, dass ab diesem Zeitpunkt der Weg blockiert ist. Der Agent wählt dann eine vorher definierte Alternativroute.

In AENEAS orientieren sich die Agenten anhand von Potentialwerten in den Zellen. Dieses Potential breitet sich von den vorher definierten Zielzellen über die zugänglichen Zellen aus. Der Nutzer hat die Möglichkeit, durch das Einbringen von Routen, das Potential zu steuern und so die Agenten in die gewünschte Richtung zu leiten. Von den Zielzellen ausgehend werden alle Zellen des angrenzenden Raumes mit Potenzialwerten belegt. Eingegrenzt wird ein Raum durch Wand-, Tür- und virtuelle Sprungzellen. Über die durch Routen markierten virtuellen Sprung- und Türzellen breitet sich das Potential auf die nachfolgenden Räume aus. Werden keine weiteren markierten Zellen gefunden, breitet sich das Potential über die nicht markierten Zellen weiter aus.

Abbildung 4 zeigt ein Beispiel, wie man durch das Legen von Routen das Potential steuern kann. Die Zielzelle befindet sich oben rechts. Ohne Route würden die Agenten entlang der gestrichelten Linie den mittleren Raum verlassen. Durch das Legen der Route (durchgehende Linie) bewegen sich die Agenten nun primär über die Tür am unteren Rand zum Ziel (13 S. 14-34).

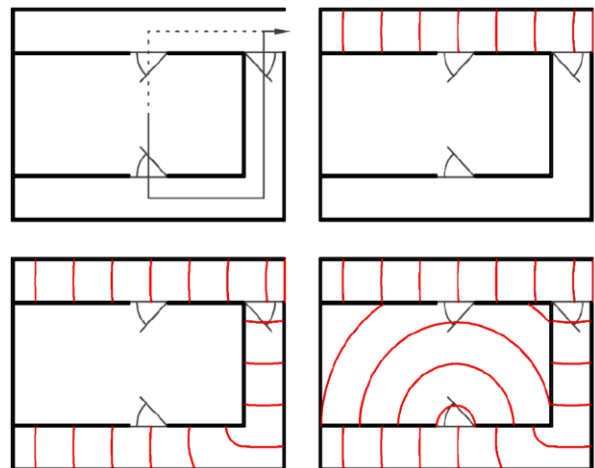


Abbildung 4: Steuern des Potentials durch Routen (13)

Wie bereits beschrieben basiert ANEAS auf dem mikroskopischen Modell, d.h. das jeder Agent über einen individuellen Parametersatz verfügt. Das Simulationsmodell bietet feste Parametersätze des Tag- und Nachtfalls für Passagiere und Besatzungsmitglieder. Diese stammen aus der Richtlinie MSC. 1/Circ. 1238 der IMO. Zudem enthält ANEAS einen Parametersatz der Standartpopulation aus der RiMEA Richtlinie.

Die Eigenschaften der Agenten können jedoch auch manuell definiert werden. Tabelle 1 zeigt welche Parameter festgelegt werden können (13 S. 14-34).

**Tabelle 1: Parameter der Agenten**

Laufgeschwindigkeit	Die maximale Anzahl der Zellen die ein Agent pro Zeitschritt (eine Sekunde) zurücklegen kann.
Geduld	Die Zeit in Sekunden die ein Agent stillsteht, bevor er eine andere Route in entgegengesetzter Richtung wählt.
Schwanken	Die Genauigkeit mit der ein Agent dem Potentialverlauf folgt.
Reaktionsdauer	Die Zeit die ein Agent still steht, bevor er auf den Alarm hört und losläuft.
Trödelwahrscheinlichkeit	Die Wahrscheinlichkeit nach der ein Agent für den Rest eines Zeitschritts stehen bleibt.
Trägheit	Die Trägheit mit der ein Agent seine momentane Laufrichtung beibehält.
Gruppenzusammenhalt	Der Grad der den Zusammenhalt zwischen den Agenten einer Gruppe bestimmt.

Die in der Tabelle 1 genannten Parameter können stochastisch gleich- oder normalverteilt zugewiesen werden.

## 4.2.2 Demographische Modellierungsparameter

Die in AENEAS voreingestellten Eigenschaften bestimmter Personengruppen die optional verwendet werden können, richten sich nach den Vorgaben aus dem Rundschreiben MSC/Circ. 1238. In diesen Vorgaben werden bestimmte demographische Zusammenstellungen und die zugehörigen Bewegungsparameter festgelegt, um die Realität besonders genau wiederzugeben.

Hinsichtlich der demographischen Zusammenstellung wird grundsätzlich zwischen Passagieren und Besatzung sowie zwischen dem Geschlecht unterschieden. Zusätzlich werden den Passagieren Altersgruppen und die dazugehörigen Mobilitätsstufen zugeordnet, die maßgeblich die Laufgeschwindigkeit beeinflussen. Die prozentuale Zusammensetzung ist der Tabelle 2 zu entnehmen.

**Tabelle 2: Demographische Zusammensetzung (8 S. 34)**

<b>Passagiere</b>	<b>Prozentualer Anteil</b>
Weiblich, jünger als 30 Jahre	7
Weiblich, 30 bis 50 Jahre	7
Weiblich, älter als 50 Jahre	16
Weiblich, älter als 50 Jahre, eingeschränkte Mobilität Stufe 1	10
Weiblich, älter als 50 Jahre, eingeschränkte Mobilität Stufe 2	10
Männlich, jünger als 30 Jahre	7
Männlich, 30 bis 50 Jahre	7
Männlich, älter als 50 Jahre	16
Männlich, älter als 50 Jahre, eingeschränkte Mobilität Stufe 1	10
Männlich, älter als 50 Jahre, eingeschränkte Mobilität Stufe 2	10
<b>Besatzung</b>	<b>Prozentualer Anteil</b>
Weiblich	50
Männlich	50

Die Gehgeschwindigkeit auf flachen Untergrund die diesen Personengruppen zugeordnet ist, wird durch eine statistische Normalverteilung mit Maximal -und Minimalwerten beschrieben (s. Tabelle 3) (8 S. 36).

Tabelle 3: Gehgeschwindigkeit auf flachen Untergrund (8 S. 36)

Passagiere	Gehgeschwindigkeit in m/s	
	Minimum	Maximum
Weiblich, jünger als 30 Jahre	0,93	1,55
Weiblich, 30 bis 50 Jahre	0,71	1,19
Weiblich, älter als 50 Jahre	0,56	0,94
Weiblich, älter als 50 Jahre, eingeschränkte Mobilität Stufe 1	0,43	0,71
Weiblich, älter als 50 Jahre, eingeschränkte Mobilität Stufe 2	0,37	0,61
Männlich, jünger als 30 Jahre	1,11	1,85
Männlich, 30 bis 50 Jahre	0,97	1,62
Männlich, älter als 50 Jahre	0,84	1,4
Männlich, älter als 50 Jahre, eingeschränkte Mobilität Stufe 1	0,64	1,06
Männlich, älter als 50 Jahre, eingeschränkte Mobilität Stufe 2	0,55	0,91
<b>Besatzung</b>		
Weiblich	0,93	1,55
Männlich	1,11	1,85

Da sich die Gehgeschwindigkeit auf Treppen ändert, werden hier gesonderte Werte vorgegeben. Genauso wie die Gehgeschwindigkeit auf flachen Untergrund wird die Geschwindigkeit auf Treppen durch eine Normalverteilung mit Maximal –und Minimalwerten dargestellt. Zudem wird zwischen Aufwärts –und Abwärtsbewegung unterschieden (s. Tabelle) (8 S. 37).

Tabelle 4: Gehgeschwindigkeit auf Treppen (8 S. 37)

Passagiere	Gehgeschwindigkeit in m/s			
	Treppe abwärts		Treppe aufwärts	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Weiblich, jünger als 30 Jahre	0,56	0,94	0,47	0,79
Weiblich, 30 bis 50 Jahre	0,49	0,81	0,44	0,74
Weiblich, älter als 50 Jahre	0,45	0,75	0,37	0,61
Weiblich, älter als 50 Jahre, eingeschränkte Mobilität Stufe 1	0,34	0,56	0,28	0,46
Weiblich, älter als 50 Jahre, eingeschränkte Mobilität Stufe 2	0,29	0,49	0,23	0,39
Männlich, jünger als 30 Jahre	0,76	1,26	0,5	0,84
Männlich, 30 bis 50 Jahre	0,64	1,07	0,47	0,79
Männlich, älter als 50 Jahre	0,5	0,84	0,38	0,64
Männlich, älter als 50 Jahre, eingeschränkte Mobilität Stufe 1	0,38	0,64	0,29	0,49

Männlich, älter als 50 Jahre, eingeschränkte Mobilität Stufe 2	0,33	0,55	0,25	0,41
<b>Besatzung</b>				
Weiblich	0,56	0,94	0,47	0,79
Männlich	0,76	1,26	0,5	0,84

Neben der Gehgeschwindigkeit der Personen ist die Verteilung der Reaktionszeiten ein weiterer Parameter. Hier wird, unabhängig ob für Passagiere oder Besatzung, zwischen Tag und Nacht unterschieden. Anders als bei der Gehgeschwindigkeit unterliegen die Werte einer logarithmischen Normalverteilung, bei der sich für den Tagfall die Reaktionszeit in einem Intervall zwischen 0 und 300 Sekunden und im Nachtfall zwischen 400 und 700 Sekunden befindet (8 S. 35).

Die Bewegung des Schiffes hat ebenfalls Auswirkungen auf die Gehgeschwindigkeit der Besatzung und Passagiere, jedoch gibt es derzeit noch keine verlässlichen Modelle um einen solchen Effekt bewerten zu können. Daher findet dies keine Beachtung in den Simulationen (8 S. 37).

#### 4.2.3 Ergebnisse und Auswertung der Simulation

Aufgrund der Tatsache, dass der Ablauf einer realen Evakuierung variiert, wird mittels der Simulation eine stochastische Analyse durchgeführt. Dazu müssen mehrere Durchläufe simuliert werden. Nach MSC/Circ. 1238 sind mindestens 50 Durchläufe nötig (8 S. 39), jedoch werden üblicherweise 500 Durchläufe durchgeführt um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten und die Streuungen der einzelnen Durchläufe zu verdeutlichen. Bei jedem Durchlauf werden die demographischen Parameter der Agenten neu zugeordnet (13 S. 64, 87). Zum Ende der Simulation generiert AENEAS ein Diagramm mit der Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse. Dabei ist nach MSC/Circ. 1238 die Evakuierungsdauer (signifikante Evakuierungsdauer) entscheidend, die größer ist als 95% aller Evakuierungsdauern (8 S. 39). In Abbildung 5 ist beispielhaft eine solche Häufigkeitsverteilung, mit dem signifikanten Durchlauf (in grün) zu sehen.

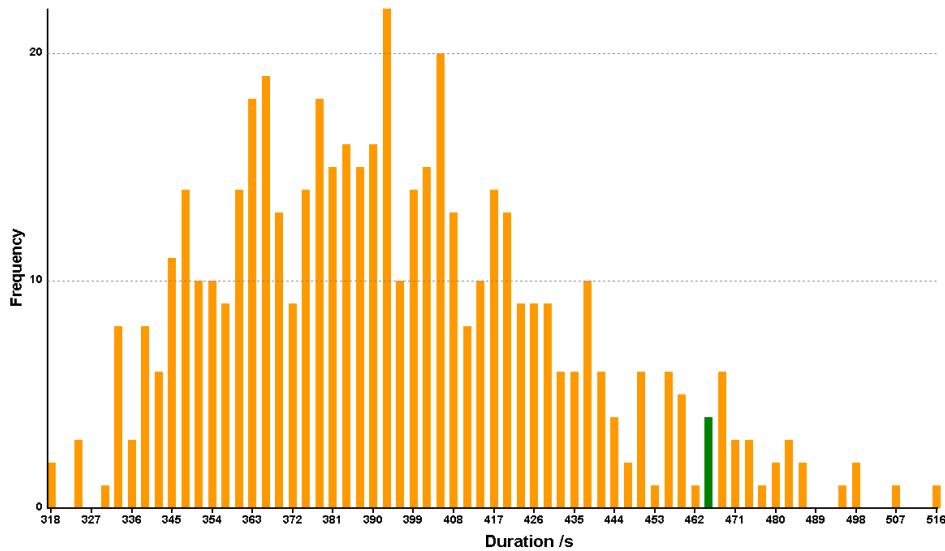


Abbildung 5: Beispielhafte Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe

Nach Durchlauf der 500 Evakuierungen wird der signifikante 95%-Simulationslauf näher analysiert. Hierzu wird dieser in AENEAS als Einzeldurchlauf erneut gestartet und man erhält im Anschluss eine Darstellung der Dichteberechnungen sowie die Verteilung der Personen und deren Laufgeschwindigkeit zu definierten Zeitpunkten. Dabei ist die Laufgeschwindigkeit farblich definiert. Der Farbverlauf reicht von grün (maximale Laufgeschwindigkeit) über orange bis hin zu rot (Stillstand) (13 S. 67). Zusätzlich ist es möglich, sich durch vorher gesetzte Logpoints die Anzahl der Personen anzeigen zu lassen, die sich zu einem bestimmten Zeitpunkt der Evakuierung im betroffenen Raum befinden. Durch die Dichteberechnung ist es möglich signifikante Stauungen zu identifizieren. Nach MSC/Circ. 1238 wird eine Stauung des Personenflusses durch eine Personendichte identifiziert, welche vier Personen pro Quadratmeter überschreitet. Eine Stauung gilt dann als signifikant, wenn eine Überschreitung dieser Personendichte insgesamt länger als zehn Prozent der gesamten Evakuierungsdauer andauert (8). Eine beispielhafte Darstellung der Dichteberechnung ist der Abbildung 6 zu entnehmen. Die signifikanten Stauungen werden hier rot dargestellt.

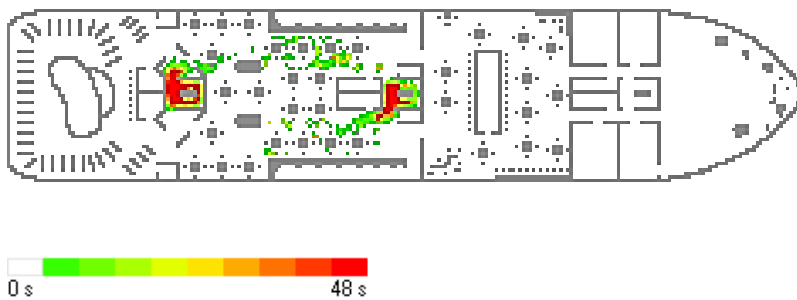


Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung der Dichteberechnung

Die Evakuierung auf einem Passagierschiff wird in der Regel in folgende zwei Phasen unterteilt:

- Evakuierung der Personen zu den Musterstationen
- Einbootung (Evakuierung der Personen von den Musterstationen zu den Rettungsbooten)

Nach der Simulation der beiden Phasen erhält man die relevante Gesamtevakuationszeit durch eine Rechnung. Dazu wird die Evakuierungszeit zu den Musterstationen mit einem Sicherheitsfaktor von 1,25 multipliziert. Dieser Sicherheitsfaktor berücksichtigt Effekte der Schiffsbewegung, Alter und Einschränkungen in der Mobilität der Passagiere, Unbenutzbarkeit von Korridoren, Flexibilität in der Anordnung der Einrichtung, Einschränkung der Sicht durch Verrauchung sowie Ungenauigkeiten der Simulation (8 S. 5). Durch die Überlagerung der Evakuierung zu den Musterstationen mit der Einbootungsphase, wird  $\frac{1}{3}$  der Einbootungszeit subtrahiert. Die Summe der neu berechneten Evakuierung und Einbootung ergibt die gesamte Evakuierungszeit. Die Einbootung darf im Einzelnen nicht länger als 30 min und die gesamte Evakuierung nicht länger als 60 min<sup>1</sup> bzw. 80 min<sup>2</sup> andauern (8 S. 6). Abbildung 7 verdeutlicht diese Rechnung.

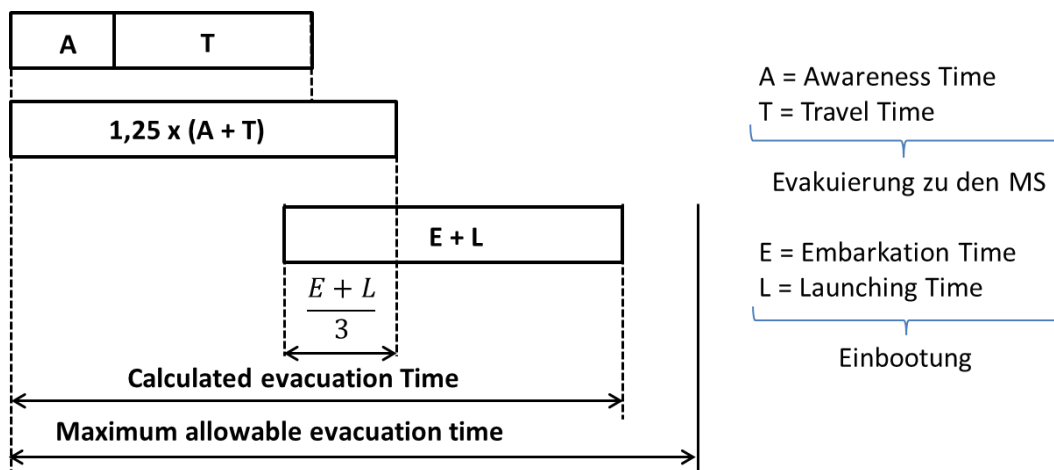


Abbildung 7: Berechnung der Gesamtevakuationszeit (8 S. 7)

Aufgrund der Tatsache, dass die Personen in der schwimmenden Versammlungsstätte über die Treppenhäuser direkten Zugang ins Freie haben und nicht über Rettungsboote gerettet werden, wird die Evakuierung nicht in zwei Phasen unterteilt. Demnach erfolgt keine Rechnung wie in Abbildung 7 beschrieben. Nur der Sicherheitsfaktor von 1,25 soll berücksichtigt werden.

<sup>1</sup> Für roro Passagierschiffe oder andere Passagierschiffe wenn sie nicht mehr als drei Main Vertical Zones besitzen (MVZ)

<sup>2</sup> Für Passagierschiffe mit mehr als drei MVZ



## 5 Gegenüberstellung der Regelungen aus Landbau-und Schiffbau

Im folgenden Kapitel werden die für dieses Projekt relevanten Regelungen aus Schiff- und Landbau wiedergegeben, die Grundprinzipien herausgearbeitet und anschließend gegenübergestellt. Dieser Teil der Arbeit soll dabei als Grundlage für die Modellierung der schwimmenden Versammlungsstätte dienen. Die Regelungen, die hier analysiert werden, beschränken sich weitestgehend auf bauliche Maßnahmen. Organisatorische Maßnahmen werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, müssen aber im Falle einer realen Umsetzung Anwendung finden.

### 5.1 Schutzziele

**Die Schutzziele im Landbau** sind in § 3 und § 14 der MBO definiert. In § 14 werden die so genannten baulichen Schutzziele aufgeführt: *„Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind (2 S. 14)“*.

In § 3 sind die allgemeinen Anforderungen an bauliche Anlagen beschrieben. Die Kernaussage ist folgendermaßen formuliert: *„Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden (2 S. 8)“*.

**Die Schutzziele im Schiffbau** werden in der SOLAS in Kapitel II-2 Schutzziele für die Brandsicherheit definiert. Hier werden Mindestsicherheitsanforderungen für Personen und Sachgüter festgelegt. Diese lauten wie folgt (7):

- Vermeiden des Auftretens von Bränden und Explosionen
- Verringern der Personengefährdung durch Brände
- Reduzieren des Risikos von Schäden am Schiff, dessen Ladung und der Umwelt, die durch Brände herbeigeführt werden
- Eindämmen, Kontrollieren bzw. Unterdrücken von Bränden und Explosionen am Entstehungsort
- Bereitstellen von angemessenen und leicht zugänglichen Fluchtwegen für Passagiere und Besatzung.

Die technischen Maßnahmen zur Erreichung dieser Schutzziele werden im Abschnitt II-2/2.2 der SOLAS konkretisiert (7):

- Unterteilung des Schiffes in senkrechte Hauptbrandabschnitte und waagerechte Brandabschnitte durch wärmedämmende und bauliche Abgrenzungen
- Abschottung der öffentlichen Räume vom übrigen Schiff durch wärmedämmende und bauliche Trennungen

- beschränkte Verwendung brennbarer Materialien
- Detektion jedes Brandes im Entstehungsstadium
- Eindämmen und Löschen von Bränden am Entstehungsort
- Schutz der Fluchtwege und Zugang für die Brandbekämpfung
- Verfügbarkeit von Feuerlöscheinrichtungen
- Minimierung der Zündmöglichkeiten brennbarer Dämpfe von Ladegütern

Sowohl im Schiffbau als auch im Landbau werden bestimmte Schutzziele genannt. Auch wenn die SOLAS die Schutzziele konkreter formuliert, so zeigen diese im Land- und Schiffbau hinsichtlich der Vermeidung der Brandentstehung der lokalen Brandbegrenzung und des Personenschutzes inhaltlich große Ähnlichkeiten. Wenige Unterschiede gibt es jedoch: So berücksichtigt die SOLAS in ihren Schutzziele nicht nur Brände sondern auch Explosionen. Dies ist darauf zurück zu führen, dass diese Schutzziele nicht nur für Passagierschiffe sondern auch für Gas- und Öltanker gelten. Ein weiterer Grund ist der, dass alle Schiffe größere Mengen an Treibstoff enthalten. Ein weiterer Unterschied zum Landbau sind die funktionalen Anforderungen zur Erreichung der Schutzziele. Diese sind so in baulichen Regelwerken nicht zu finden. Allerdings bedient man sich auch hier sehr ähnlicher technischer Maßnahmen, die dementsprechend zur Erreichung der Schutzziele dienen.

## 5.2 Rettungswege

### **MVStättV (§ 6):**

Rettungswege sind so zu wählen, dass sie ins Freie zu öffentlichen Verkehrsflächen führen. Zu Rettungswegen in Versammlungsstätten zählen die stets frei zu haltenden Gänge und Stufengänge, die Ausgänge aus Versammlungsstätten, die notwendigen Flure- und Treppen, die Dachterrassen und Außentreppen sowie die Rettungswege im Freien auf dem Grundstück.

Versammlungsstätten müssen in jedem Geschoss zwei voneinander unabhängige Rettungswege haben. Dabei müssen diese Rettungswege oder Ausgänge bei einem Versammlungsraum mit mehr als 100 m<sup>2</sup> Grundfläche soweit wie möglich voneinander entfernt und in entgegengesetzter Richtung liegen. Beide geforderten Rettungswege dürfen innerhalb eines Geschosses durch einen gemeinsamen notwendigen Flur verlaufen. Des Weiteren dürfen Rettungswege über Außentreppen und Dachterrassen gewählt werden, wenn diese im Brandfall begehbar sind. Besitzt ein Versammlungsraum mehr als 800 Besucherplätze, so sind gesonderte Rettungswege für die Geschosse zwingend notwendig. Zweck der Regelung ist die getrennte Führung der Personenströme aus verschiedenen Geschossen zu den Ausgängen ins Freie oder auf eine gemeinsame Ausgangsebene. Ausgänge und der Verlauf von Rettungswegen müssen durch Sicherheitszeichen dauerhaft und gut sichtbar gekennzeichnet sein (14).

**MBO (§ 33):**

Für Nutzungseinheiten die nicht im Erdgeschoss liegen, muss der erste Rettungsweg über eine notwendige Treppe führen. Sonstige Regelungen in diesem Paragraphen werden durch die Vorschriften in § 6 der MVStättV modifiziert und sind somit nicht anzuwenden (2).

**SOLAS (Chapter II-2, Part D):**

Grundlegend müssen an jeden Raum mindestens zwei weit voneinander getrennte und betriebsbereite Rettungswege angebunden sein. Die Aufrechterhaltung der Sicherheit und das Freihalten der Rettungswege von Hindernissen ist zu gewährleisten. Um in Notfallsituation eine optimale Evakuierung zu gewährleisten, müssen die Fluchtwege ausreichend gekennzeichnet und baulich angemessen sein. Rettungswege von den Treppenhäusern zu den Rettungsmitteln müssen brandschutztechnisch so ausgelegt sein, dass eine sichere Evakuierung über diese möglich ist (7).

**Gegenüberstellung:**

Bezüglich der Rettungswege stimmen die Regelungen aus Schiff- und Landbau weitestgehend überein. Es sind mindestens zwei bauliche Rettungswege gefordert, die möglichst weit voneinander entfernt und in entgegengesetzter Richtung liegen müssen. Somit hat der Besucher immer zwei Möglichkeiten den Raum zu verlassen. Selbst wenn ein Rettungsweg durch z.B. ein Feuer versperrt sein sollte, kann er sich über den zweiten Rettungsweg in Sicherheit bringen, der im besten Fall in entgegengesetzter Richtung zur Gefahrenquelle liegt. Beide Rettungswege müssen baulich sein, da die Kapazität der Rettungsgeräte der Feuerwehr nicht für die Personenanzahl in einer Versammlungsstätte ausgelegt ist, bzw. die Evakuierung über diese zu lange dauern würde. Auf Schiffen hätte man ohnehin nicht die Möglichkeit über Rettungsgeräte der Feuerwehr zu evakuieren. Ein weiterer gemeinsamer Punkt ist eine ausreichende Kennzeichnung von Ausgängen und Rettungswegen sowie deren Freihaltung.

### **5.3 Bemessung der Rettungswege**

**MVStättV (§ 7):**

Die Entfernung von jedem Punkt im Versammlungsraum bis zum nächsten Ausgang darf eine Länge von 30 m nicht überschreiten. Bei mehr als 5 m lichter Höhe ist je 2,5 m zusätzlicher lichter Höhe eine Erweiterung dieser Entfernung um 5 m zulässig. Eine Entfernung von 60 m bis zum nächsten Ausgang darf jedoch nicht überschritten werden. Für Versammlungsstätten, außer Versammlungsstätten im Freien sowie Sportstadien, ist eine Rettungswegbreite von 1,20 m je 200 Personen gefordert, mindestens muss sie jedoch 1,20 m betragen. Staffelungen sind nur in Schritten von 0,60 m zulässig (14).

**MBO:**

Relevante Regelungen in der MBO werden durch die Vorschriften in § 7 der MVStättV modifiziert und sind somit nicht anzuwenden.

**SOLAS (Chapter II-2, Part D) und FSS Code (Chapter 13):**

Bezüglich der Rettungsweglänge gibt es keine Vorgaben in der SOLAS. Es gibt jedoch Berechnungen für Treppenbreiten, die auch für Türen und Korridore anzuwenden sind. Die lichte Breite soll 0,90 m nicht unterschreiten. Es gilt 0,01 m Öffnungsbreite pro Person. Die Treppenbreiten werden anhand der Belegung der zu evakuierenden Bereiche kalkuliert. Es gilt: 100% Passagiere + 2/3 Besatzung. Somit ergibt sich folgende Formel (15):

$$W = 0,01 \text{ m} * (N_{\text{Passagiere}} + N_{\text{Besatzung}} * 0,75)$$

*Dabei gilt:*

$W$  = Rettungswegbreite [m]

$N$  = Dimensionslose Personenanzahl

**Gegenüberstellung:**

Die MVStättV enthält konkrete Angaben bezüglich Rettungsweglängen- und Breiten und gibt somit bauliche Maßnahmen vor, um den Schutzziele im Landbau zu entsprechen. Die Rettungsweglänge ist dabei nicht starr. Durch Erweiterung der Deckenhöhe ist es möglich die Fluchtwege zum nächsten Ausgang zu verlängern. Dies ist darauf begründet, dass durch eine hohe Decke mehr Volumen zur Verfügung steht und somit die rauchfreie Schicht am Boden länger erhalten werden kann. Folglich haben die Passagiere mehr Zeit, um zum nächsten Ausgang zu gelangen. Der FSS Code auf den die SOLAS verweist enthält Berechnungen zu den geforderten Rettungswegbreiten, jedoch nicht zu den Rettungsweglängen. Um zu überprüfen, ob die Schutzziele unter den baulichen Gegebenheiten dennoch erreicht werden, werden i. d. R. Evakuierungsanalysen durchgeführt. Diese sind allerdings derzeit nur für Ro-Ro Passagierschiffe (Roll on Roll off) gefordert (8).

Bezüglich der Rettungswegbreiten gibt es verschiedene Ansätze im Schiff- und Landbau. Der FSS Code fordert eine Mindestbreite von 0,90 m, die MVStättV hingegen eine Breite von 1,20 m. Die Mindestbreite von 1,20 m ist im Modul des Entwurfs der DIN-EN 13200 1:1998-06 begründet. Dieses Modul legt eine Breite des Rettungsweges von 0,60 m pro Person fest. Die Rettungswegbreite soll für zwei Personen ausgelegt sein. Folglich ergibt sich eine Mindestbreite von 2 x 0,60 m. Nach DIN 18024 wäre ohnehin eine Mindestbreite von 0,90 m erforderlich. Durch eine Türöffnung von 1,20 m können also jeweils zwei Personen gleichzeitig den Raum verlassen. Die Bemessung der Rettungswegbreite erfolgt in einer Staffelung von 0,60 m, da man immer mit einer ganzen Person rechnet. Die Annahmen, die in diesem Modul getätigt wurden, entsprechen sowohl bisherigen wissenschaftlichen Untersuchungen als auch den hydraulischen Modellen und sind durch Versuche in der Praxis

bestätigt worden (16 S. 14). Eine Mindestbreite von 0,90 m im FSS Code ergibt sich durch die Annahme von 0,01 m pro Person bei einer Mindestzahl von 90 Personen. Auch wenn sich die Ansätze bezüglich der Mindestbreiten unterscheiden, haben der Land- und Schiffbau eine Gemeinsamkeit. Beide berücksichtigen bei der Ermittlung der Rettungswegbreiten die tatsächliche Anzahl von Personen, die den betrachteten Rettungsweg benutzen. Dabei bezieht sich der FSS Code auf einzelne Personen, wohingegen die MVStättV die Breiten je 200 Personen berechnet. Bei 1000 Personen ergibt sich nach Berechnungen des FSS Codes eine Breite von 10 m (Besatzung nicht berücksichtigt) und nach MVStättV eine Breite von 6 m. Die verhältnismäßig geringe Breite die sich für Versammlungsstätten im Landbau ergibt, wird durch das Modulsystem gerechtfertigt. Durch das Modulsystem sollen Rettungswege effektiver genutzt und dadurch deren Kapazität erhöht werden.

#### 5.4 Treppen und Treppenräume

##### **MVStättV (§ 8):**

Die Bestimmung der gesamten benötigten Treppenbreite erfolgt, wie in Kapitel 5.3 beschrieben, über Berechnungen für den Rettungsweg. Die lichte Breite notwendiger Treppen darf jedoch nicht mehr als 2,40 m betragen. Zur sicheren Nutzung müssen alle notwendigen Treppen und alle Treppen, die dem allgemeinen Besucherverkehr dienen, mit griffsicheren Handläufen ausgestattet sein. Diese Handläufe dürfen keine freien Enden besitzen an denen die Personen hängen bleiben könnten und sind über Treppenabsätze fortzuführen. Mit Ausnahme von Außentreppen müssen diese Treppen über geschlossene Trittstufen verfügen. Wendeltreppen sind als notwendige Treppen unzulässig (14).

##### **MBO (§ 34, § 35):**

Jedes Geschoss, das nicht zu ebener Erde liegt, muss mindestens über eine notwendige Treppe zugänglich sein. Diese sind in einem Zuge zu allen angeschlossenen Geschossen zu führen. Treppen dürfen nicht unmittelbar hinter Türen beginnen, die in Richtung der Treppe aufschlagen. Es ist hier für einen ausreichenden Abstand zwischen Tür und Treppe zu sorgen. Zur Sicherstellung der Rettungswege ins Freie müssen alle notwendigen Treppen in notwendigen Treppenräumen liegen. Dabei müssen diese so angeordnet und beschaffen sein, dass sie im Brandfalle eine ausreichend lange Nutzung ermöglichen. Jeder notwendige Treppenraum muss einen unmittelbaren Ausgang ins Freie haben. Sollte dies nicht möglich sein, so muss der Raum zwischen dem notwendigen Treppenraum und dem Ausgang ins Freie mindestens so breit sein wie die dazugehörigen Treppenläufe (2).

##### **SOLAS (Chapter II-2, Part D) und FSS Code (Chapter 13):**

Zum Schutz vor Rauch und Feuer muss mindestens einer der geforderten Rettungswege durch einen notwendigen Treppenraum führen. Zudem müssen Treppen so angeordnet sein, dass eine Flucht von den Aufenthaltsräumen der Passagiere oder der Crew zu den Rettungsbooten bzw. zum

Ausbootungsdeck gewährleistet ist. Um Stauungen zu vermeiden, müssen notwendige Treppenräume direkten Anschluss an Korridore haben und für die maximal zu erwartende Anzahl an Personen ausgelegt sein. Öffentliche Aufenthaltsräume können ebenfalls direkten Anschluss an die Treppenräume haben. Kleine Verbindungskorridore müssen mindestens eine Grundfläche von 4,50 m besitzen und dürfen nicht schmaler als 0,90 m sein (7). Die gesamte geforderte Treppenbreite berechnet sich wie in Kapitel 5.3 beschrieben, jedoch darf die maximale lichte Breite von 1,80 m pro Treppe nicht überschritten werden. Treppen dürfen ohne Treppenabsatz nicht mehr als 3,50 m Höhe überwinden und dürfen eine Steigung von 45° nicht überschreiten (15).

#### **Gegenüberstellung:**

Prinzipiell werden hier im Schiffbau und im Landbau dieselben Anforderungen gestellt. Das bedeutet, dass mindestens einer der Rettungswege durch einen notwendigen Treppenraum führen muss, um so eine sichere Evakuierung über zu mindestens einen Rettungsweg zu gewährleisten. Dazu müssen die Treppenräume im Brandfalle eine ausreichend lange Nutzung ermöglichen. Zudem müssen Treppenhäuser den größtmöglichen Personenstrom gerecht werden. Eine weitere Gemeinsamkeit ist das Festlegen der maximalen lichten Breite einer Treppe. Hiermit will man eine sichere Begehbarkeit der Treppen im Fall einer Evakuierung gewährleisten, die Personenströme ordnen und diese auf mehrere Treppen verteilen (16). Die Berechnung der Treppenbreite ist bereits in Kapitel 5.3 beschrieben. Anders als im FSS Code gibt weder die MBO noch die MVStättV Angaben hinsichtlich der maximalen Höhe oder Steigung von Treppen. Jedoch gibt es Vorgaben in der DIN 18065. Diese gibt eine Steigung von 0,14 m - 0,20 m und einen Auftritt von 0,23 m – 0,37 m für Treppen vor.

## **5.5 Türen**

#### **MVStättV (§ 9):**

Türen in Rettungswegen müssen in Fluchtrichtung aufschlagen, dürfen keine Schwellen haben und dürfen im Betrieb nicht verschlossen sein. Zudem müssen die Besucher in der Lage sein die Türen zu jeder Zeit von innen leicht und in voller Breite zu öffnen. Die Türbreiten berechnen sich wie in Kapitel 5.3 beschrieben (14).

#### **MBO (§ 37):**

Die MBO enthält keine weiteren relevanten Angaben hinsichtlich Türen.

#### **SOLAS (Chapter II-2, Part D):**

Türen in Rettungswegen sollen generell in Fluchtrichtung aufschlagen. Türen von Treppenausgängen, die zu den Sammelstationen führen, dürfen nicht schmaler sein als die Treppe selbst. Die benötigte Breite der Türen berechnet sich wie in Kapitel 5.3 beschrieben. Türen, die Bestandteil von Fluchtwegen sind, dürfen zu keinem Zeitpunkt verschlossen sein. Fluchttüren in öffentlichen

Bereichen, die normalerweise verriegelt sind, müssen mit einem Mechanismus ausgestattet sein, der den Personen erlaubt die Tür leichtgängig und in Fluchtrichtung zu öffnen (7).

**Gegenüberstellung:**

Prinzipiell haben die SOLAS als auch die MVStättV dieselben Anforderungen an Türen von Rettungswegen. Diese sollen zu jedem Zeitpunkt leichtgängig und in Fluchtrichtung zu öffnen sein. Folglich ist ein Abschließen dieser Türen oder sonstige Maßnahmen, die die Benutzbarkeit der Türen einschränken, im Betrieb verboten.

## 5.6 Sicherheitsbeleuchtung, Sicherheitszeichen und Notstromversorgung

**MVStättV (§ 14, § 15, § 6):**

Neben den geforderten Sicherheitszeichen über Ausgängen und entlang von Rettungswegen muss in Versammlungsstätten auch eine Sicherheitsbeleuchtung installiert sein. Sie hat die Aufgabe beim Versagen der allgemeinen Beleuchtung eine sichere Evakuierung der Besucher und des Personals zu den öffentlichen Verkehrsflächen zu gewährleisten. Im Speziellen muss sie vorhanden sein:

- in notwendigen Treppenräumen- und Fluren sowie Räumen zwischen notwendigen Treppenräumen und Ausgängen ins Freie
- in Versammlungsräumen und alle sonstigen Räumen, die für Besucher zugänglich sind, wie z.B. Foyers, Garderoben und Toiletten
- für Sicherheitszeichen von Ausgängen und Rettungswegen
- für Bühnen und Szenenflächen
- für Stufenbeleuchtung
- in Räumlichkeiten für Personal mit mehr als 20m<sup>2</sup> Grundfläche
- in elektrischen Betriebsräumen und in Räumen für haustechnische Anlagen

In betrieblich bedingten verdunkelten Versammlungsräumen sowie auf Bühnen und Szenenflächen kann die Sicherheitsbeleuchtung in Bereitschaftsschaltung vorhanden sein. D.h., dass sie im normalen Betrieb nicht leuchtet bzw. gedimmt ist aber im Falle einer Evakuierung sofort angeschaltet wird. Dies gilt nicht für Ausgänge, Gänge und Stufen in Versammlungsräumen. Diese müssen unabhängig von der übrigen Sicherheitsbeleuchtung jederzeit gut erkennbar sein. Damit im Falle eines Stromausfalles die Sicherheitsbeleuchtung trotzdem funktioniert, muss eine Versammlungsstätte mit einer Sicherheitsstromversorgungsanlage ausgestattet sein. Sie dient jedoch nicht nur dafür den Betrieb der Sicherheitsbeleuchtung zu gewährleisten, sondern auch um die Funktion von automatischen Feuerlöschanlagen, Druckerhöhungsanlagen für die Löschwasserversorgung, Rauchabzugsanlagen, Brandmeldeanlagen, sowie Alarmierungsanlagen sicherzustellen (14).

**MBO:**

Die MBO enthält bezüglich der Sicherheitsbeleuchtung und Notstromversorgung keine ergänzenden Regelungen.

**SOLAS (Chapter II-1, Part D; Chapter II-2, Part D; Chapter III, Section I):**

Durchgänge, Treppen und Ausgänge, die zu den Musterstationen bzw. zum Einbootungsdeck (vergleichbar mit den öffentlichen Verkehrsflächen im Landbau) führen, müssen mit Sicherheitsbeleuchtung ausgestattet sein (17). Zusätzlich zu der Sicherheitsbeleuchtung müssen Rettungswege mit lumineszierenden oder beleuchteten Streifen ausgestattet sein. Diese Streifen dürfen nicht mehr als 0,30 m über den Boden liegen. Neben der Beleuchtung der Rettungswege müssen alle Ausgänge und Rettungswege durch Sicherheitszeichen kenntlich gemacht werden. Diese Zeichen können aktiv beleuchtet sein oder aus einem lumineszierenden Material bestehen. Die Sicherheitsbeleuchtung und alle Sicherheitszeichen, die aktiv beleuchtet werden, müssen durch die Notstromversorgung, die auf Passagierschiffen gefordert ist, betrieben werden können (7).

**Gegenüberstellung:**

Sowohl die SOLAS als auch die MVStättV fordert eine Sicherheitsbeleuchtung und eine Markierung der Rettungswege durch Sicherheitszeichen. Solche Maßnahmen dienen in beiden Fällen der sicheren Nutzung der Rettungswege und der Orientierung der Besucher. Im Gegensatz zur MVStättV fordert die SOLAS zusätzlich zur Sicherheitsbeleuchtung aktiv beleuchtete oder lumineszierenden Streifen in Bodennähe. Bei der Ausführung der Rettungswegmarkierung gibt es weitere Unterschiede: So erlaubt die SOLAS den Einsatz von lumineszierenden Material für wegweisende Zeichen, die MVStättV hingegen fordert hier eine Sicherheitsbeleuchtung. Beim Einsatz einer aktiven Beleuchtung ist man sich jedoch einig. Diese muss, sofern es zu einem Stromausfall kommt, durch die Notstromversorgung betrieben werden können. Anders als die SOLAS sieht die MVStättV neben der Sicherheitsbeleuchtung der Rettungswege eine Sicherheitsbeleuchtung für Versammlungsräume, Bühnen und Szenenflächen vor.

## **5.7 Bestuhlung und Umwehungen**

**MVStättV (§ 10):**

In Reihen angeordnete Stühle müssen fest mit dem Boden verbunden sein. Befinden sich die Stühle nur vorübergehend im Versammlungsraum, so müssen diese innerhalb der Sitzreihen miteinander verbunden werden. Die Mindestbreite von Sitzplätzen beträgt 0,50 m und der Abstand zwischen den Sitzplatzreihen darf 0,40 m nicht unterschreiten. Sitzplätze müssen in Blöcken angeordnet sein und dürfen dabei nicht mehr als 30 Sitzplatzreihen beinhalten. Hinter und zwischen solchen Blöcken müssen Gänge mit einer Mindestbreite von 1,20 m eingerichtet werden. Die geforderte Breite pro Block ergibt sich aus der Berechnung der Rettungswegbreite wie in Kapitel 5.3 beschrieben. Seitlich



eines Ganges dürfen in Versammlungsstätten maximal zehn Sitzplätze und zwischen zwei Gängen maximal 20 Sitzplätze angeordnet sein. Der Weg von einem Tisch zum Gang darf nicht länger als 10 m sein. Der Abstand zwischen zwei Tischen sollte 1,50 m nicht unterschreiten. Flächen, die für die Besucher zugänglich sind und an eine tieferliegende Fläche angrenzen sind generell, sofern diese nicht mit Stufengängen oder Rampen mit tiefer liegenden Flächen verbunden sind, mit Abschränkungen zu umwehren. Abschränkungen wie Geländer oder Glaswände müssen dabei eine Mindesthöhe von 1,10 m haben. Der Abstand von einzelnen Geländerteilen darf nicht mehr als 0,12 m betragen (14).

**MBO:**

Die MBO enthält keine weiteren relevanten Informationen zu diesem Thema.

**SOLAS:**

Anders als die MVStättV enthält die SOLAS keine konkreten Angaben bezüglich der Bestuhlung und Umwehungen, jedoch sind hier die allgemeinen Anforderungen an die Auslegung und sichere Nutzung von Rettungswegen, bzw. die Erreichung der Schutzziele zu berücksichtigen.

**Gegenüberstellung:**

Die MVStättV enthält konkrete Anforderungen an die Bestuhlung in Versammlungsstätten. Somit soll eine schnelle und sichere Evakuierung aus bestuhlten Bereichen ermöglicht werden. Die SOLAS hingegen enthält keine Angaben bezüglich der Anordnung von Stühlen und Sitzreihen, jedoch sind hier die Anforderungen an die Bemessung von Rettungswegen zu berücksichtigen. Ob bestuhlte Bereiche, wie z.B. ein Theater, in angemessener Zeit evakuiert werden kann, ist durch Evakuierungsanalysen ermittelbar. Anders als die MVStättV stellt die SOLAS keine speziellen Anforderungen an die Bemessung von Geländern, was jedoch nicht bedeutet, dass auf solche verzichtet werden kann. Eine sichere Nutzung von öffentlichen Plätzen und Rettungswegen muss aufgrund der definierten Schutzziele ebenfalls gewährleistet werden.

## 5.8 Tabellarische Zusammenfassung

In Tabelle 5 sind die Maßnahmen, die eine Evakuierung bedingen, zusammengefasst.

Tabelle 5: Zusammenfassung der baulichen Maßnahmen aus Land –und Schiffbau

	Schiffbau (SOLAS, FSS CODE)	Landbau (MVStättV, MBO)
<b>Rettungswege</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mindestens zwei bauliche Rettungswege in entgegengesetzter Richtung und so weit wie möglich voneinander entfernt</li> <li>• keine Angaben</li> <li>• min. ein Rettungsweg über notwendige Treppe und Treppenhaus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mindestens zwei bauliche Rettungswege in entgegengesetzter Richtung und so weit wie möglich voneinander entfernt</li> <li>• 30 m, max. 60 m (abhängig von der Deckenhöhe) bis zum nächsten Ausgang</li> <li>• min. ein Rettungsweg über notwendige Treppe und Treppenhaus</li> </ul>
<b>Bemessung der Rettungswegbreiten (Treppen, Türen, Gänge)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,01 m pro Person (75% Besatzung, 100% Passagiere)</li> <li>• Mindestbreite: 0,90 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1,20 m pro 200 Personen</li> <li>• Mindestbreite: 1,20 m</li> </ul>
<b>Treppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindestbreite: 0,90 m</li> <li>• Maximalbreite: 1,80 m</li> <li>• max. Höhe ohne Absatz: 3,50 m</li> <li>• max. Steigung: 45°</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindestbreite: 1,20 m</li> <li>• Maximalbreite: 2,40 m</li> <li>• <u>Nach DIN 18065</u></li> <li>• Steigung pro Stufe: 0,14 m-0,20 m</li> <li>• Auftritt: 0,23 m – 0,37 m</li> </ul>
<b>Türen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindestbreite: 0,90 m</li> <li>• Türen von Rettungswegen dürfen nicht verschlossen sein und müssen in Fluchrichtung aufschlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindestbreite: 1,20 m</li> <li>• Türen von Rettungswegen dürfen nicht verschlossen sein und müssen in Fluchrichtung aufschlagen</li> </ul>

<p><b>Beleuchtung, Sicherheitszeichen</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege</li> <li>• Sicherheitszeichen aus lumineszierenden Material oder beleuchtet durch Sicherheitsbeleuchtung</li>   <li>• Sicherheitsbeleuchtung muss durch Notstromversorgung betrieben werden können</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege</li> <li>• Sicherheitszeichen beleuchtet durch Sicherheitsbeleuchtung</li>   <li>• Sicherheitsbeleuchtung für Versammlungsräume, Bühnen und Szenenflächen</li>   <li>• Sicherheitsbeleuchtung muss durch Notstromversorgung betrieben werden können</li> </ul>
<p><b>Bestuhlung, Umwehungen</b></p>	<p>keine Angaben</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abstand zwischen Sitzreihen: 0,40 m</li> <li>• max. 10 Sitzplätze am Gang = 20 pro Block</li> <li>• max. 30 Reihen pro Block</li>   <li>• Abstand Tisch zum Gang: Max. 10 m</li> <li>• Abstand zwischen Tischen: Min. 1,50 m</li>   <li>• Höhe Umwehrung: 1,10 m</li> <li>• Abstand der Geländerteile: Max. 0,12 m</li> </ul>

## 6 Modellierung der schwimmenden Versammlungsstätte

Im folgenden Kapitel soll die schwimmende Versammlungsstätte modelliert werden. Dazu werden zunächst grundlegende Annahmen getroffen, die in Zusammenarbeit mit Herrn Sebastian Milek erarbeitet wurden. Anschließend wird die Versammlungsstätte unter Berücksichtigung der Regelungen aus Land- und Schiffbau geplant.

### 6.1 Grundlegende Annahmen und Maße

Als Grundlage der schwimmenden Versammlungsstätte dient ein Schubleichter vom Typ Europa IIa. Der Schubleichter hat eine Länge von 76,5 m und eine Breite von 11,4 m. Die Außenwände haben eine Stärke von 1,20 m. Somit ergibt sich eine nutzbare Grundfläche im Unterdeck von ca. 667 m<sup>2</sup>. Abzüglich der Flächen für Bars und Szenefläche (ca. 56 m<sup>2</sup>), Treppenhäuser (ca. 56 m<sup>2</sup>) sowie für Lager, Umkleide, Technikraum etc. (ca. 55 m<sup>2</sup>) ergibt sich für die Besucher eine zugängliche Grundfläche von 500 m<sup>2</sup> (inkl. Toiletten). Auf dem Oberdeck werden ebenfalls zwei Räume von je ca. 40 m<sup>2</sup> bereitgestellt, die z.B. für Garderobe Notstromaggregat und weitere Lager genutzt werden können. Die für Besucher zugängliche Fläche auf dem Oberdeck beläuft sich auf ca. 322 m<sup>2</sup> und wird bei der Ermittlung der Besucherzahl nicht berücksichtigt, da sich die Veranstaltung auf das Unterdeck fokussiert. Der Versammlungsraum im Unterdeck hat eine Fläche von ca. 440 m<sup>2</sup> und ist mit einer Glaskonstruktion überdacht (s. Abbildung 8). Voraussetzung für die weitere Planung ist, dass die schwimmende Versammlungsstätte während des Betriebes mit dem Land verbunden ist, sodass eine Evakuierung über die Gangways erfolgen kann.

Nach § 1 der MVStättV werden zwei Besucher je m<sup>2</sup> Grundfläche des Versammlungsraumes angenommen. Dies gilt für Sitzplätze in Reihen und Stehplätze (14). Nach Kapitel 13 des FSS Code ist die Besucheranzahl nach Anzahl der Sitzplätze oder ähnlichen Anordnungen zu bemessen. Auf freien Flächen wird mit einer Person je 2 m<sup>2</sup> Grundfläche gerechnet (15). Aus der Bemessungsformel der MVStättV ergeben sich somit wesentlich mehr Personen pro m<sup>2</sup> Grundfläche, was jedoch in dieser Arbeit Anwendung finden soll, da die MVStättV im Speziellen den heutigen Veranstaltungscharakter berücksichtigt, der aus wirtschaftlichen Gründen eine maximale Auslastung der Versammlungsstätte vorsieht (16 S. 14). Demnach ergibt sich für 500 m<sup>2</sup> Grundfläche eine Besucherzahl von 1000 Personen, davon 40 Personen Personal.

Nach § 12 der MVStättV werden für 1000 Personen (500 Frauen + 500 Männer) sechs Toilettenbecken für Frauen sowie sechs Urinale und vier Toilettenbecken für Männer benötigt (14). Hierfür soll eine Gesamtfläche von ca. 60 m<sup>2</sup> bereitgestellt werden.

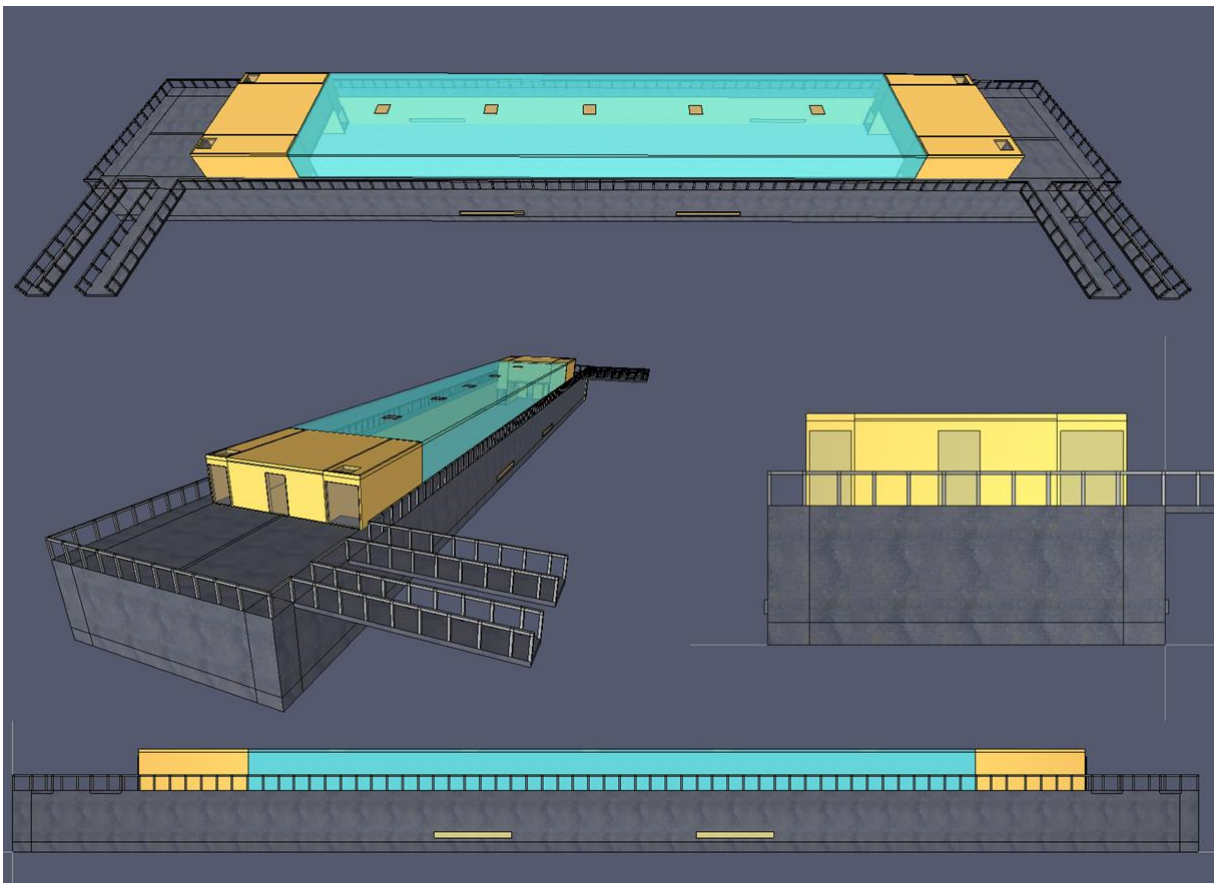


Abbildung 8: Außenansicht der schwimmenden Versammlungsstätte

In diesem Projekt wird auf die behindertengerechte Gestaltung der Versammlungsstätte nicht näher eingegangen. Im Falle einer realen Umsetzung muss dieses jedoch berücksichtigt werden.

Die Versammlungsstätte soll in zwei Nutzungsarten unterschieden werden, was Auswirkung auf die Innenausstattung und somit auf die Evakuierung hat. Näheres dazu in Kapitel 6.2.

## 6.2 Bauliche Planung und Ausstattung

### 6.2.1 Nutzungsart unabhängige Planung

Wie bereits in Kapitel 6.1 beschrieben, soll die schwimmende Versammlungsstätte in zwei Nutzungsarten unterschieden werden. Nutzungsart 1 soll dabei mit einer Szenefläche, zwei Bars und Sitzreihen (um die Szenefläche angeordnet) ausgestattet sein. Nutzungsart 2 soll drei Bars, eine kleine Szenefläche und Sitzgelegenheiten beinhalten. Auf eine großräumige Bestuhlung wird verzichtet, da die offenen Flächen als Tanzflächen o.Ä. dienen sollen. Grund dieser Unterscheidung ist der Einfluss der Innenausstattung auf die Dauer und Qualität der Evakuierung. Das Oberdeck, die Toilettenräume sowie die Räume für Lager, Technik und Umkleide sind unabhängig von der Nutzungsart immer gleich bemaßt. Auch die Bemessung der Rettungswege bleibt unverändert.

Die ursprüngliche Höhe des Laderaums des Schubleichters beträgt 4,45 m. Dieser Laderaum wird mittels Glasdach überdacht. Dadurch ergibt sich im Versammlungsraum unter dem Glasdach eine

Deckenhöhe von 6 m. Das Dach ist auf dem Oberdeck zwischen zwei Räumlichkeiten (Raum II und III) angeordnet, die jeweils eine Fläche von 40 m<sup>2</sup> besitzen (s. Abbildung 9). Seitlich des Daches befinden sich zwei für die Besucher zugängliche Gänge von 1,20 m Breite. Am Heck des Schiffes im Unterdeck befinden sich zwei Räume von insgesamt ca. 60 m<sup>2</sup> Größe, die für Toiletten vorgesehen sind. Am Bug befindet sich ein Raum von ca. 55 m<sup>2</sup> Fläche, der für Besucher unzugänglich ist und je nach Nutzungsart unterteilt werden kann (s. Abbildung 10).

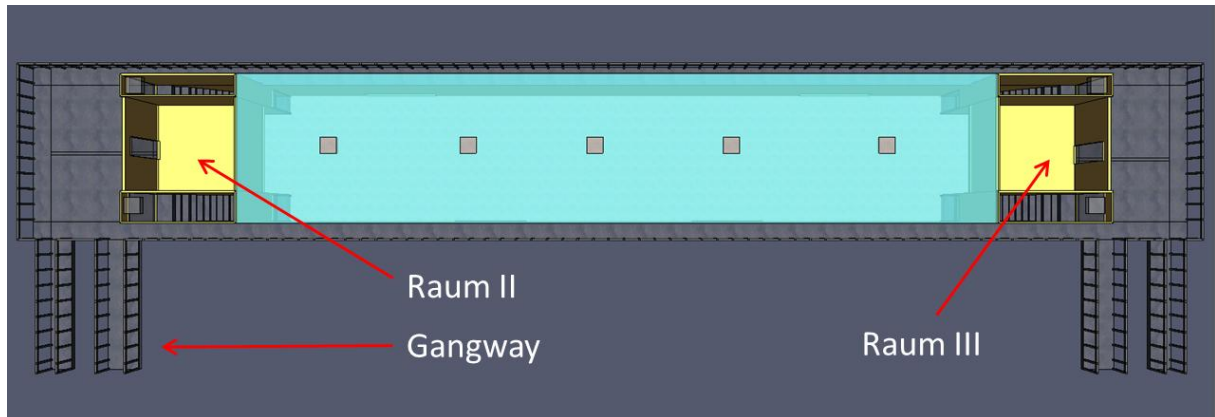


Abbildung 9: Oberdeck der schwimmenden Versammlungsstätte

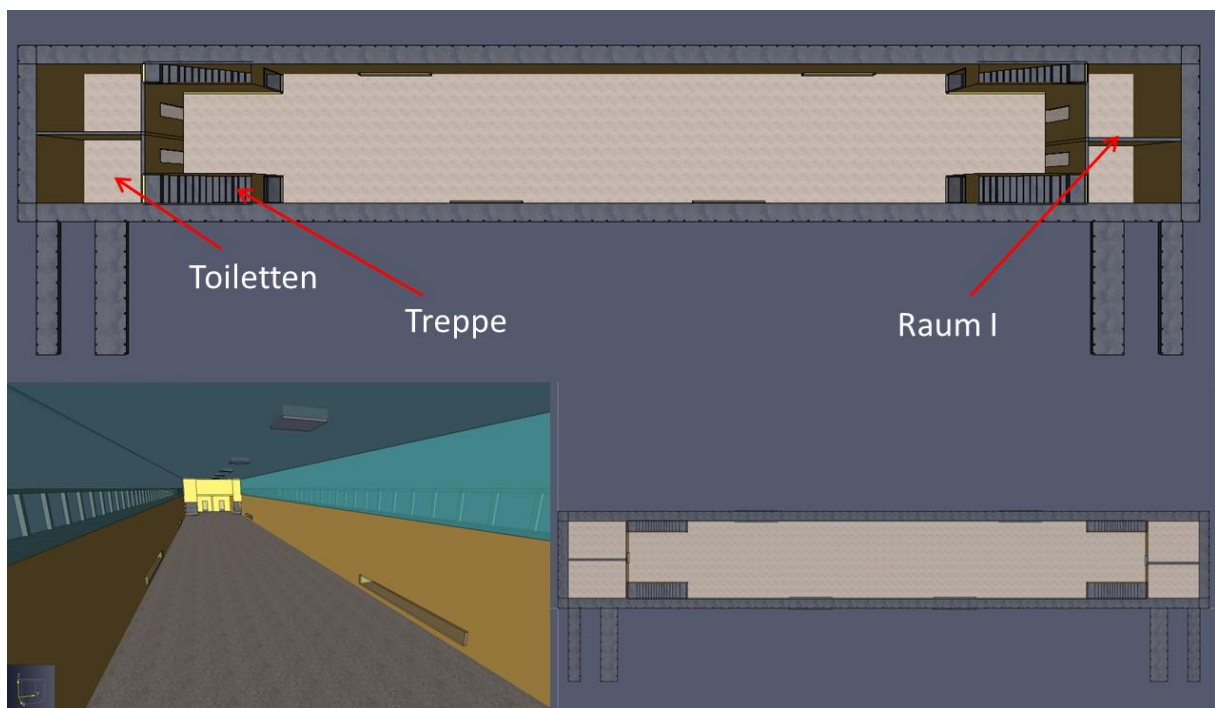


Abbildung 10: Unterdeck der schwimmenden Versammlungsstätte

Vom Versammlungsraum im Unterdeck sollen vier Treppen ans Oberdeck führen (s. Abbildung 10). Dabei liegen jeweils zwei Treppen an den Seitenwänden vor den Toilettenräumen bzw. der Räumlichkeit am Bug des Schiffes. Die Treppen führen links und rechts der Räume am Oberdeck ins Freie. Zwei Treppen haben eine lichte Breite von 1,20 und die restlichen Zwei eine Breite von 1,80 m. Die breiteren Türen liegen dabei auf der Seite der Gangways. Die Maße der Treppen ergeben sich aus

der Berechnung der MVStättV. Hier sind je 200 Besucher 1,20 m lichte Breite Rettungsweg gefordert. Somit ergibt sich eine Gesamtbreite der Rettungswege für 1000 Personen von 6 m. Die Staffelung von 0,60 m ist ebenfalls in den Treppenbreiten berücksichtigt (14). Wie in Kapitel 5.3 beschrieben, ergibt sich nach FFS Code folgende Rechnung:

$$W = 0,01 * (960 + 40 * 0,75) = 9,90 \text{ m}$$

Die Rettungswegbreite, die sich durch diese Rechnung ergibt, soll jedoch nicht angewendet werden, da sie für die geplante Versammlungsstätte als überdimensioniert angesehen wird. Dies ist darauf begründet, dass die Treppen nur vom unteren Deck genutzt werden und somit keine Personenströme in dem Treppenhaus zusammenlaufen. Zusätzlich wird die Evakuierungssimulation zeigen, ob die angenommenen Treppenbreiten für die Personenströme ausreichend dimensioniert sind. Da es im Unterdeck nur die Möglichkeit gibt über die Treppen ins Freie zu gelangen, sollen diese durch notwendige Treppenhäuser geschützt werden. Unabhängig von der Breite soll jede Treppe 7 m<sup>3</sup> lang sein. Dadurch ergibt sich eine angemessene Steigungshöhe (0,17 m) und Auftrittsweite (0,26 m), die der DIN 18065 entspricht. Die Anforderungen in der SOLAS werden ebenfalls erfüllt (max. 45° Steigung, max. 3,50 m Höhe ohne Treppenabsatz). Jede Treppe wird zudem oben und unten mit einem Treppenabsatz von 1 m Länge und einem Handlauf, der über die Treppenabsätze fortgeführt wird, ausgestattet. Das ermöglicht eine sichere Nutzung und das Öffnen der Tür in Fluchrichtung. Im FSS Code ist eine maximale Breite von 1,80 m erlaubt (15), wohingegen die MVStättV eine maximale Breite von 2,40 m vorschreibt (14). Die maximale Treppenbreite dieser Versammlungsstätte liegt bei 1,80 m und erfüllt somit die Anforderungen der SOLAS als auch der MVStättV. Die Türen in den notwendigen Treppenhäusern müssen, wenn sie voll geöffnet sind, mindestens eine lichte Breite wie die dazugehörigen Treppen haben und sollen eine Höhe von 2,10 nicht unterschreiten. Zudem sollen sie in Fluchtwegrichtung aufschlagen. Dies gilt auch für alle anderen Türen, wie z.B. der Türen in den Toilettenräumen und Lager. Da diese Türen jedoch nicht Bestandteil des Rettungsweges sind, wird hier eine lichte Breite von 0,90 m vorgesehen.

Am Oberdeck befinden sich jeweils zwei Gangways am Bug und Heck des Schiffes, sodass insgesamt vier Gangways zur Verfügung stehen. Eine der zwei Gangways am Bug bzw. Heck hat eine Breite von 1,80 m und liegt an der Innenseite. Die zweite Gangway hat eine Breite von 1,20 m. Dadurch wird eine Gesamtbreite von 6 m erreicht, was der vorgesehenen Rettungswegbreite entspricht. Die Gangways sowie das Oberdeck sind mit einem Geländer mit einer Höhe von 1,10 m und einem Abstand der Streben von maximal 0,12 m, ausgestattet und entsprechen somit den Vorgaben in der MVStättV (14).

---

<sup>3</sup> Ermittelt durch ein Treppenberechnungstool

Der maximale Weg von jedem Ort im Versammlungsraum bis zum nächsten notwendigen Treppenhaus beträgt maximal 21,5 m. Nach MVStättV wären maximal 30 m zulässig, unter Berücksichtigung der lichten Deckenhöhe von 6 m sogar maximal 35 m (14). Wie bereits in Kapitel 5.3 beschrieben, enthält die SOLAS keinerlei Angaben bezüglich der maximalen Entfernung bis zum nächsten Ausgang. Die baulich bedingte Entfernung bis zum nächsten Ausgang liegt laut MVStättV im Sollbereich, jedoch wäre dies nicht zwingend notwendig, da ohnehin eine Evakuierungssimulation durchgeführt wird und sich dadurch die Bewertung an den Evakuierungszeiten orientiert.

Die Rettungswege sind mit Sicherheitszeichen kenntlich gemacht und mit Sicherheitsbeleuchtung ausgestattet. Auch der Versammlungsraum verfügt über eine Sicherheitsbeleuchtung, die jedoch in Bereitschaftsschaltung ausgeführt ist. Die Sicherheitszeichen und die Sicherheitsbeleuchtung können über den Notstromgenerator gespeist werden.

### 6.2.2 Nutzungsart 1

Bei dieser Nutzungsart soll der Versammlungsraum mit einer Szenefläche, Bestuhlung und zwei Bars ausgestattet sein (s. Abbildung 11). Bei der Bestuhlung werden die Vorgaben der MVStättV angewendet, da die SOLAS keine Regelungen diesbezüglich hat und die Treppen ebenfalls nach dem Modulsystem der MVStättV ausgelegt wurden. Die Stuhlreihen sind in Sitzblöcke unterteilt. Block eins und drei besitzen 13 Sitzreihen mit jeweils 6-16 Sitzen. Links und rechts neben dem Block befinden sich Gänge von mindestens 1,20 m Breite. Hinter dem Block befindet sich eine freie Fläche mit einer Bar. Block zwei besitzt fünf Sitzreihen mit jeweils 12 Sitzen. Links und rechts sowie hinter dem Block befinden sich Gänge von mindestens 1,20 m Breite. Alle Sitzreihen der Blöcke haben einen Abstand von mindestens 0,40 m. Insgesamt bieten die Sitzreihen Platz für ca. 538 Personen. Die Szenefläche hat eine Fläche von ca. 28 m<sup>2</sup> und die Bars haben eine Gesamtfläche von ebenfalls 28 m<sup>2</sup>.



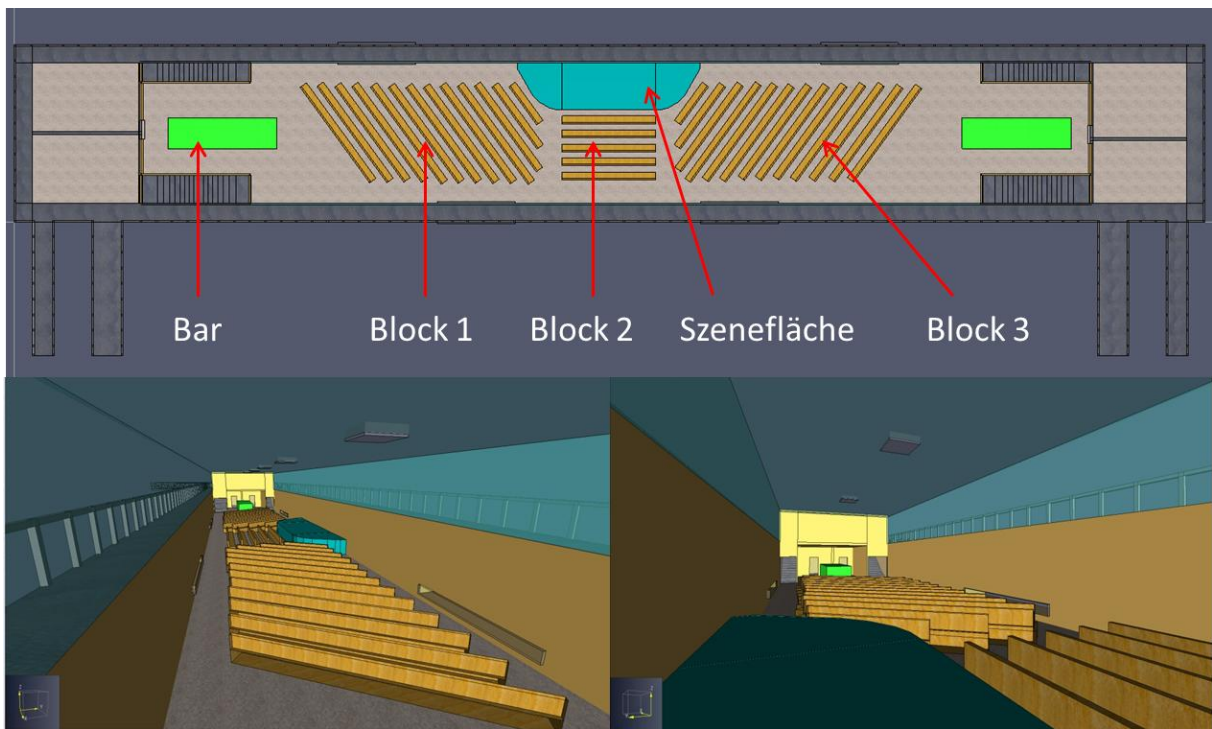


Abbildung 11: Nutzungsart 1 der schwimmenden Versammlungsstätte

### 6.2.3 Nutzungsart 2

Bei dieser Nutzungsart soll der Versammlungsraum mit einer kleinen Szenefläche, drei Bars sowie Sitzgelegenheiten ausgestattet sein (s. Abbildung 12). Die Szenefläche befindet sich mittig an der Wand und hat eine Fläche von ca. 18 m<sup>2</sup>. Zwei Bars befinden sich mittig links und rechts neben der Szenefläche. Die dritte Bar befindet sich gegenüber der Szenefläche. Insgesamt ist eine Fläche von 38 m<sup>2</sup> für die Bars vorgesehen. Links und rechts neben der Szenefläche befinden sich Sitzgelegenheiten. Die restliche Fläche ist unbestuhlt.

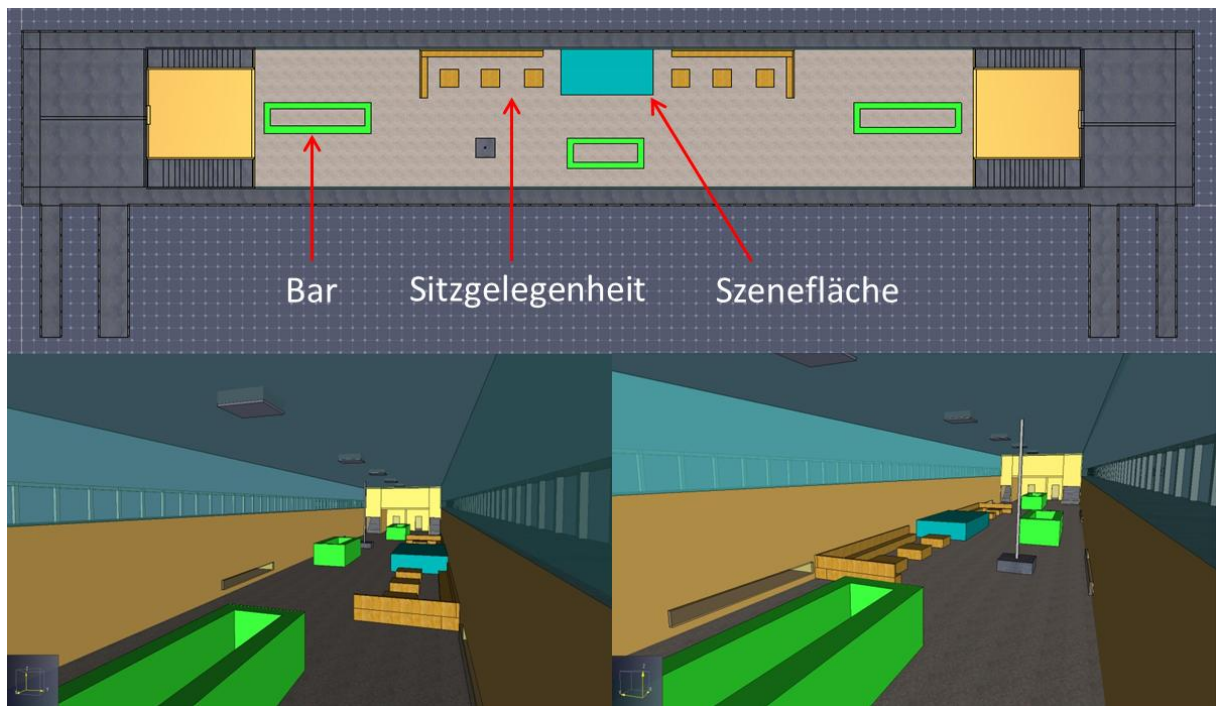


Abbildung 12: Nutzungsart 2 der schwimmenden Versammlungsstätte

### 6.3 Tabellarische Zusammenfassung

Grundlegendes	
Außenmaße	Länge: 76,5 m Breite: 11,4 m Höhe: 6,65 m
Innenmaße	Länge: 74,1 m Breite: 9 m Höhe unter dem Glasdach: 6 m
Zugängliche Fläche auf dem Unterdeck	ca. 500 m <sup>2</sup>
Zugängliche Fläche auf dem Oberdeck	ca. 322 m <sup>2</sup>
Personenanzahl	1000 Personen (960 Besucher + 40 Personal)
Räume und Ausstattung auf Ober –und Unterdeck	
Toiletten	ca. 60 m <sup>2</sup>
Individuell nutzbarer Raum I	ca. 55 m <sup>2</sup> (Unterdeck)
Individuell nutzbarer Raum II	ca. 40 m <sup>2</sup> (Oberdeck)
Individuell nutzbarer Raum III	ca. 40 m <sup>2</sup> (Oberdeck)
Veranstaltungsraum	ca. 440 m <sup>2</sup>

Szenefläche und Bars	Ca. 56 m <sup>2</sup>
<b>Evakuierungsbedingte Planung</b>	
max. Weg zum nächsten Ausgang	21,5 m
notwendige Treppen mit notwendigem Treppenhaus	<p><u>Je eine Treppe im Bug und Heck</u></p> <p>Lichte Breite: 1,2 m Länge: 5 m Treppenabsatz ober und unterhalb der Treppe: 1 m</p> <p><u>Je eine Treppe im Bug und Heck</u></p> <p>Lichte Breite: 1,8 m Länge: 5 m Treppenabsatz ober und unterhalb der Treppe: 1 m</p>
Türen	<p><u>Türen im notwendigen Treppenhaus</u></p> <p>Breite: Mind. die selbe lichte Breite wie die der Treppen Höhe: 2,1 m</p> <p><u>Sonstige Türen</u></p> <p>Breite: 0,9 m Höhe: 2,1 m</p>
Gangways	<p><u>Je eine Gangway am Bug und Heck</u></p> <p>Lichte Breite: 1,2 m Länge: 3 m</p> <p><u>Je eine Gangway am Bug und Heck</u></p> <p>Lichte Breite: 1,8 m Länge: 3 m</p>
offene Gänge seitlich des Glasdaches	Lichte Breite: 1,2 m Länge: 61,1 m
optionale Bestuhlung	Reihenabstand: 0,4 m Gänge zwischen und hinter den Sitzblöcken: 1,2 m
Sicherheitsbeleuchtung	Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege, und Veranstaltungsraum
Sicherheitszeichen	Rettungswege sind mit Sicherheitszeichen kenntlich gemacht
Notstromgenerator	vorhanden

## 7 Annahmen der Evakuierungssimulation

### 7.1 Allgemeine Annahmen

Es wird davon ausgegangen, dass alle Personen die vorgesehenen Fluchtwege benutzen bzw. den Sicherheitszeichen folgen. Rauch, Wärmestrahlung sowie toxische Bestandteile eines Verbrennungsprozesses werden nicht berücksichtigt. Zudem fließt das Gruppenverhalten von Familien nicht in die Simulation mit ein (8 S. 30).

### 7.2 Personen

#### 7.2.1 Demographische Parameter

In dieser Arbeit werden zwei mögliche Nutzungsarten der schwimmenden Versammlungsstätte gegeben. Hierdurch soll untersucht werden in wie weit sich die Einrichtung auf die Evakuierungszeit und Staubildung auswirkt. Es soll jedoch keine Vorgabe für eine mögliche reale Umsetzung sein. Es soll allein im Ermessen des Veranstalters liegen, welche Nutzungsart er im konkreten Sinne vorsieht. Aus diesem Grund wird die angenommene Altersstruktur allgemein gehalten. Hierfür eignen sich die Modellierungsparameter aus dem Rundschreiben MSC/Circ. 1238, da sie verschiedene Altersstrukturen und die dazugehörige Mobilität berücksichtigen. Die Reaktionszeit richtet sich nach den Werten des Tagfalls (s. Kapitel 4.2.2). Der Nachtfall wird nicht in Betracht gezogen, da sich die Besucher während der Veranstaltung im wachen Zustand befinden und schnell auf eine Gefahr reagieren könnten.

#### 7.2.2 Personenverteilung

Nach MSC/Circ. 1238 ist eine 75%-Belegung der öffentlichen Bereiche vorgesehen (8 S. 38). Da davon auszugehen ist, dass aus ökonomischen Gründen eine volle Auslastung der Versammlungsstätte angestrebt wird, soll von einer 100%-Belegung der schwimmenden Versammlungsstätte ausgegangen werden. Somit ergibt sich eine Personenanzahl von 1000 für beide Nutzungsarten. Für Nutzungsart 1 ergeben sich aufgrund der Bestuhlung 538 Sitzplätze und 422 Stehplätze. Bei der Simulation soll keine Belegung des Oberdecks erfolgen, da sich die Veranstaltung im Unterdeck abspielt und davon ausgegangen wird, dass sich alle Personen dort aufhalten. Die Belegung der Toiletten soll in der Simulation berücksichtigt werden. Die für Besucher unzugänglichen Flächen werden teilweise mit Personal bestückt. Für die zwei Nutzungsarten ergibt sich folgende Personenverteilung:

**Nutzungsart 1:**

Tabelle 6: Personenverteilung Nutzungsart 1

	Besucher	Personal
Toiletten	16	
Versammlungsraum	944	20
Raum I		4
Raum II		2
Raum III		2
Bars		8
Szenefläche		4
Summe	960	40
	1000	

**Nutzungsart 2:**

Tabelle 7: Personenverteilung Nutzungsart 2

	Besucher	Personal
Toiletten	16	
Versammlungsraum	944	18
Raum I		4
Raum II		2
Raum III		2
Bars		12
Szenefläche		2
Summe	960	40
	1000	

**7.3 Geometrie**

Bedingt durch die zwei Nutzungsarten gibt es zwei verschiedene Geometrien die simuliert werden sollen (s. Abbildung 13 und Abbildung 14). Dabei unterscheidet sich nur das Unterdeck, das Oberdeck bleibt identisch (s. Abbildung 15). Da AENEAS ein raumdiskretes Modell ist, können nicht alle Maße der schwimmenden Versammlungsstätte exakt eingehalten werden. Wie bereits in Kapitel 4.2.1 beschrieben ist man an die Zellgröße von 0,40 m x 0,40 m gebunden. Der Ansatz soll hier konservativ sein. D.h., dass z.B. eine Treppenbreite von 1,80 m in AENEAS mit einer Breite von 1,60 m modelliert wird und nicht mit der nächst größeren Breite von 2 m. Auch die Sitzreihen in der Nutzungsart 1 lassen sich nur annäherungsweise umsetzen. Die Gangways werden wie Treppen modelliert, da davon ausgegangen wird, dass diese nicht waagrecht sind und sich die Gehgeschwindigkeit dadurch

verringert. Um das Potential zu steuern und so eine realitätsnahe Evakuierung zu erhalten, werden teilweise Routen gelegt und virtuelle Türzellen eingefügt.

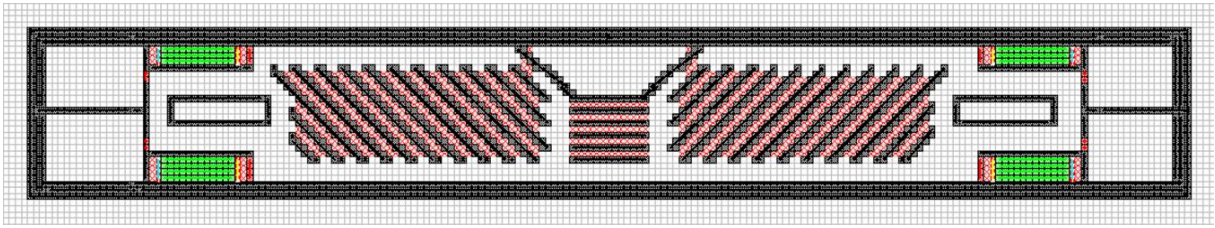


Abbildung 13: Nutzungsart 1 Unterdeck (AENEAS Geometrie)

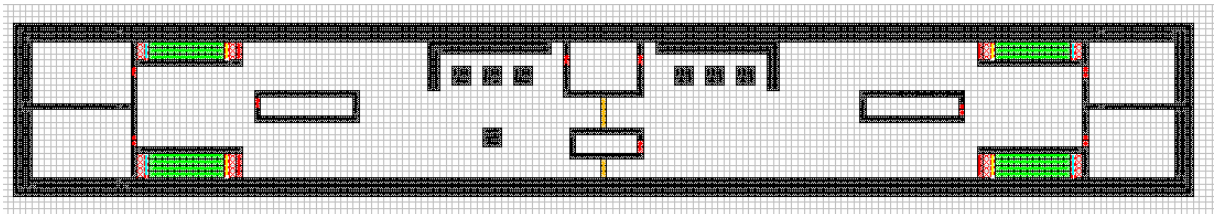


Abbildung 14: Nutzungsart 2 Unterdeck (AENEAS Geometrie)

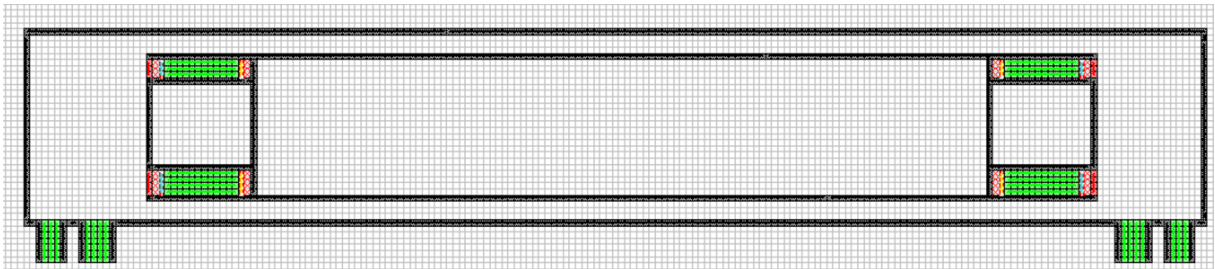


Abbildung 15: Oberdeck (AENEAS Geometrie)

## 7.4 Routen

Die Routen sind immer unabhängig von den Nutzungsarten gleich. Vom Unterdeck führen jeweils zwei Rettungswege vom Heck und Bug der schwimmenden Versammlungsstätte ans Oberdeck. Von dort verlassen die Personen das Schiff direkt über die zwei Gangways, die sich nahe der Treppenausgänge befinden. Die Gänge seitlich des Glasdaches sind für die Besucher zugänglich, jedoch dienen diese nicht primär als Rettungsweg. D.h. es findet kein Transfer von Personen vom Heck zum Bug und umgekehrt statt. Eine Nutzung dieser Gänge als Rettungsweg würde weitere brandschutztechnische Maßnahmen fordern. Am Ende der Gangways befinden sich öffentliche Verkehrsflächen und die Besucher gelten von dort an als gerettet.





Abbildung 16: Fluchtwege der schwimmenden Versammlungsstätte

## 7.5 Szenarien

Je Nutzungsart sollen drei Szenarien simuliert werden. Dabei richten sich die Szenarien nach den folgenden Brandszenarien aus der Bachelorarbeit von Herrn Sebastian Milek.

### Nutzungsart 1:

- Brandszenario 1 (Brand in Sitzblock 3)
- Brandszenario 2 (Brand in der Bar 1)

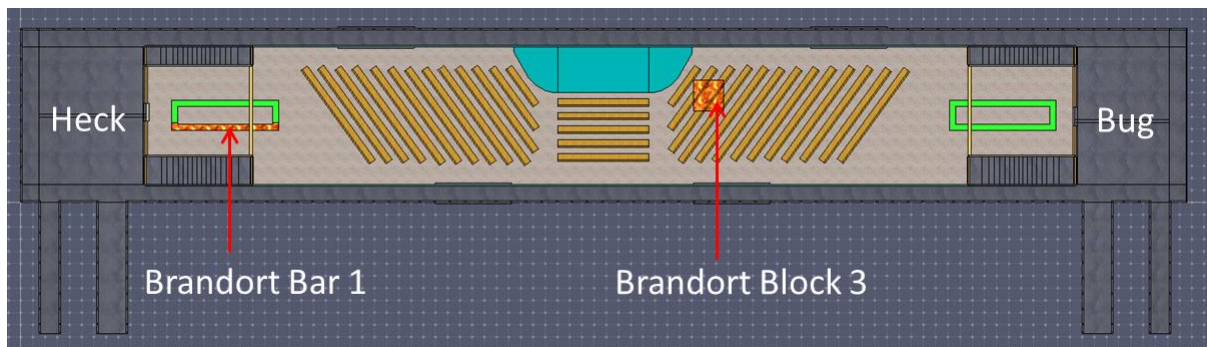


Abbildung 17: Brandorte Nutzungsart 1

### Nutzungsart 2:

- Brandszenario 3 (Brand in der Bar 1)
- Brandszenario 4 (Brand in der Bar 2)

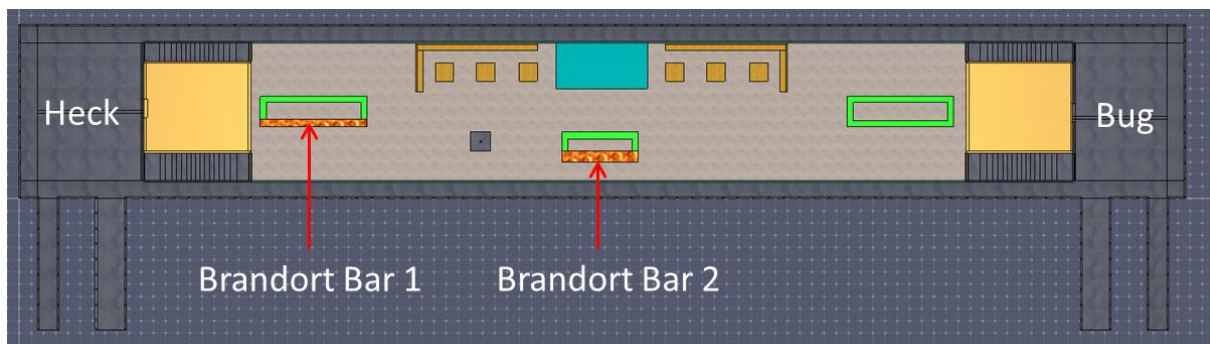


Abbildung 18: Brandorte Nutzungsart 2

Folgende drei Szenarien sollen je Nutzungsart mit AENEAS simuliert werden:

**Nutzungsart 1:**

Szenario 1:

Alle Treppenhäuser und Gangways sind für die Besucher und für das Personal frei zugänglich. Die Personen evakuieren links und rechts von dem Brand in Sitzreihe 3 zu den vier Treppenhäusern. Am Oberdeck angekommen verlassen die Personen die schwimmende Versammlungsstätte über die insgesamt vier Gangways am Bug und Heck.

Szenario 2:

Alle Treppenhäuser und Gangways sind für die Besucher und für das Personal frei zugänglich. Die Personen evakuieren links und rechts von dem Brand in Sitzreihe 3 zu den vier Treppenhäusern. Am Oberdeck fällt am Heck des Schiffes die breitere Gangway (1,80 m) aus, sodass die Personen die öffentlichen Verkehrsflächen nur über die schmalere Gangway erreichen können. Am Bug stehen beide Gangways zur Verfügung. Der Ausfall der Gangway ist ein rein akademischer Ansatz. Im Normalfall wäre der Defekt einer Gangway schon vorher bekannt und die zulässige Personenanzahl müsste reduziert werden bzw. die Personen müssten bereits im Unterdeck vermehrt zu den Ausgängen am Bug geleitet werden.

Szenario 3:

Durch den Brand in der Bar 1 sind die Treppenhäuser neben dieser blockiert bzw. der Brand führt dazu, dass sich die Personen zur gegenüberliegenden Seite bewegen. Nur die Menschen, die sich unmittelbar an der Bar 1 und in den Toilettenräumen befinden evakuieren über diese Treppenhäuser. Die restlichen Personen verlassen über die Treppenhäuser an der gegenüberliegenden Seite die schwimmende Versammlungsstätte und erreichen anschließend über die Gangways am Bug die öffentlichen Verkehrsflächen.

**Nutzungsart 1:**

Szenario 4:

Alle Treppenhäuser und Gangways sind für die Besucher und für das Personal frei zugänglich. Die Personen evakuieren links und rechts von dem Brand in der Bar 2 zu den vier Treppenhäusern. Am Oberdeck angekommen verlassen die Personen die schwimmende Versammlungsstätte über die insgesamt vier Gangways am Bug und Heck.



Szenario 5:

Alle Treppenhäuser und Gangways sind für die Besucher und für das Personal frei zugänglich. Die Personen evakuieren links und rechts von dem Brand in der Bar 2 zu den vier Treppenhäusern. Am Oberdeck fällt am Heck des Schiffes die breitere Gangway (1,80 m) aus, sodass die Personen die öffentlichen Verkehrsflächen nur über die schmalere Gangway erreichen können. Am Bug stehen beide Gangways zur Verfügung.

Szenario 6:

Durch den Brand in der Bar 1 sind die Treppenhäuser neben dieser blockiert. Nur die Personen, die sich unmittelbar an der Bar 1 und in den Toilettenräumen befinden evakuieren über diese Treppenhäuser. Die restlichen Personen verlassen über die Treppenhäuser an der gegenüberliegenden Seite die schwimmende Versammlungsstätte und erreichen anschließend über die Gangways am Bug die öffentlichen Verkehrsflächen.

## 8 Simulationsergebnisse

### 8.1 Szenario 1

#### 8.1.1 Qualität und Dauer der Evakuierung

Der Tabelle 8 ist die statistische Auswertung mit der signifikanten Dauer der 500 Durchläufe sowie die signifikante Dauer des Unterdecks zu entnehmen. Abbildung 19 gibt einen Überblick über die Häufigkeitsverteilung der 500 Durchläufe. In grün die signifikante Dauer des gesamten Evakuierungsprozesses, die bei diesem Szenario bei 6:51 min liegt. Zusätzlich ist in dieser Abbildung die Streuung der Durchläufe visuell verdeutlicht. Um die Personensicherheit im Unterdeck bewerten zu können, wurde ein Logpoint im Unterdeck gesetzt. Dieser Logpoint bezieht sich auf den 95%-Durchlauf und gibt zu jeder Sekunde an, wie viele Personen sich im Unterdeck befinden. In Tabelle 8 gibt die Zeile „Signifikante Dauer Unterdeck“ die Zeit an, bei der sich keine Person mehr im Unterdeck befindet. Diese Zeit liegt bei 5:20 min und kann neben der Tabelle 8 auch der graphischen Darstellung in Tabelle 9 entnommen werden.

Tabelle 8: Simulierte Evakuierungszeit (Szenario 1)

Mittelwert [min:s]	06:04
Standardabweichung [min:s]	00:25
<b>Signifikante Dauer [min:s]</b>	<b>06:51</b>
Minimum Dauer [min:s]	05:22
Maximum Dauer [min:s]	07:50
<b>Signifikante Dauer Unterdeck [min:s]</b>	<b>06:13</b>

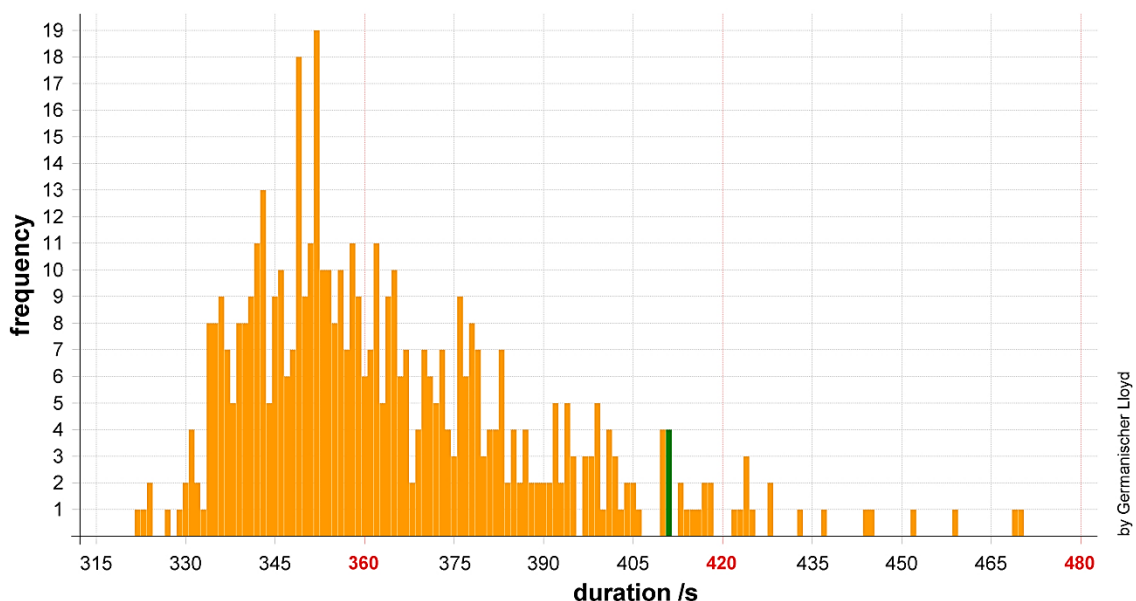
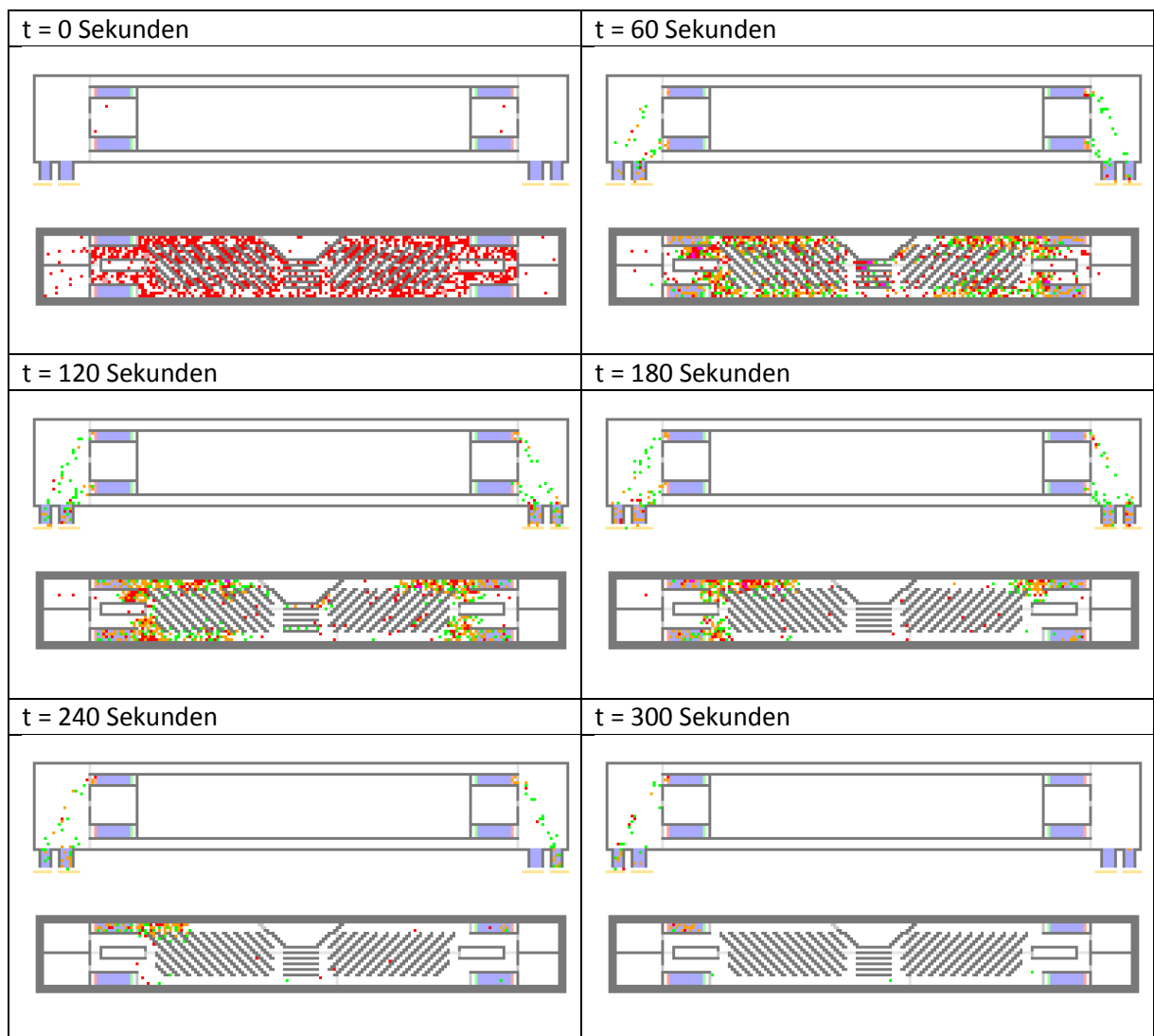
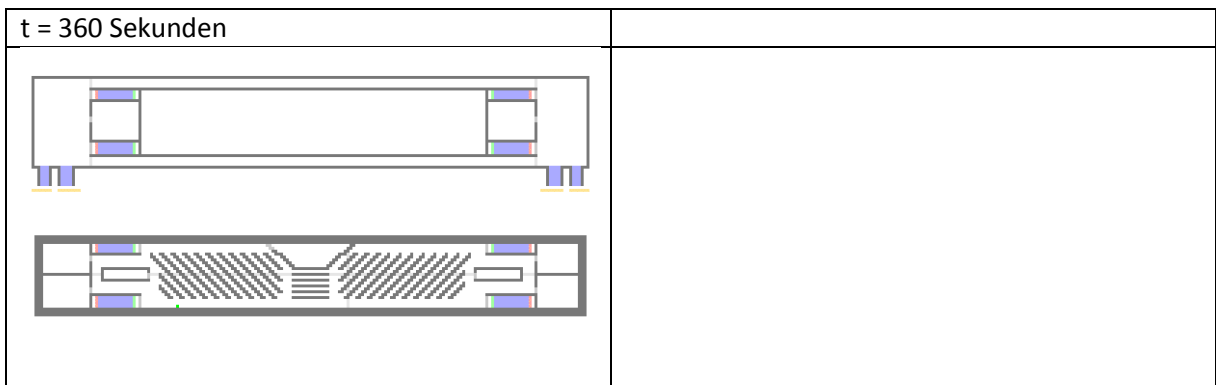


Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe (Szenario 1)

In nachfolgender Tabelle ist die Personenverteilung und die Gehgeschwindigkeit des 95%-Durchlaufes in einem Intervall von 60 Sekunden dargestellt. Hierbei bedeutet rot Stillstand und grün maximale Laufgeschwindigkeit. Die Personen verteilen sich gleichmäßig auf die Gänge oberhalb und unterhalb der Sitzblöcke. Aufgrund der schmalere Treppen auf der Backbordseite ergeben sich hier größere Stauungen. Die Gehgeschwindigkeit ist im Unterdeck tendenziell geringer bzw. die Personen kommen teilweise zum Stillstand, was auf die hohe Anzahl an Personen zurückzuführen ist die in kurzer Zeit das Deck verlassen. Am Oberdeck verlassen die Personen zügig die schwimmende Versammlungsstätte über die Gangways ohne sich dabei zu behindern. Dies ist auch ein Grund dafür, dass sich die Evakuierungszeit vom Unterdeck nicht stark von der Gesamtevakuierungszeit unterscheidet.

Tabelle 9: Zeitlicher Verlauf des 95%-Durchlaufes (Szenario 1)

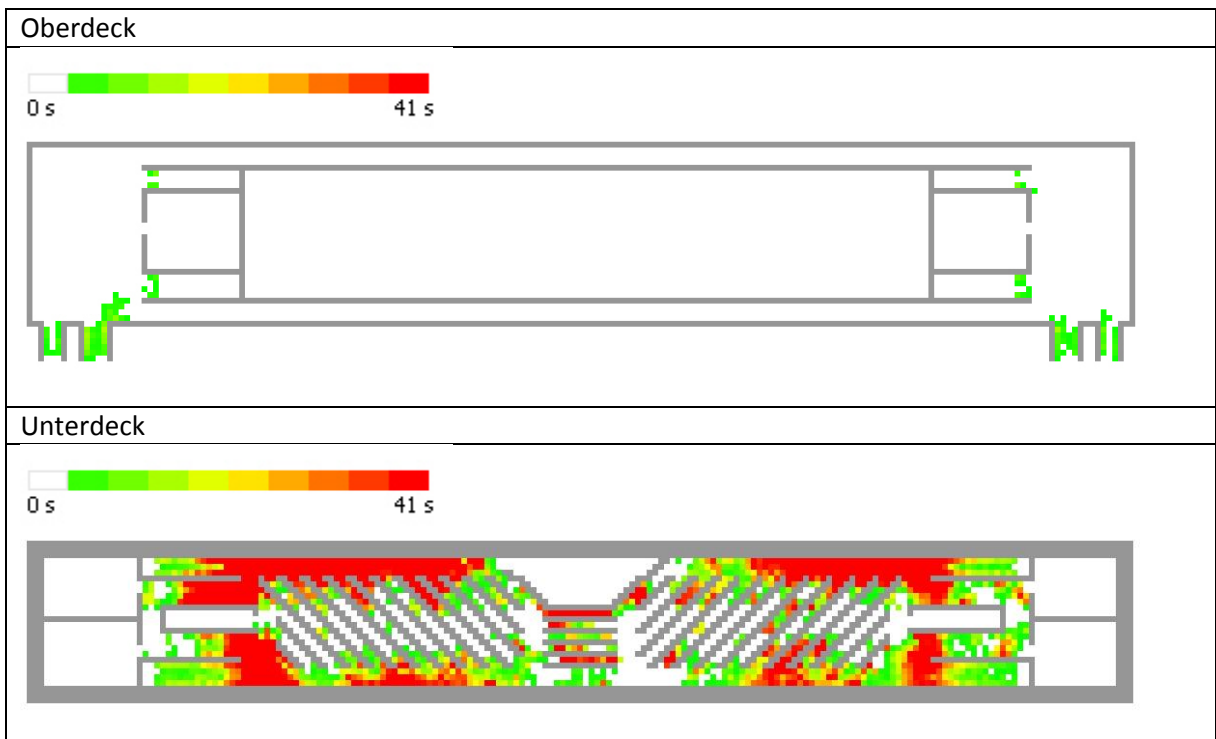




### 8.1.2 Identifikation von möglichen Stauungen

In Tabelle 10 sind signifikante Stauungen (rot) vor den Treppen und entlang der Gänge oberhalb und unterhalb der Sitzblöcke zu beobachten. Die Stauungen oberhalb der Sitzblöcke sind dabei ausgeprägter, was auf die schmalere Treppe zurückzuführen ist. Die Reaktionszeit unterliegt einer logarithmischen Verteilung. Dies hat zur Folge, dass alle Personen im Unterdeck nahezu zeitgleich zu den Treppen laufen und sich dadurch erhöhte Stauungen an den geometrischen Engstellen bilden. Die Stauungen nehmen nur eine verhältnismäßig kleine Fläche ein (max. 48 m<sup>2</sup>) und spielen sich in einem Zeitraum von ca. 4 min ab (s. Tabelle 9). Die grünen Flächen sind in einem solchen Evakuierungsszenario normal und verdeutlichen nur, dass eine hohe Anzahl an Personen evakuiert wird. Am Oberdeck ergeben sich keinerlei signifikante Stauungen.

Tabelle 10: Mögliche Staubildung am Ober- und Unterdeck (Szenario 1)



## 8.2 Szenario 2

### 8.2.1 Qualität und Dauer der Evakuierung

In diesem Szenario ergibt sich eine signifikante Dauer des gesamten Evakuierungsprozesses von 8:45 min. Das Unterdeck ist bereits nach 5:47 min evakuiert (s. Tabelle 11). Dies kann ebenfalls der graphischen Darstellung in Tabelle 12 entnommen werden

Tabelle 11: Simulierte Evakuierungszeit (Szenario 2)

Mittelwert [min:s]	08:35
Standardabweichung [min:s]	00:06
<b>Signifikante Dauer [min:s]</b>	<b>08:45</b>
Minimum Dauer [min:s]	08:15
Maximum Dauer [min:s]	08:57
<b>Signifikante Dauer Unterdeck [min:s]</b>	<b>05:28</b>

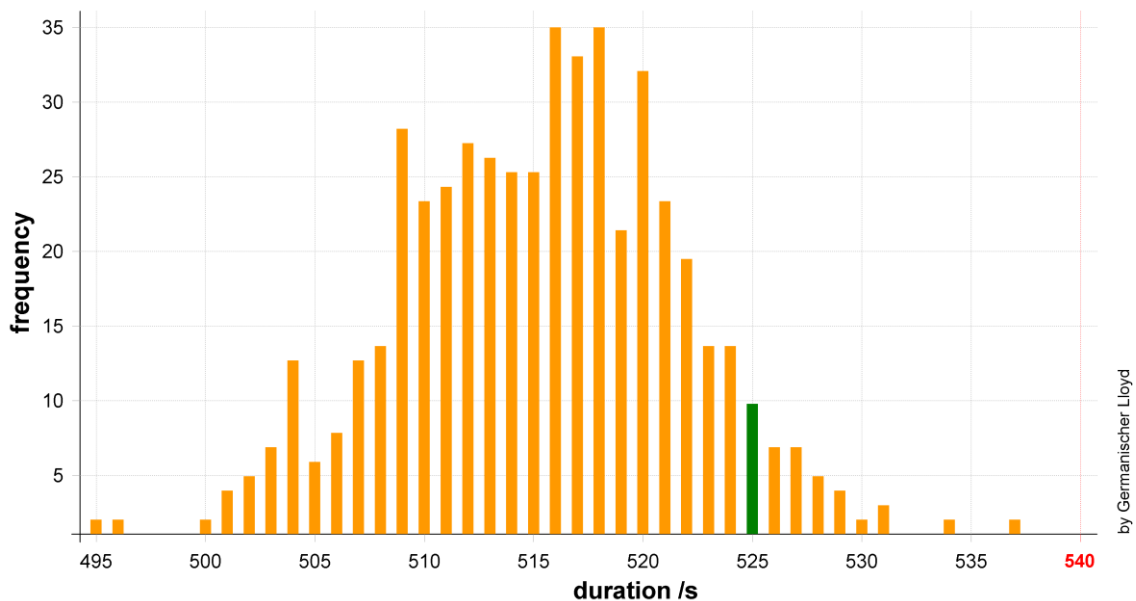
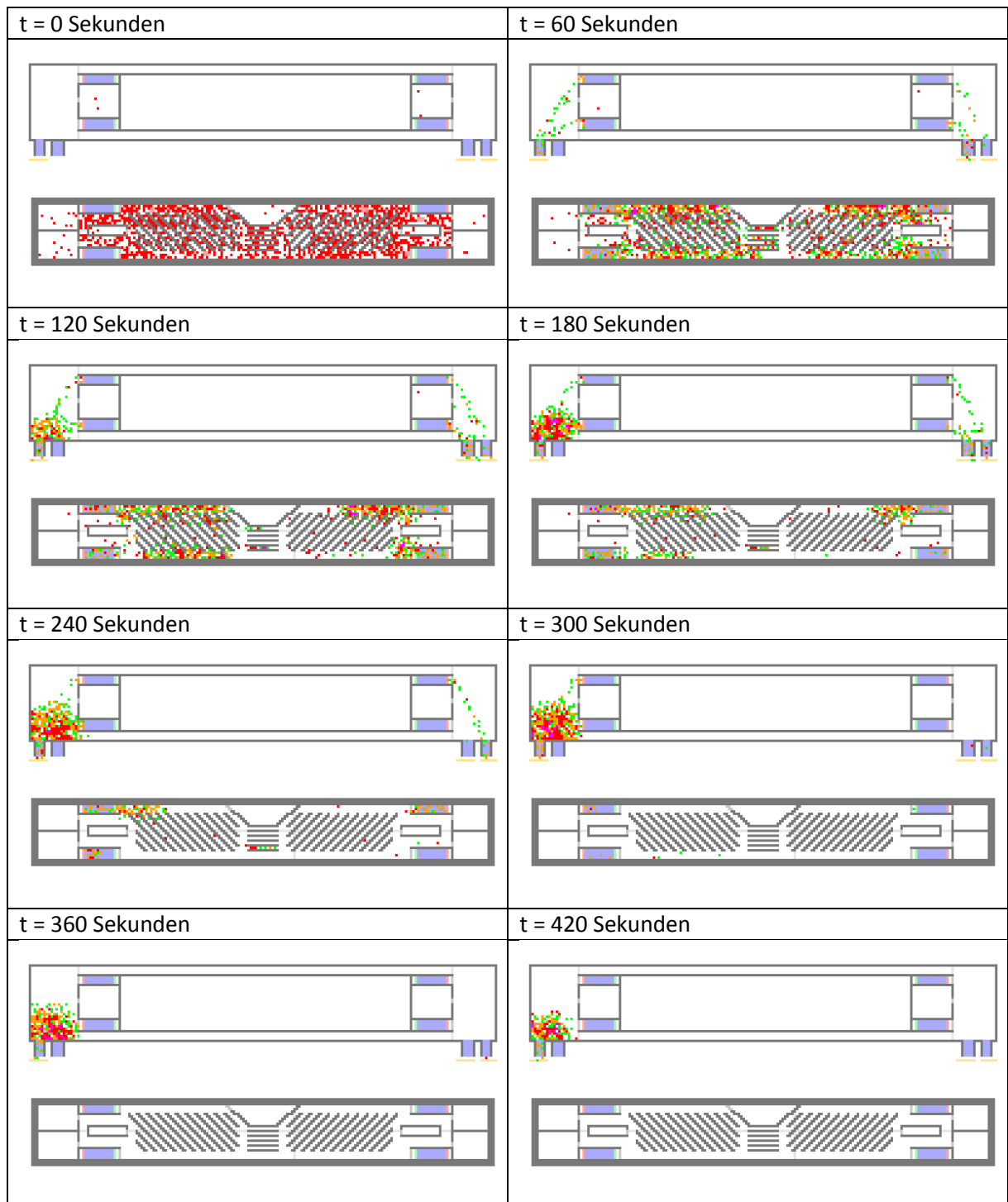


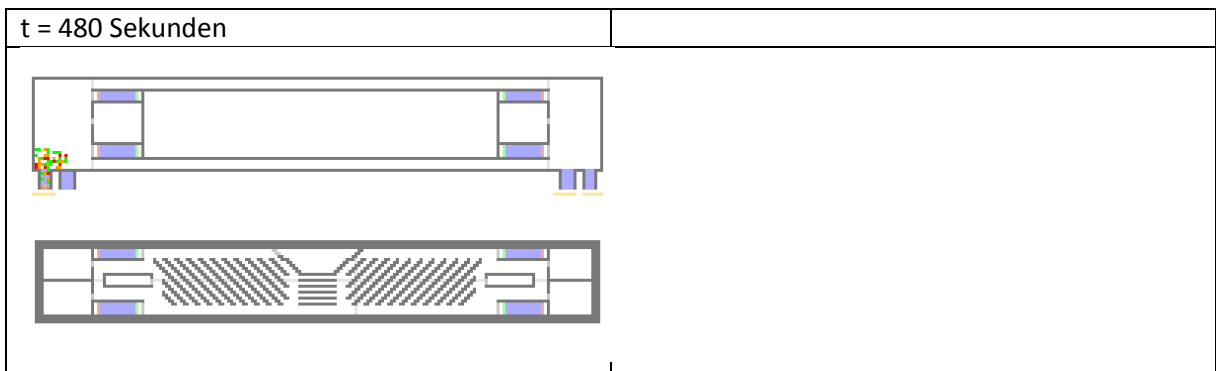
Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe (Szenario 2)

Wie in Tabelle 12 zu sehen, verteilen sich die Personen gleichmäßig auf die Gänge oberhalb und unterhalb der Sitzblöcke. Aufgrund der schmalere Treppen auf der Backbordseite ergeben sich hier größere Stauungen. Die Gehgeschwindigkeit ist im Unterdeck tendenziell geringer bzw. die Personen kommen teilweise zum Stillstand, was auf die hohe Anzahl an Personen zurückzuführen ist, die in kurzer Zeit das Deck verlassen. Am Bug des Oberdecks verlassen die Personen zügig die schwimmende Versammlungsstätte über die Gangways ohne sich dabei zu behindern. Aufgrund der fehlenden breiteren Gangway am Heck kommt es hier zu einer erhöhten Stauung. Die Stauung an dieser Stelle ist maßgeblich für die Gesamtevakuierungszeit. Die Evakuierungszeit vom Unterdeck

wird hierdurch jedoch nicht beeinflusst, wodurch sich eine erhöhte Differenz zwischen diesen Zeiten einstellt.

Tabelle 12: Zeitlicher Verlauf des 95%-Durchlaufes (Szenario 2)

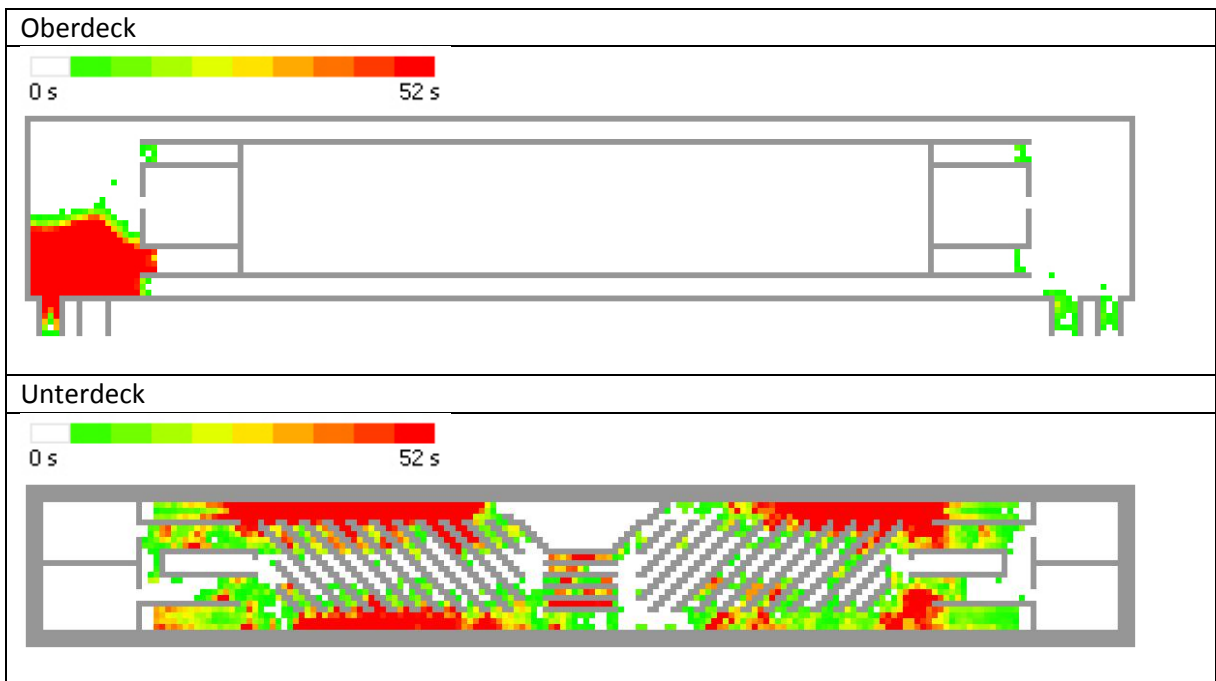




### 8.2.2 Identifikation von möglichen Stauungen

In Tabelle 13 sind signifikante Stauungen (rot) vor den Treppen im Unterdeck und entlang der Gänge oberhalb und unterhalb der Sitzblöcke zu beobachten. Zusätzlich zu den Stauungen im Unterdeck ergibt sich eine Stauung am Heck des Oberdecks, was auf die fehlende Gangway zurückzuführen ist. Die Stauungen im Ober- und Unterdeck nehmen nur eine verhältnismäßig kleine Fläche ein (Oberdeck: max. 42 m<sup>2</sup>, Unterdeck: max. 32 m<sup>2</sup>). Zudem erstrecken sie sich im Oberdeck lediglich über einen Zeitraum von ca. 6 min und im Unterdeck über einen Zeitraum von ca. 4 min (s. Tabelle 12).

Tabelle 13: Mögliche Staubildung am Ober- und Unterdeck (Szenario 2)



### 8.3 Szenario 3

#### 8.3.1 Qualität und Dauer der Evakuierung

In diesem Szenario ergibt sich eine signifikante Dauer des gesamten Evakuierungsprozesses von 07:42 min. Das Unterdeck ist bereits nach 6:46 min evakuiert (s. Tabelle 14). Dies kann ebenfalls der graphischen Darstellung in Tabelle 15 entnommen werden.

Tabelle 14: Simulierte Evakuierungszeit (Szenario 3)

Mittelwert [min:s]	07:18
Standardabweichung [min:s]	00:14
<b>Signifikante Dauer [min:s]</b>	<b>07:42</b>
Minimum Dauer [min:s]	06:46
Maximum Dauer [min:s]	08:20
<b>Signifikante Dauer Unterdeck [min:s]</b>	<b>06:57</b>

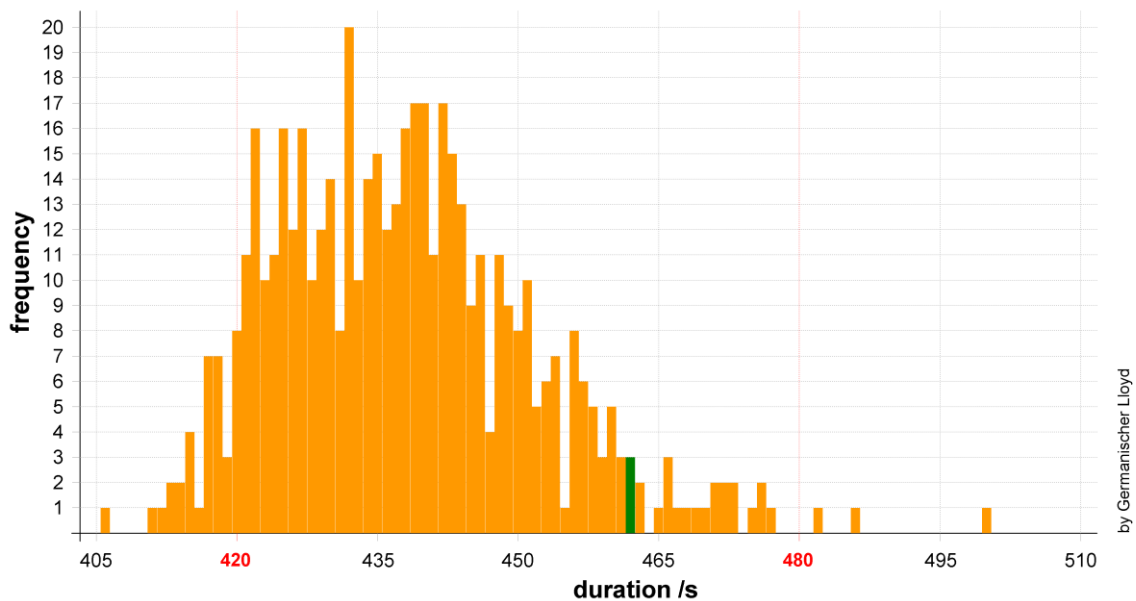


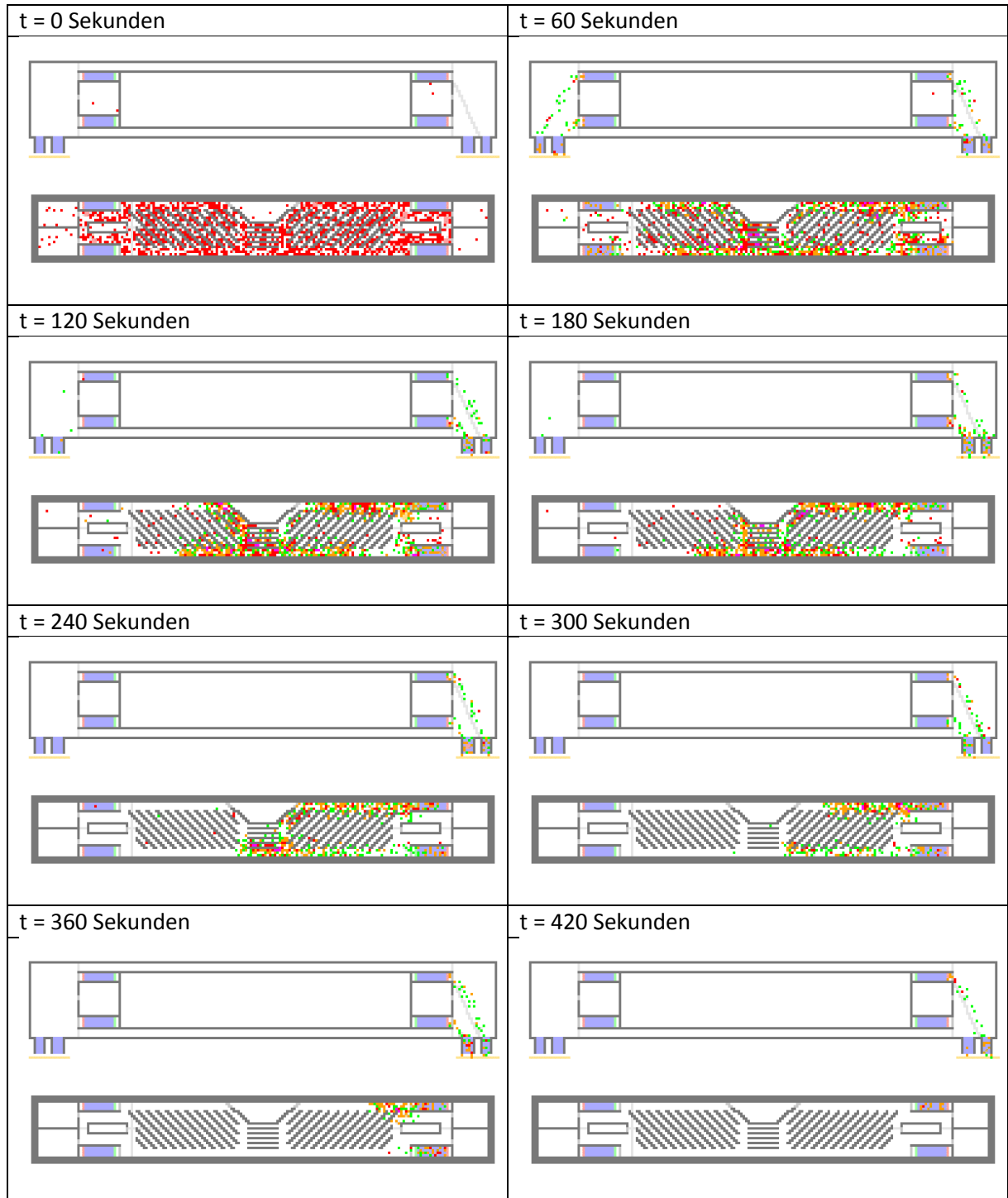
Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe (Szenario 3)

Wie in Tabelle 15 zu sehen, bewegt sich der Großteil der Personen von dem Brandort in der Bar 1 zu den Treppen am Bug der schwimmenden Versammlungsstätte. Aufgrund der erhöhten Anzahl an Personen die zu einer Seite flüchten und der zusammenlaufenden Personenströme, kommt es bereits in der Mitte des Versammlungsraumes zu erhöhten Stauungen, wodurch sich die Personen nur verhältnismäßig langsam bewegen können bzw. teilweise zum Stillstand kommen. Durch die schmalere Treppen an der Backbordseite ergeben sich hier längere Stauungen als steuerbordseitig. Am Bug des Oberdecks verlassen die Personen zügig die schwimmende Versammlungsstätte über die Gangways ohne sich dabei zu behindern. Die Personen, die sich in den Toilettenräumen und



unmittelbar um die Bar 1 befinden, haben noch die Möglichkeit die Treppen am Heck zu benutzen. Aufgrund der hier vorliegenden geringeren Anzahl an Personen verlassen diese den Versammlungsraum zügig und ohne sich zu behindern. Gleiches ist für das Oberdeck zu beobachten.

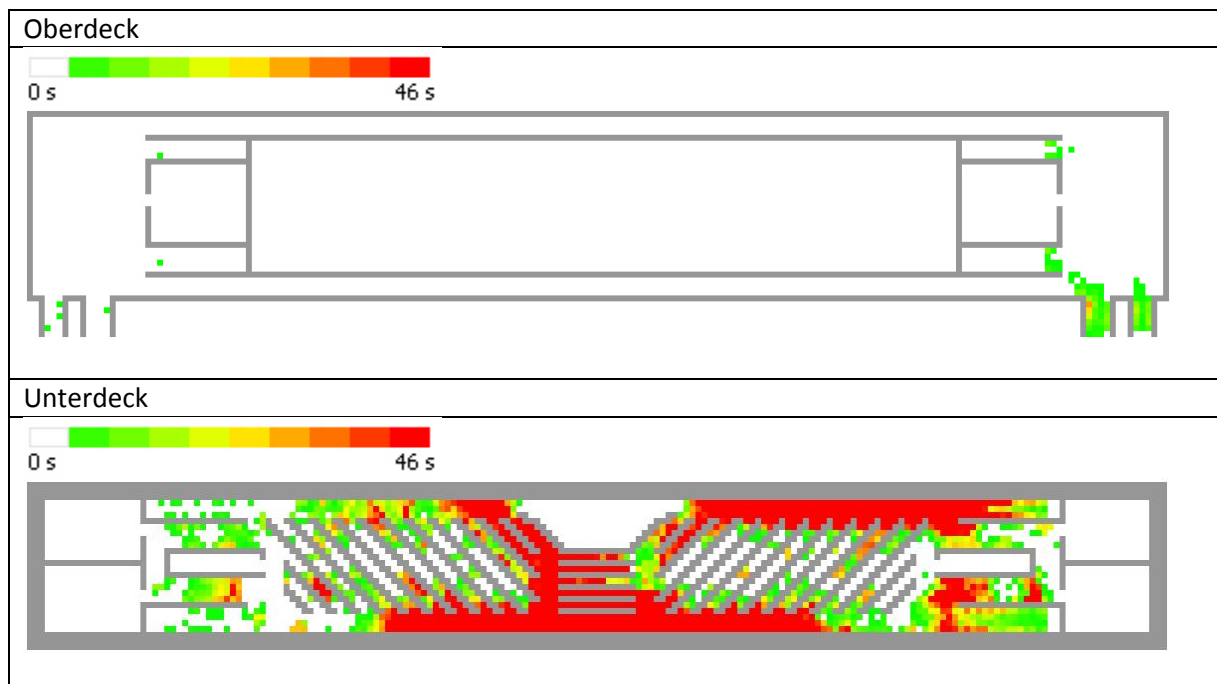
Tabelle 15: Zeitlicher Verlauf des 95%-Durchlaufes (Szenario 3)



### 8.3.2 Identifikation von möglichen Stauungen

In Tabelle 16 sind signifikante Stauungen (rot) vor den Treppen am Bug des Unterdecks und entlang der Gänge oberhalb, unterhalb und zwischen den Sitzblöcken zu beobachten. Die Stauungen bilden sich bereits verstärkt in der Mitte des Versammlungsraumes, was darauf zurückzuführen ist, dass in diesem Szenario der Großteil der Personen über die Treppen am Bug evakuieren muss und sich dabei die Sitzreihen hinderlich auswirken. Die mittlere Stauung nimmt eine Fläche von ca. 80 m<sup>2</sup> ein. Insgesamt erstrecken sich die Stauungen über einen Zeitraum von ca. 6 min (s. Tabelle 15).

Tabelle 16: Mögliche Staubildung am Ober- und Unterdeck (Szenario 3)



## 8.4 Szenario 4

### 8.4.1 Qualität und Dauer der Evakuierung

In diesem Szenario ergibt sich eine signifikante Dauer des gesamten Evakuierungsprozesses von 06:32 min. Das Unterdeck ist bereits nach 5:38 min evakuiert (s. Tabelle 17). Dies kann ebenfalls der graphischen Darstellung in Tabelle 18 entnommen werden.

Tabelle 17: Simulierte Evakuierungszeit für den 95%-Durchlauf (Szenario 4)

Mittelwert [min:s]	05:53
Standardabweichung [min:s]	00:21
<b>Signifikante Dauer [min:s]</b>	<b>06:32</b>
Minimum Dauer [min:s]	04:53
Maximum Dauer [min:s]	06:55
<b>Signifikante Dauer Unterdeck [min:s]</b>	<b>05:38</b>

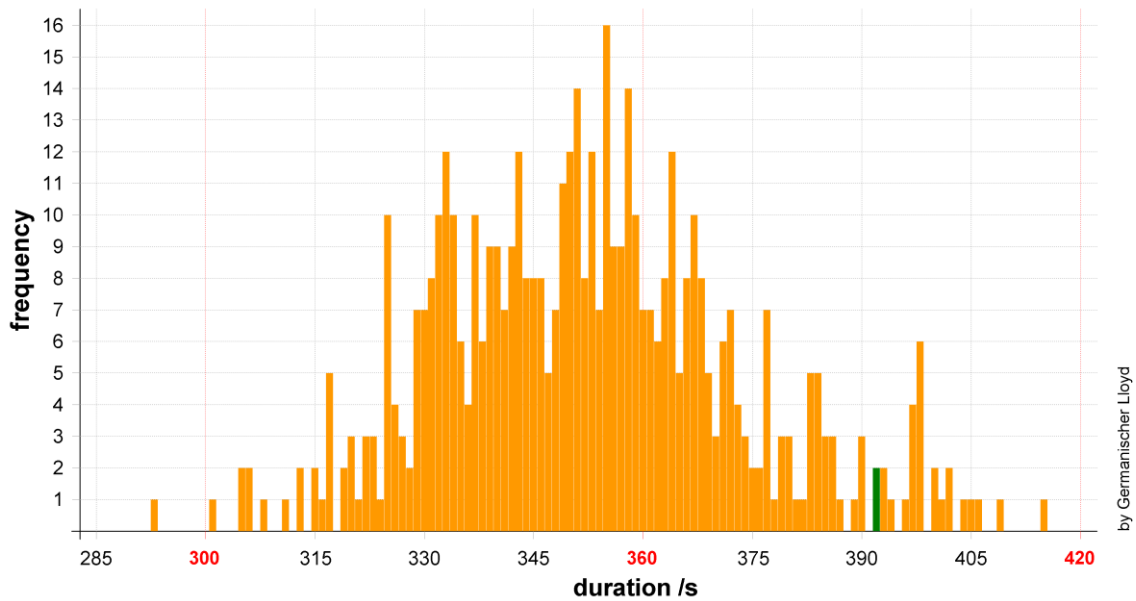


Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe (Szenario 4)

Wie in Tabelle 18 zu sehen werden die Personen nicht durch Sitzreihen blockiert und können sich daher schnell zu den Treppen am Heck und Bug bewegen. Aufgrund der hohen Anzahl an Personen die schnell bei den Treppen ankommen, kommt es dort zu Stauungen und die Menschen kommen teilweise zum Stillstand. Am Oberdeck angekommen, verlassen die Personen zügig die schwimmende Versammlungsstätte über die Gangways ohne sich dabei zu behindern.

Tabelle 18: Zeitlicher Verlauf des 95%-Durchlaufes (Szenario 4)

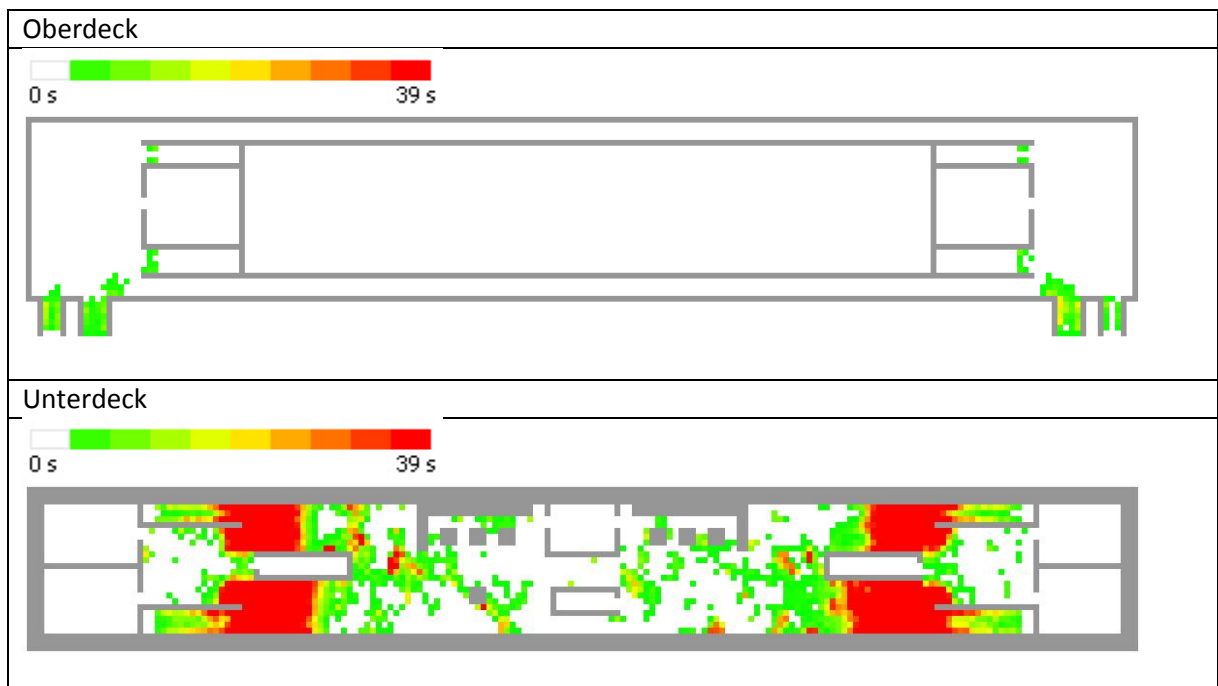
t = 0 Sekunden	t = 60 Sekunden



#### 8.4.2 Identifikation von möglichen Stauungen

In Tabelle 13 sind signifikante Stauungen (rot) vor den Treppen im Unterdeck zu beobachten. Auch hier wirken die Treppen wie Flaschenhälse und verursachen Stauungen. Sie nehmen nur eine verhältnismäßig kleine Fläche ein (max. 31 m<sup>2</sup>) und spielen sich in einem Zeitraum von ca. 3 min ab (s. Tabelle 18).

Tabelle 19: Mögliche Staubildung am Ober- und Unterdeck (Szenario 4)



## 8.5 Szenario 5

### 8.5.1 Qualität und Dauer der Evakuierung

In diesem Szenario ergibt sich eine signifikante Dauer des gesamten Evakuierungsprozesses von 07:55 min. Das Unterdeck ist bereits nach 5:25 min evakuiert (s. Tabelle 20). Dies kann ebenfalls der graphischen Darstellung in Tabelle 21 entnommen werden.

Tabelle 20: Simulierte Evakuierungszeit für den 95%-Durchlauf (Szenario 5)

Mittelwert [min:s]	07:44
Standardabweichung [min:s]	00:07
<b>Signifikante Dauer [min:s]</b>	<b>07:55</b>
Minimum Dauer [min:s]	07:23
Maximum Dauer [min:s]	08:05
<b>Signifikante Dauer Unterdeck [min:s]</b>	<b>05:25</b>

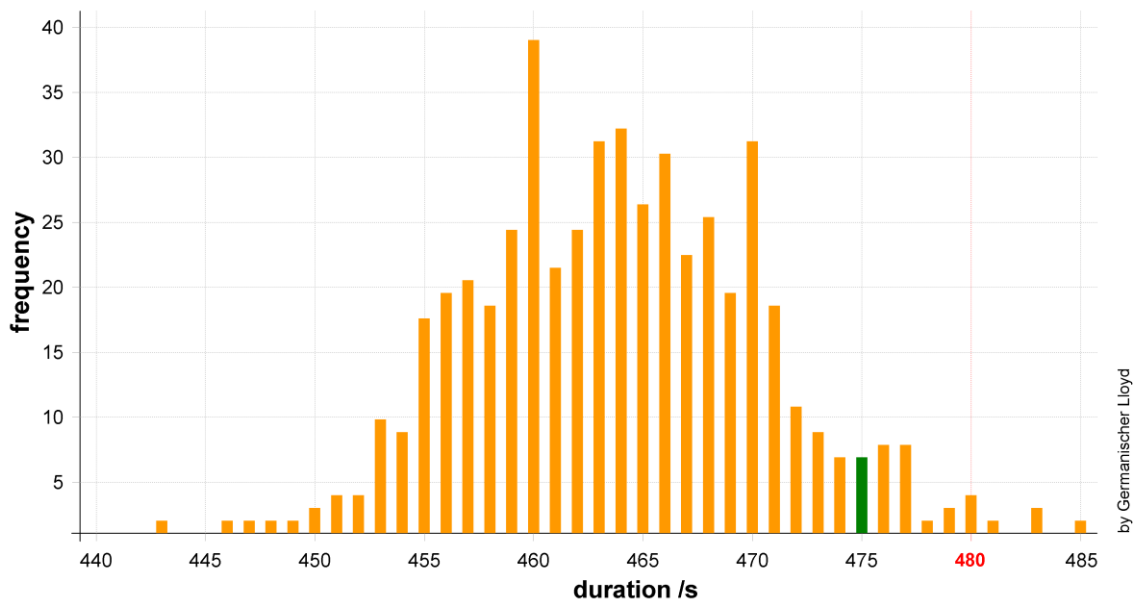


Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe (Szenario 5)

Wie in Tabelle 21 zu sehen, werden die Personen nicht durch Sitzreihen blockiert und können sich daher schnell zu den Treppen am Heck und Bug bewegen. Aufgrund der hohen Anzahl an Personen die schnell bei den Treppen ankommen, kommt es dort zu Stauungen und die Menschen kommen teilweise zum Stillstand. Am Bug des Oberdecks angekommen, verlassen die Personen zügig die schwimmende Versammlungsstätte über die Gangways ohne sich dabei zu behindern. Aufgrund der fehlenden breiteren Gangway am Heck, kommt es hier zu einer erhöhten Stauung. Das Abbremsen des Personenstroms an dieser Stelle ist maßgeblich für die Gesamtevakuierungszeit.

Tabelle 21: Zeitlicher Verlauf des 95%-Durchlaufes (Szenario 5)

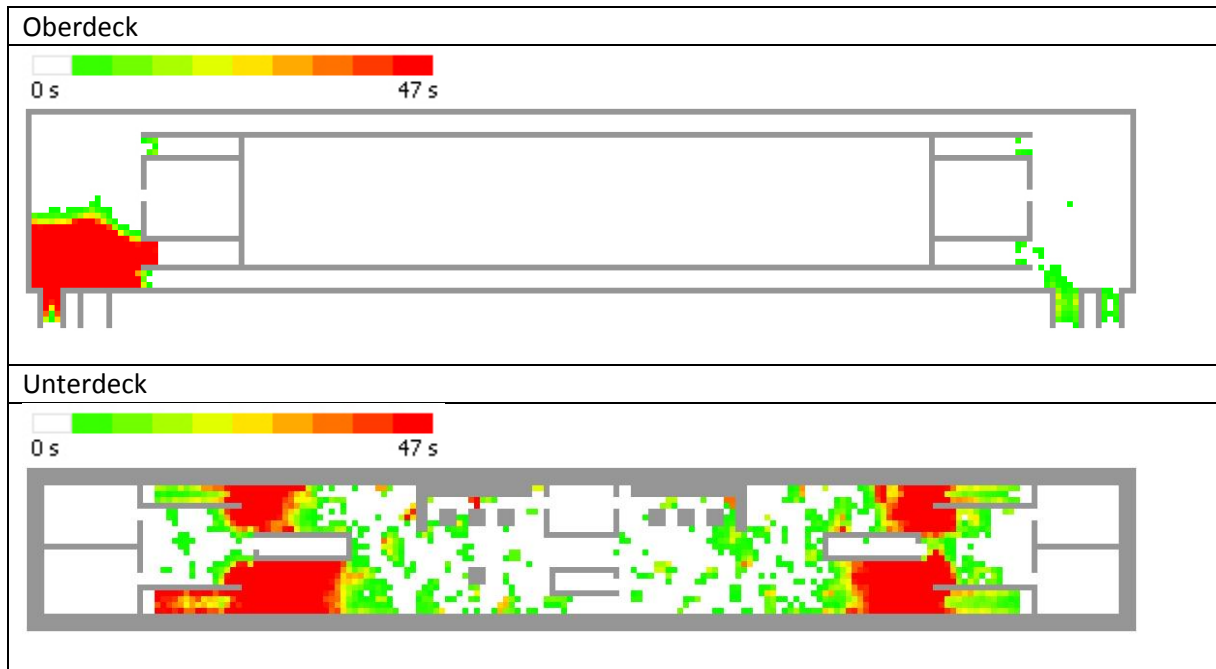


### 8.5.2 Identifikation von möglichen Stauungen

In Tabelle 22 sind signifikante Stauungen (rot) vor den Treppen im Unterdeck zu beobachten. Zusätzlich zu den Stauungen im Unterdeck ergibt sich eine Stauung am Heck des Oberdecks, was auf die fehlende Gangway zurückzuführen ist. Die Stauungen im Ober- und Unterdeck nehmen nur eine verhältnismäßig kleine Fläche ein (Oberdeck: max. 42 m<sup>2</sup>, Unterdeck: max. 42 m<sup>2</sup>). Zudem erstrecken

sie sich im Oberdeck lediglich über einen Zeitraum von ca. 6 min und im Unterdeck über einen Zeitraum von ca. 4 min (s. Tabelle 21).

Tabelle 22: Mögliche Staubbildung am Ober- und Unterdeck (Szenario 5)



## 8.6 Szenario 6

### 8.6.1 Qualität und Dauer der Evakuierung

In diesem Szenario ergibt sich eine signifikante Dauer des gesamten Evakuierungsprozesses von 07:11 min. Das Unterdeck ist bereits nach 6:31 min evakuiert (s. Tabelle 23). Dies kann ebenfalls der graphischen Darstellung in Tabelle 24 entnommen werden.

Tabelle 23: Simulierte Evakuierungszeit für den 95%-Durchlauf (Szenario 6)

Mittelwert [min:s]	06:28
Standardabweichung [min:s]	00:20
<b>Signifikante Dauer [min:s]</b>	<b>07:11</b>
Minimum Dauer [min:s]	05:49
Maximum Dauer [min:s]	07:49
<b>Signifikante Dauer Unterdeck [min:s]</b>	<b>06:31</b>

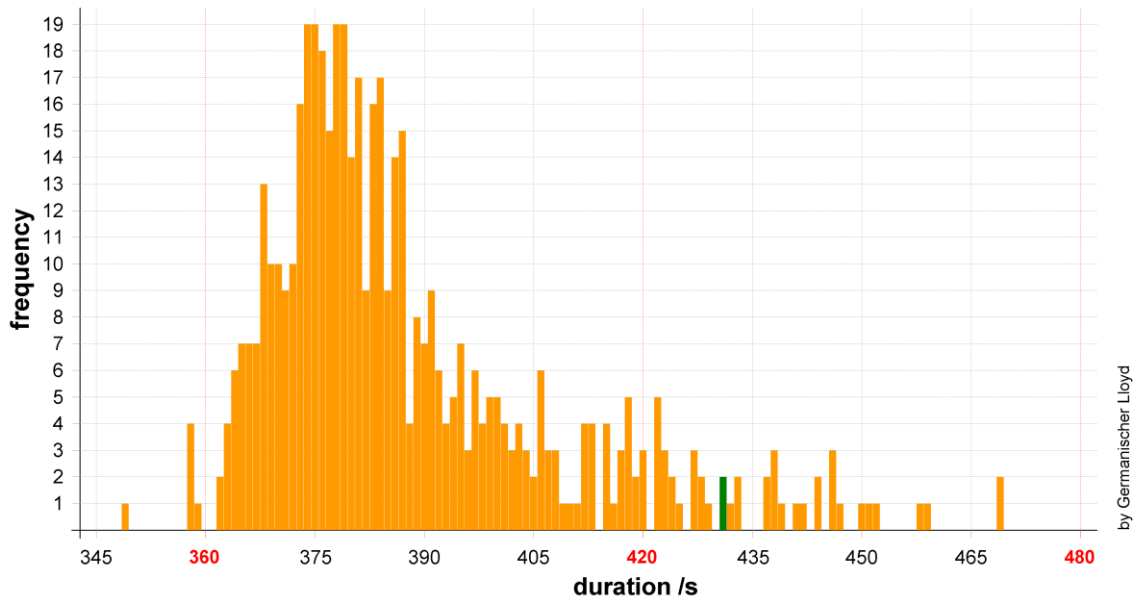
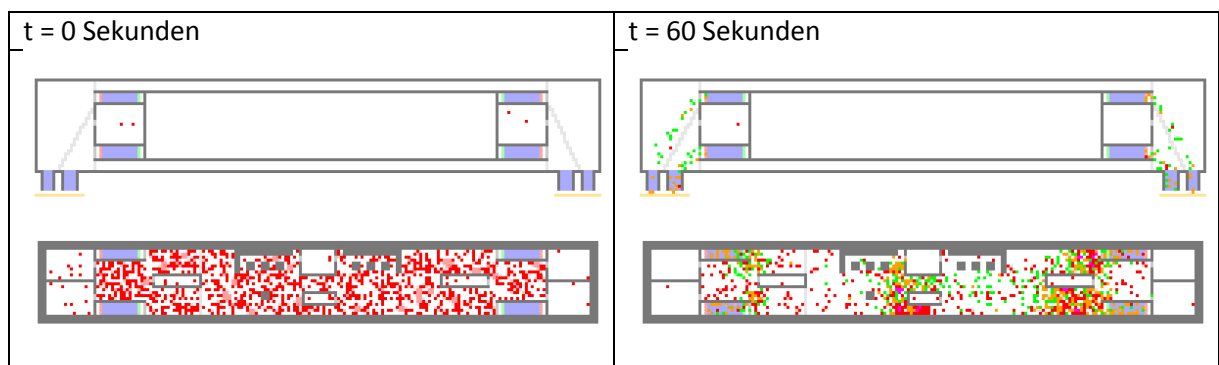


Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung der Evakuierungszeiten für 500 Durchläufe (Szenario 6)

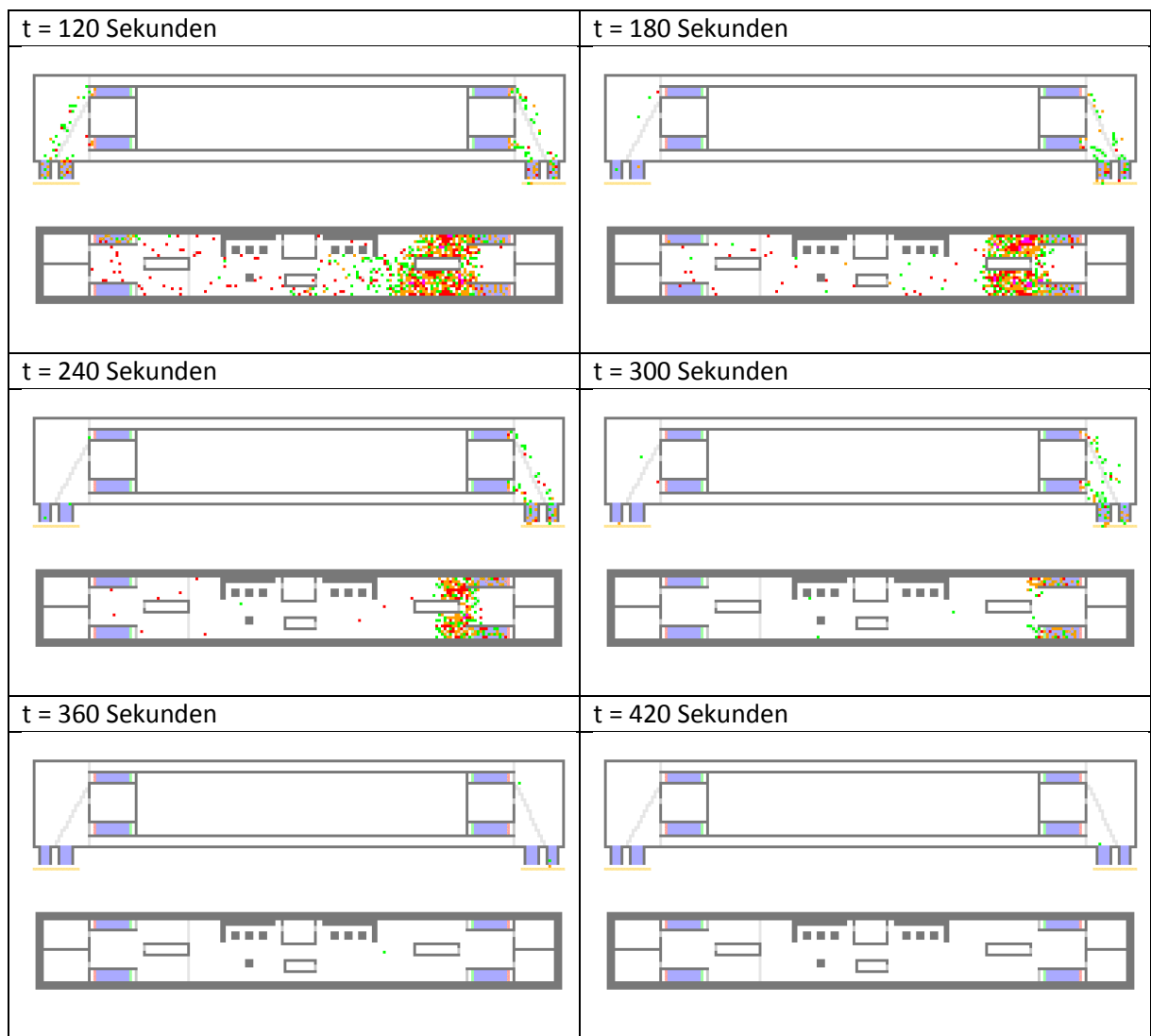
Wie in Tabelle 24 zu sehen, bewegt sich der Großteil der Personen von dem Brandort in der Bar 1 zu den Treppen am Bug der schwimmenden Versammlungsstätte. Dadurch wird der Personenstrom bereits in der Mitte des Versammlungsraumes abgebremst und es kommt zu erhöhten Stauungen vor den Treppen. Im Bereich der Stauungen laufen die Personen mit einer verminderten Geschwindigkeit bzw. kommen teilweise zum Stillstand. Am Bug des Oberdecks verlassen die Personen zügig die schwimmende Versammlungsstätte über die Gangways ohne sich dabei zu behindern. Die Personen, die sich in den Toilettenräumen und unmittelbar um die Bar 1 befinden, haben noch die Möglichkeit die Treppen am Heck zu benutzen. Aufgrund der hier vorliegenden geringeren Anzahl an Personen verlassen diese den Versammlungsraum zügig und ohne sich zu behindern. Gleiches ist für das Oberdeck zu beobachten.

Tabelle 24: Zeitlicher Verlauf des 95%-Durchlaufes (Szenario 6)





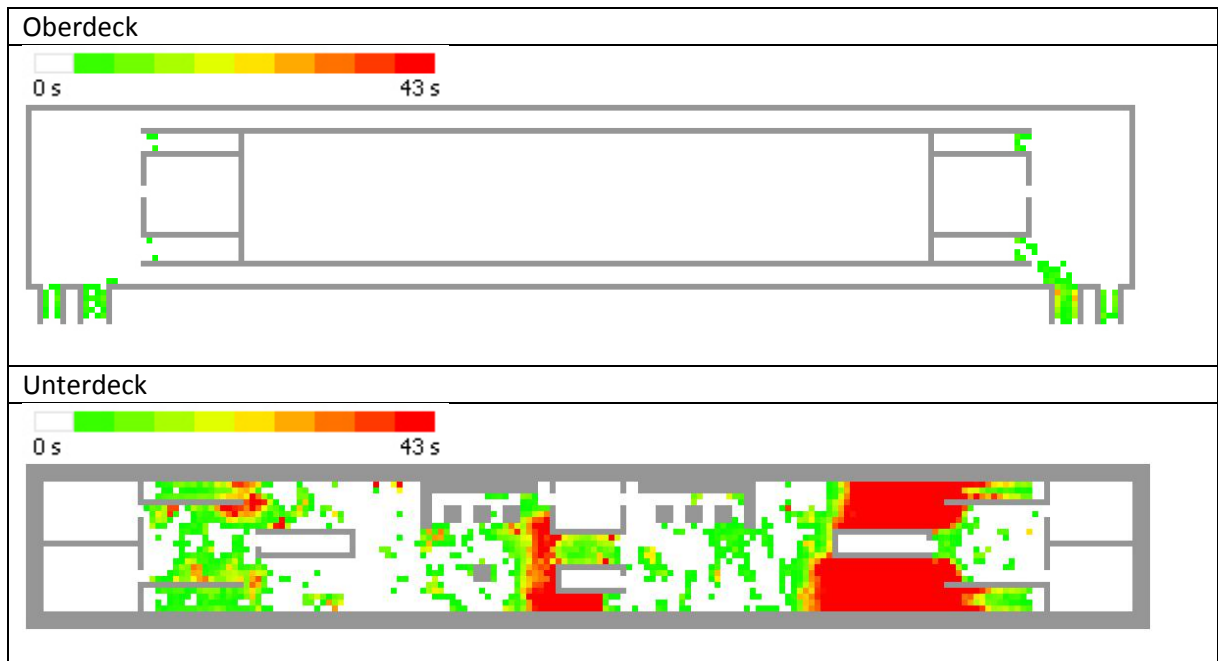
Simulationsergebnisse



### 8.6.2 Identifikation von möglichen Stauungen

In Tabelle 25 sind signifikante Stauungen (rot) vor den Treppen am Bug des Unterdecks sowie in der Mitte des Versammlungsraumes zu beobachten. Die Stauung in der Mitte wird durch die Bar 2 und die erhöhte Anzahl an Personen verursacht. Auch die stärkere Staubildung vor den Treppen am Bug der schwimmenden Versammlungsstätte ist darauf zurückzuführen, dass der Großteil der Personen über die Treppen am Bug evakuieren muss. Die Stauungen nehmen nur eine verhältnismäßig kleine Fläche ein (max. 40 m<sup>2</sup>) und spielen sich in einem Zeitraum von ca. 4 min ab (s. Tabelle 24).

Tabelle 25: Mögliche Staubildung am Ober- und Unterdeck (Szenario 6)



## 9 Auswertung

Zur Bewertung der Ergebnisse dürfen nicht nur allein die berechneten Evakuierungszeiten betrachtet werden, sondern es muss auch die Qualität der Evakuierung, insbesondere die Stausituation, berücksichtigt werden. Erhöhte Staubildungen und dadurch verursachte Personenschäden werden oft mit dem Begriff „Massenpanik“ und den damit verbundenen irrationalen Verhaltensweisen in Verbindung gebracht. Diese Gruppendynamik ist allerdings aus wissenschaftlicher Sicht nicht zu 100 Prozent bestätigt. Für einzelne Personen ist eine Panikstörung durchaus möglich. Es muss jedoch nicht befürchtet werden, dass das Panikverhalten einer Person ansteckend auf andere wirkt. Daraus folgt, dass eine Panik nicht aus der Masse heraus, sondern vielmehr durch äußere Umstände entsteht (18 S. 30). Solche Umstände können z.B. durch die Kombination von schneller Brandausbreitung und unzureichenden Fluchtwegen hervorgerufen werden (19 S. 284). In der hier behandelten Versammlungsstätte kann von einer Massenpanik abgesehen werden, da die benötigte Evakuierungszeit unter der verfügbaren Evakuierungszeit liegt. Somit haben die Personen genug Zeit das Unterdeck zu verlassen, wodurch die Grundlage einer Panik nicht gegeben ist.

Die höchste Evakuierungszeit ergibt sich in Szenario 2. Zudem entsteht hier neben der Stauung im Unterdeck eine größere Stauung auf dem Oberdeck. Aus diesem Grund soll dieses Szenario für eine exemplarische Einzeluntersuchung genutzt werden. Die daraus resultierenden Erkenntnisse können auf die restlichen Szenarien übertragen werden. In dieser Einzeluntersuchung wird ermittelt, wie sich die Stauungen tatsächlich auf eine einzelne Person auswirken. Dazu wird ein Agent aus Szenario 2 ausgewählt und näher analysiert. Als Vergleich wird dasselbe Szenario mit nur einem Agenten und der gleichen Startposition simuliert.

Für den Durchlauf mit nur einem Agenten ergibt sich eine Evakuierungszeit von 3:37 min. Die Evakuierungszeit des einzelnen Agenten in der ursprünglichen Simulation mit 1000 Personen beträgt 8:29 min. Hier ist eine eindeutige Erhöhung der Evakuierungszeit zu erkennen, die auf die Personenströme und Stauungen zurückzuführen ist. Jedoch ist anzumerken, dass der einzelne Agent nur in 1/3 der Gesamtzeit zum Stehen kommt. In der restlichen Zeit bewegt er sich mit halber oder voller Geschwindigkeit (s. Abbildung 25). Zudem wird die kritische Dichte<sup>4</sup>, bei der es zu Personenschäden kommen kann, nur in einem Zeitraum von max. 35 Sekunden erreicht (s. Abbildung 26). In ca. ¾ der Gesamtzeit ergeben sich Stauungen unter fünf Personen / m<sup>2</sup>. Bei einer solchen Personendichte bleibt noch ausreichend Raum, um sich bewegen zu können. Die Menschen können durch Ausweichbewegungen und Entgegenstemmen die auftretenden Kräfte aufnehmen (20 S. 6). Ausschlaggebend für die Bewertung sind jedoch nicht nur die Betrachtungen eines einzigen

---

<sup>4</sup> 6-7 Personen / m<sup>2</sup> (20 S. 7)

Quadratmeters, sondern vor allem die Betrachtung der gesamten Stauung. Hierzu gibt es Grenzbereiche für Ersticken und mechanische Zerstörung der Organe.

Es besteht dann die Gefahr der Erstickung, wenn ein Druck von 800-900 N über einen Zeitraum von mehr als drei Minuten auf den Brustkorb wirkt. Dieser Druck kann bereits auf einer Fläche von 4 m<sup>2</sup> mit einer Dichte von mehr als sechs Personen / m<sup>2</sup> aufgebaut werden. Zwar werden in den sechs Szenarien Stauungen erreicht, die größer sind als 4 m<sup>2</sup>, jedoch sieht man anhand der Einzeluntersuchung, dass eine Person nicht lange zum Stehen kommt und nur sehr kurzen Zeiten kritischen Personendichten ausgesetzt ist. Zudem werden die gestauten Bereiche nicht durch zwei Wände eingeeengt, wodurch die Personen immer die Möglichkeit haben zur Seite auszuweichen.

Einen weiteren Grenzbereich gibt es für die mechanische Zerstörung der Organe. Dieser liegt bei einem Wert von 10 kN und kann theoretisch erreicht werden wenn 120 Menschenreihen hintereinander stehen und nach vorne drücken. In Szenario 3 könnte dies theoretisch erreicht werden (20 S. 7). Aufgrund der ausreichend langen Zeit, die zu Verfügung steht, um das Unterdeck zu räumen, ist es unwahrscheinlich, dass die Menschen anfangen stärker zu schieben. Zudem erstrecken sich die Stauungen über längere Gänge zwischen und entlang der Sitzreihen, wodurch die Personen die Möglichkeit haben dem Druck nachzugeben und auf die Sitzreihen auszuweichen. Die Stauungen am Oberdeck, die sich in Szenario 2 und 5 ergeben, bieten nicht genug Platz für eine solche Anreihung von Menschen.

In Anbetracht der gewonnenen Erkenntnisse und der geringen Stauzeiten bzw. erhöhten Personendichten von 3-6 min kann gesagt werden, dass in allen Szenarien ein sicherer Evakuierungsprozess unter den vorherrschenden geometrischen Bedingungen möglich ist.

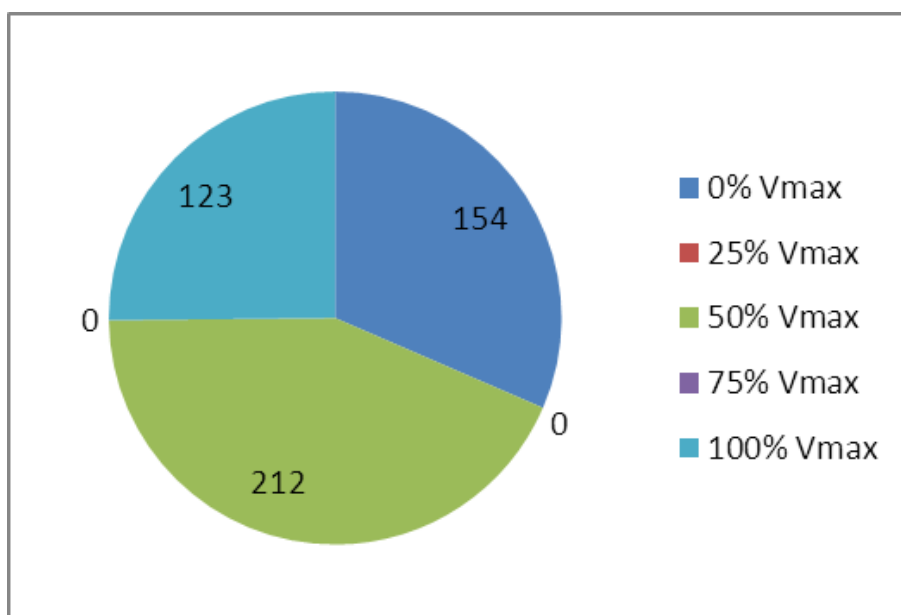


Abbildung 25: Anteile der Gehgeschwindigkeit gemessen an der Gesamtevakuierungszeit eines einzelnen Agenten [s]

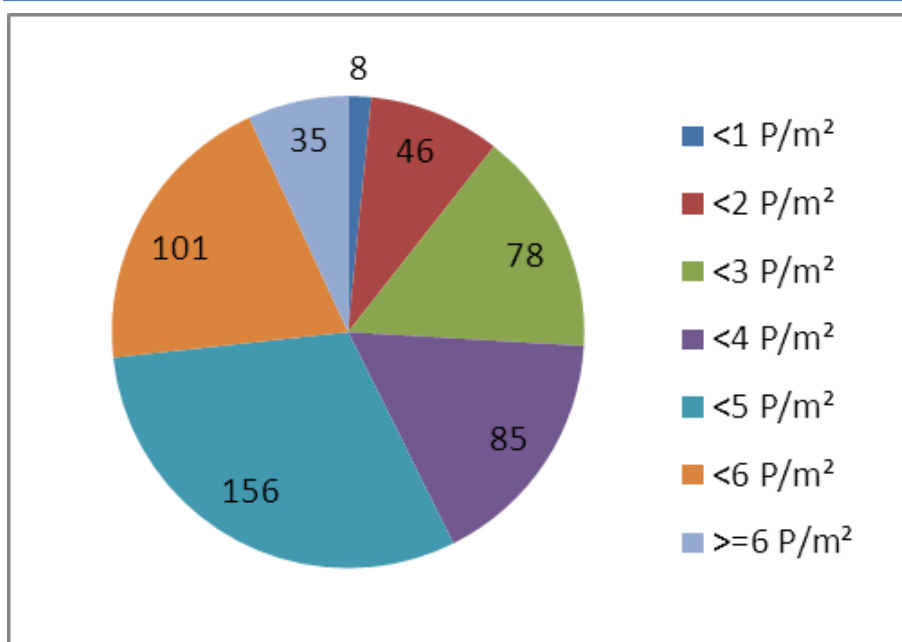


Abbildung 26: Anteile der Personendichten gemessen an der Gesamtevakuierungszeit eines einzelnen Agenten [s]

Tabelle 26: RSET aller Szenarien ohne Sicherheitsfaktor

	Nutzungsart 1			Nutzungsart 2		
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
<b>RESET gesamte Evakuierung [min:s]</b>	06:51	<b>08:45</b>	07:42	06:32	07:55	07:11
<b>RSET Unterdeck [min:s]</b>	06:13	05:28	<b>06:57</b>	05:38	05:25	06:31

Anhand der Ergebnisse aus Tabelle 26 ergibt sich für Szenario 2 die höchste RSET für den gesamten Evakuierungsprozess, jedoch nicht für die Evakuierung aus dem Unterdeck. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Gesamtevakuierungszeit maßgeblich durch die Stauung vor der Gangway am Heck bestimmt wird. Die Evakuierungszeit aus dem Unterdeck wird dadurch nicht beeinflusst. Die höchste RSET für das Unterdeck ergibt sich in Szenario 3. Der Tabelle ist ebenfalls zu entnehmen, dass alle Evakuierungszeiten des Unterdecks der Nutzungsart 1 höher sind als die der Nutzungsart 2. Der Grund hierfür liegt in den Sitzreihen, die die Besucher während der Evakuierung behindern. Die höchsten Gesamtevakuierungszeiten ergeben sich in den Szenarien mit der fehlenden Gangway (Szenario 2/5). Wie bereits beschrieben, liegt dies an der Stauung, die sich vor der schmaleren Gangway bildet. Die nachfolgende Tabelle zeigt erneut die RSET der verschiedenen Szenarien, jedoch unter Berücksichtigung des Sicherheitsfaktors von 1,25. Diese Werte sollen für die Bewertung genutzt werden.

Tabelle 27: RSET aller Szenarien mit Sicherheitsfaktor und zugeordneten Brandorten

	Nutzungsart 1			Nutzungsart 2		
	Brandszenario 1		Brandszenario 2	Brandszenario 3		Brandszenario 4
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
<b>RESET gesamte Evakuierung [min:s]</b>	08:34	10:56	09:38	08:10	09:54	08:59
<b>RSET Unterdeck [min:s]</b>	07:46	06:50	08:41	07:03	06:46	08:09

In Tabelle 27 sind den Evakuierungsszenarien die Brandszenarien zugeordnet. Um die Personensicherheit hinsichtlich der Evakuierungszeiten bewerten zu können, wird die höchste RSET des Unterdecks des jeweiligen Brandszenarios ausgewählt und der ASET gegenübergestellt (s. Tabelle 28).

Tabelle 28: Gegenüberstellung der RSET des Unterdecks und der ASET

	RSET Unterdeck [min:s]	ASET [min:s] (21)	Sicherheitspanne
<b>Brandszenario 1 Szenario 1</b>	07:46	10	02:14
<b>Brandszenario 2 Szenario 3</b>	08:41	10	01:19
<b>Brandszenario 3 Szenario 4</b>	07:03	10	02:57
<b>Brandszenario 4 Szenario 6</b>	08:09	10	01:51

Der Tabelle 28 ist zu entnehmen, dass alle Evakuierungszeiten (RSET) der gewählten Szenarien unter der verfügbaren Evakuierungszeit (ASET) liegen. Zudem ergibt sich eine ausreichend lange Sicherheitspanne von mindestens 1:19 min (Szenario 3). Nach dem AGBF-Schutzziel soll die Feuerwehr nach 9:30 min den Einsatzort erreichen (22). Die längste Gesamtevakuierungszeit ergibt sich in Szenario 3 mit 8:41 min. Diese Zeit liegt unter der vorgesehenen Hilfsfrist der Feuerwehr. Daher kann gesagt werden, dass zum Zeitpunkt des Eintreffens der Feuerwehr alle Menschen bzw. der Großteil der Menschen gerettet ist und die Rettungswege als Angriffswege der Feuerwehr genutzt werden können.

In Anbetracht der gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich der Qualität und Dauer der Evakuierung, kann gesagt werden, dass eine sichere und schnelle Evakuierung der schwimmenden Versammlungsstätte im Falle eines Brandes möglich ist.

---

## 10 Fazit

Die Ziele dieser Bachelorarbeit bestanden zum einen darin, eine schwimmende Versammlungsstätte unter Berücksichtigung der Regelungen aus Land- und Schiffbau zu konstruieren. Zum anderen sollte mit Hilfe einer Evakuierungsanalyse überprüft werden, ob eine sichere und schnelle Evakuierung möglich ist. Dabei wurden die Ergebnisse der Brandszenarien aus der Bachelorarbeit von Herrn Sebastian Milek als Bewertungsgrundlage genutzt.

Bei der Gegenüberstellung der Regelungen aus Land- und Schiffbau stellte sich heraus, dass die Schutzziele und Grundprinzipien große Ähnlichkeiten aufweisen und sich nur die Umsetzung in Form von baulichen und organisatorischen Anforderungen in einigen Punkten unterschied. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass Schiffe auf hoher See vorerst auf sich selbst gestellt sind und nicht auf eine schnelle Hilfe von außen hoffen können. Da der Betrieb der schwimmenden Versammlungsstätte nur mit Landverbindung vorgesehen ist und die Regelungen aus dem Landbau als sinnvoller für dieses Projekt erachtet worden sind, wurden diese auch angewendet. Die Evakuierungsanalyse hingegen stützte sich auf die Vorgaben des Schiffbaus. Aber auch hier mussten Änderungen vorgenommen werden, da sich die schwimmende Versammlungsstätte im Aufbau und der Nutzung zu sehr von einem großen Passagierschiff unterscheidet. So wurden nur die Modellierungsparameter der Crew und Passagiere für den Tagfall übernommen. Die Vorgaben hinsichtlich der Szenarien die in dieser Arbeit nicht näher beschrieben wurden, fanden keine Anwendung. Stattdessen wurden eigene Szenarien entwickelt. Auch die Rechnung zur Bestimmung der endgültigen Evakuierungszeit konnte so nicht übernommen werden, da der Evakuierungsprozess auf der schwimmenden Versammlungsstätte nicht in zwei Phasen (Evakuierung zu den Musterstationen und Einbootung) unterteilt wurde. Die Ergebnisse der Evakuierungsanalyse fielen sehr positiv aus. So konnten die identifizierten Stauungen als nicht kritisch bewertet werden und auch die Evakuierungszeiten des Unterdecks zur weiteren Bewertung der Personensicherheit lagen unter den Zeiten, die im Falle der gewählten Brandszenarien zur Verfügung stehen. Somit konnte der Evakuierungsprozess der schwimmenden Versammlungsstätte als sicher bewertet werden. Es wurden jedoch nicht nur die Evakuierungszeiten im Unterdeck betrachtet, sondern auch die Gesamtevakuierungszeit. Diese lag unter der Hilfsfrist der Feuerwehr, wodurch eine freie Nutzung der Angriffswege gewährleistet ist.

Auch wenn die Stauungen, die bei der simulierten Evakuierung auftraten, als nicht kritisch bewertet wurden, gibt es die Möglichkeit Sensitivitätsanalysen durchzuführen, um die Qualität der Evakuierung weiter zu verbessern. Änderungen hinsichtlich der Bemessung und Lage der Rettungswege wären möglich. Aber auch die Nutzung der Gänge entlang des Glasdaches als Rettungsweg könnte in Betracht gezogen werden. Hierdurch könnte z.B. die Stauung am Heck des Oberdecks, durch einen Transfer zum Bug, kompensiert werden.

---

Die hier gewonnenen Ergebnisse der Evakuierungsanalyse geben einen Einblick, wie ein Evakuierungsprozess unter den gewählten Nutzungsarten, Szenarien und Personenanzahl abläuft. Im Falle einer realen Umsetzung mit geänderter Inneneinrichtung und Raumaufteilung sind diese Ergebnisse jedoch nur bedingt übertragbar. Für eine andere Nutzung müssten eigene Szenarien entwickelt und im Anschluss eine Evakuierungsanalyse durchgeführt werden.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Erwartungen erfüllt worden sind, einen Schubleichter zu einer schwimmenden Versammlungsstätte so umzubauen, dass eine sichere und schnelle Evakuierung möglich ist.



## 11 Literaturverzeichnis

1. **International Maritime Organization.** *International Convention for the safety of Life at Sea.* London : s.n., 2013, Chapter 1, Part A.
2. **ARGEBAU.** *Musterbauordnung.* Saarbrücken : s.n., 2002. Zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 21.09.2012.
3. Taft. [Online] [Zitat vom: 10. Februar 2014.]  
[http://www.google.de/imgres?sa=X&biw=1280&bih=866&tbm=isch&tbnid=v\\_UjSX8ROT7bkM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.taft.com%2FModelWeb%2FPages%2Fnamepages%2FK%2FNautik%2520Art-Kohle%2520Langholz%2520Schubleichter%25205%2520Stuck.html&docid=cFqKKCW9ytgUFM&imgur](http://www.google.de/imgres?sa=X&biw=1280&bih=866&tbm=isch&tbnid=v_UjSX8ROT7bkM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.taft.com%2FModelWeb%2FPages%2Fnamepages%2FK%2FNautik%2520Art-Kohle%2520Langholz%2520Schubleichter%25205%2520Stuck.html&docid=cFqKKCW9ytgUFM&imgur).
4. **International Maritime Organization.** About IMO. [Online] [Zitat vom: 9. Dezember 2013.]  
[http://www.imo.org/About/Documents/What%20it%20is%20Oct%202013\\_Web.pdf](http://www.imo.org/About/Documents/What%20it%20is%20Oct%202013_Web.pdf).
5. **GL Academy.** Basiswissen Schifffahrt. Hamburg : s.n., 10. März 2008.
6. **International Maritime Organization.** About IMO. [Online] [Zitat vom: 12. Dezember 2013.]  
[http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx).
7. —. *International Convention for the safety of Life at Sea.* London : s.n., 2013, II-2, Part D.
8. —. MSC.1/Circ.1238. London : s.n., 2007.
9. **Bauministerkonferenz.** Bauministerkonferenz Wir über uns. [Online] 29. Oktober 2009. [Zitat vom: 13. Dezember 2013.]  
<http://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=762&o=7590762>.
10. **Verband der Sachversicherer.** Brandschutzbeauftragte Lehrgangsunterlagen. s.l. : Vds Schadenverhütung Bildungszentrum & Verlag, 2011, 2.
11. **Hosser, Dietmar.** *"Ingenieurmethoden des Brandschutzes" Kurzreferate.* Hannover : vfdb, 2005. 3-89288-165-0.
12. **Schreckenberg, Michael und Sharma, Som Deo.** *Pedestrian and Evacuation Dynamics.* Berlin, Heidelberg : Springer, 2002. 3-540-42690-6.
13. **TraffGo HT GmbH.** AENEAS Benutzerhandbuch. *traffgo.ht.* [Online] 2013. [Zitat vom: 20. Dezember 2013.] <http://traffgo.ht.de/downloads/pedestrians/downloads/documents/Handbuch.pdf>.
14. **ARGEBAU.** *Muster-Versammlungsstättenverordnung.* Saarbrücken : s.n., 2005. Zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Februar 2010..
15. **International Maritime Organization.** International Code for Fire Safety Systems. London : s.n., 2012, 13.

16. **ARGEBAU.** *Begründung und Erläuterung zur Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten.* Saarbrücken : s.n., 2005.
17. **International Maritime Organization.** *International Convention for the safety of Life at Sea.* London : s.n., 2013, III, Part B.
18. **Gemeindebund, Deutscher Städte- und.** *Besuchersicherheit-Veranstaltungen zeitgemäß umsetzen, Herausforderungen für kleine und mittlere Kommunen.* Berlin : Winkler & Stenzel GmbH, 2013.
19. **Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes.** *Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes.* Altenberge : s.n., 2013. Technischer Bericht.
20. **Oberhagenmann, Dirk.** *Risiko Großveranstaltungen - Planung, Bewertung, Evakuierung und Rettungskonzepte.* Berlin : s.n., 2011.
21. **Milek, Sebastian.** *Sicherheitsrelevante Maßnahmen in Land- und Schiffbau - Brandschutztechnische Betrachtung einer schwimmenden Versammlungsstätte.* Hamburg : s.n., 2014.
22. *Informationen zur Einführung des AGBF-Schutzziels.*

## **Eigenständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

---

Ort, Datum

Vorname Nachname