

# Evakuierungssimulation von Kreuzfahrtschiffen

## *Evacuation Simulation of Cruise Ships*

Jan-Dirk Meyer, Jens Klußmann, Hochschule Emden/Leer, Leer (Germany),  
jan-dirk.meyer@hs-emden-leer.de, jens.klussmann@hs-emden-leer.de

**Abstract:** This document deals with the topic of the evacuation simulation of cruise ships. The purpose of the evacuation simulation is to identify key figures such as the duration of the evacuation and waiting times. Using a 3D evacuation simulation, bottlenecks and obstacles can be evaluated more precise. With regard to the evacuation of disabled passengers, a subsequent evaluation of bottlenecks by Virtual Reality (VR) has been considered. Finally, user experiences are analyzed and the advantages of VR in relating to evacuation simulations are shown.

## 1 Einleitung

Die Evakuierung eines Schiffes kann durch verschiedene Ursachen notwendig werden. Diese sind Verlust der Stabilität des Schiffes, Feuer an Bord, Kollisionen, Grundberührungen oder ungünstige Wetterbedingungen. Mindestanforderungen, die Schiffe hinsichtlich Bauweise, Ausrüstung, Betrieb und Sicherheit erfüllen müssen, sind in der International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974 (SOLAS 1974), und in den von der International Maritime Organisation (IMO) erlassenen Bestimmungen geregelt. Demnach müssen Rettungsboote auf allen Schiffen innerhalb von 30 Minuten nach dem Signal zum Verlassen des Schiffes Passagiere aufnehmen und zu Wasser gelassen werden können. Seit einigen Jahren wird schon bei der Konstruktion von neuen Kreuzfahrtschiffen eine komplette Evakuierung eines Kreuzfahrtschiffes innerhalb von 80 Minuten angestrebt (Beste et al. 2012). Wie wichtig eine rechtzeitige und schnelle Evakuierung ist, zeigt das Negativbeispiel der Costa Concordia, welches am 13. Januar 2012 vor der Insel Giglio im Mittelmeer mit einem Felsen kollidierte, Leck schlug und schließlich vor der Insel auf Grund lief und mit der Zeit auf 65 Grad Schlagseite kippte. Durch eine zu späte Alarmierung und Durchführung von Evakuierungsmaßnahmen verloren schließlich 32 Passagiere ihr Leben.

Als Zielsetzung einer Evakuierungssimulation ist zu untersuchen, ob die gesetzlichen Vorgaben bezüglich einer Evakuierung eines Kreuzfahrtschiffs in der vorgegeben Zeit erfüllt werden können. Hierzu werden in der Simulation Kennzahlen wie beispielsweise die benötigte Zeitdauer der Passagiere vom Ausgangspunkt der Kabine über die z. T. verzweigten Gänge und Treppen bis zum

ersten Sammelpunkt und die benötigte Zeitdauer der Passagiere bis zu den Rettungsbooten ermittelt. Weitere Kennzahlen sind die Identifikation auftretender Wartezeiten der Passagiere, die durch Engpässe beispielsweise Treppen auftreten können. Hierbei ist es wichtig, dass das Verhalten der Menschen während einer Evakuierungssituation angemessen abgebildet wird und die altersgruppenabhängigen Reaktionen und Bewegungsmuster berücksichtigt werden. Für die Evakuierungssimulation wurde ein 3D-Decksmodell des Kreuzfahrtschiffs der Norwegian Escape modelliert und mittels des Simulationstools Plant Simulation (Siemens 2017) untersucht.

Bei der Betrachtung mobilitätseingeschränkter Personen, z. B. Rollstuhlfahrer, sind Aspekte des benötigten Raumbedarfs in einer Evakuierungssimulation angemessen zu berücksichtigen. Um diese Aspekte abzubilden, wurde das Simulationsmodell durch eine 3D-Visualisierung ergänzt. Verschiedene Schiffsmodelle bzw. Teile davon, wie z. B. Flure und Treppenbereiche, sind als 3D-Modell konstruiert worden. Die Evaluation der 3D-Modelle unter dem Gesichtspunkt der besonderen Anforderungen von mobilitätseingeschränkten Personen in einer Evakuierungssituation erfolgte in der VR-Corner-CAVE des Fachbereichs Seefahrt der Hochschule Emden/Leer.

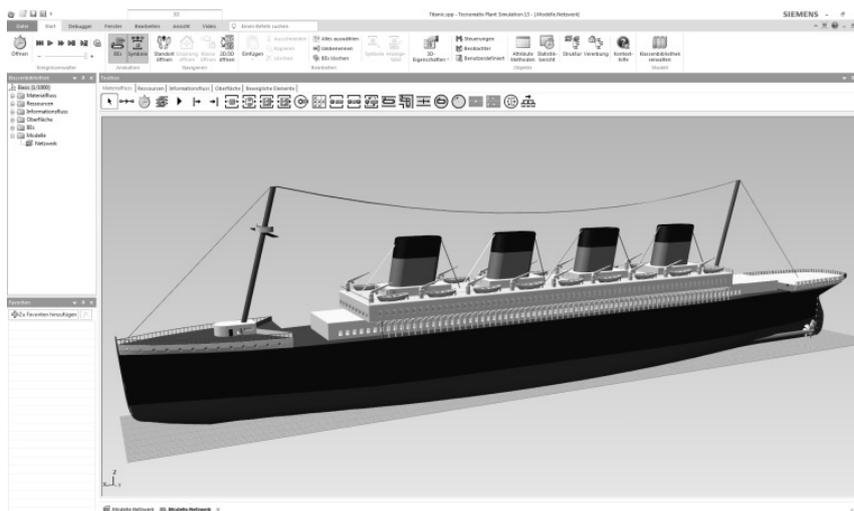
## 2 Stand der Technik

Die Simulation von Produktions- und Logistikprozessen ist bereits seit vielen Jahren in diversen Bereichen der Industrie etabliert (Klußmann et al. 1996; Steinhauer 2006). Auch im Schiffbau, der durch Klein- bzw. Kleinstserien gekennzeichnet ist, werden diskrete Simulationsmodelle beispielsweise in der Schiffsendmontage eingesetzt (Steinhauer 2016). Die Analyse von Evakuierungen von Kreuzfahrtschiffen ist in SOLAS (1974) und ergänzenden Richtlinien der IMO geregelt. Evakuierungssimulationen als Spezialfall von Personenflusssimulationen werden bereits seit einigen Jahren von namhaften Softwarewerkzeugen wie AnyLogic, Enterprise Dynamics und AENEAS unterstützt. Das Unternehmen AnyLogic führt hierbei Simulationsstudien zur Passagierflusssimulation am Frankfurter Flughafen oder zur Analyse von Menschenmengen am Eiffelturm auf (AnyLogic Europe 2017). Die Softwarelösung Pedestrian Dynamics des Unternehmens INCONTROL bietet explizit Evakuierungssimulation von Kreuzfahrtschiffen an (INCONTROL 2017). Auch das Unternehmen TraffGo HT bietet Evakuierungssimulation von Kreuzfahrtschiffen mit ihrer Softwarelösung AENEAS an (TraffGo 2017).

Die Evakuierung von Kreuzfahrtschiffen und die Evakuierung von Gebäuden ähneln sich sehr. Im Vergleich zu der Evakuierung von Gebäuden ist die Besonderheit der Schiffsbewegung und daraus resultierende verminderte Gehgeschwindigkeiten der Passagiere zu beachten (Bles et al. 2002).

Durch die stetige Weiterentwicklung von Simulationssoftware und technischen Komponenten ist die Möglichkeit der 3D-Visualisierung in den letzten Jahren gestiegen. Trotz der gegebenen technischen Voraussetzungen hat sich das Thema der 3D-Visualisierung bis heute aber nicht etablieren können und scheint nur ein geringes Maß an Wichtigkeit zu haben (Schmitz und Wenzel 2013). Dabei öffnet die 3D-Visualisierung viele neue Möglichkeiten. Hierbei kann die 3D-Visualisierung nicht nur bei Präsentationen ihre Stärken ausspielen, sondern sie kann dazu beitragen, die Evakuierung von Personen auf einem Kreuzfahrtschiff aus einem

völlig neuen Blickwinkel zu betrachten, um somit bereits vor Produktionsbeginn Engpässe zu erkennen, und bietet damit die Möglichkeit noch in der Planungsphase Modifikationen vorzunehmen. Aufgrund der rasanten Entwicklung in der IT- und Computerbranche rückt die Nutzung von Virtual Reality (VR) immer weiter in den Fokus. Mit Hilfe von VR kann die 3D-Visualisierung weiter verstärkt werden und Mitarbeitern aus anderen Bereichen des Unternehmens der Zugang zu komplexen Daten ermöglicht werden (Lukas et al. 2005). Auch in der Schifffahrt wird verstärkt VR eingesetzt (Klußmann 2017). Die Nutzung von VR für „virtuelle“ Schiffsrundgänge ist bereits eine gängige Methode zur Repräsentation von Schiffsmodellen, jedoch ist die visuelle Untersuchung im Hinblick auf die Barrierefreiheit in Zusammenhang mit der Evakuierungssimulation ein Novum. In Abbildung 1 ist als virtuelles Schiffsmodell die Titanic nachgebildet, die im Unterricht am Fachbereich Seefahrt eingesetzt wird, um die Studierenden in den neuen VR-Technologien auszubilden.



*Abbildung 1: Virtuelles Schiffsmodell der Titanic in Plant Simulation*

Die visuelle Untersuchung in Kombination mit einem mobilitätseingeschränkten Menschenmodell bietet die Möglichkeit, im Vorfeld Engpässe zu identifizieren und Erreichbarkeiten von ausgewählten Bereichen zu analysieren.

### **3 Simulation und Modellierungsaspekte**

Um die Evakuierung eines Kreuzfahrtschiffes realistisch in einer Simulation darstellen zu können, ist es wichtig, zunächst das Verhalten der Personen an Bord zu betrachten. Internationale Vorgaben für die Evakuierungssimulation von Kreuzfahrtschiffen finden sich in den „Guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ships“, die von der IMO bereitgestellt werden (MSC.1/Circ.1238 2007). Diese Richtlinien stellen ebenfalls eine analytische Methode zur Berechnung der Evakuierungsdauer eines Kreuzfahrtschiffes bereit. Dabei werden blockierte Wege und andere Störfälle in dieser Betrachtungsweise

lediglich durch einen Sicherheitsfaktor abgebildet. Aufgrund der Weiterentwicklung der Simulationssoftware in den letzten Jahren ist es möglich, solche Störungen in der Simulation zu berücksichtigen und genauer darzustellen. Nachfolgend soll die Evakuierung eines Kreuzfahrtschiffes mittels der Simulationssoftware Plant Simulation untersucht werden. Hierbei werden die Passagiere anhand von Warkern dargestellt und die Zeitdauer der Evakuierung und Wartezeiten der Passagiere ermittelt und mit den Vorgaben der IMO verglichen.

### 3.1 Modellierungsvorgaben

Um eine sichere Evakuierung eines Kreuzfahrtschiffes gewährleisten zu können, ist es wichtig zu verstehen, wie die Passagiere auf einen Notfall reagieren und wie sie sich bei einer Evakuierung verhalten, da der Faktor Mensch bei einem Seeunfall maßgeblich den Ablauf des Notfalls bestimmt (Hahne 2012). Vorgaben und statistische Annahmen zu Reaktionszeiten oder Geschwindigkeiten der Passagiere sind in den IMO-Richtlinien dokumentiert. Demnach ist beispielsweise die demografische Zusammensetzung auf einem Kreuzfahrtschiff gemäß Tabelle 1 und die Geschwindigkeiten der unterschiedlichen Personengruppen gemäß Tabelle 2 verteilt.

**Tabelle 1:** Tabelle über die demographische Zusammensetzung der Passagiere (MSC.1/Circ. 1238 2007)

| <b>Demographische Gruppe – Passagiere</b>            | <b>%-Anteil</b> |
|--|-----------------|
| Frauen, jünger als 30 Jahre                          | 7               |
| Frauen, zwischen 30-50 Jahre                         | 7               |
| Frauen, älter als 50                                 | 16              |
| Frauen, älter als 50 und eingeschränkt Mobil Stufe 1 | 10              |
| Frauen, älter als 50 und eingeschränkt Mobil Stufe 2 | 10              |
| Männer, jünger 30 Jahre                              | 7               |
| Männer, zwischen 30-50 Jahre                         | 7               |
| Männer, älter als 50                                 | 16              |
| Männer, älter als 50 und eingeschränkt Mobil Stufe 1 | 10              |
| Männer, älter als 50 und eingeschränkt Mobil Stufe 2 | 10              |
| <b>Demographische Gruppe – Crew</b>                  | <b>%-Anteil</b> |
| Frauen   | 50              |
| Männer   | 50              |

Dabei ist zu beachten, dass Hindernisse wie z. B. Türen die Geschwindigkeiten um ein Viertel reduzieren. Hierfür sind separate Tabellenwerke vorhanden. Neben der Geschwindigkeit der Passagiere sind auch deren Geduld und Reaktionszeit für die Simulation entscheidend. Mit Geduld ist z. B. gemeint, wie lange eine Person wartet, bis sie sich bei einer Stauung einen neuen Weg sucht. Mit der Reaktionszeit ist beispielsweise die Zeit gemeint, die eine Person benötigt, um auf einen Alarm zu reagieren.

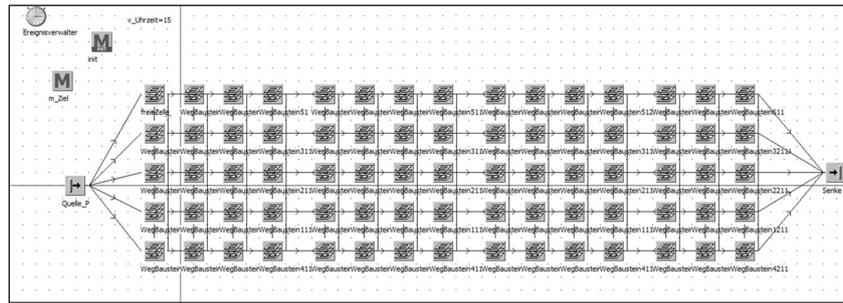
**Tabelle 2:** Geschwindigkeiten der unterschiedlichen Passagiergruppen  
(MSC.1/Circ. 1238 2007)

| Demographische Gruppe - Passagiere                   | Gehgeschwindigkeit in m/s |      |         |      |
|--|---------------------------|------|---------|------|
|  | Aufwärts                  |      | Abwärts |      |
|  | Min.                      | Max. | Min.    | Max. |
| Frauen, jünger als 30 Jahre                          | 0,56                      | 0,94 | 0,47    | 0,79 |
| Frauen, zwischen 30-50 Jahre                         | 0,49                      | 0,81 | 0,44    | 0,74 |
| Frauen, älter als 50                                 | 0,45                      | 0,75 | 0,37    | 0,61 |
| Frauen, älter als 50 und eingeschränkt Mobil Stufe 1 | 0,34                      | 0,56 | 0,28    | 0,46 |
| Frauen, älter als 50 und eingeschränkt Mobil Stufe 2 | 0,29                      | 0,49 | 0,23    | 0,39 |
| Männer, jünger als 30 Jahre                          | 0,76                      | 1,26 | 0,5     | 0,84 |
| Männer, zwischen 30-50 Jahre                         | 0,64                      | 1,07 | 0,47    | 0,79 |
| Männer, älter als 50                                 | 0,5                       | 0,84 | 0,38    | 0,64 |
| Männer, älter als 50 und eingeschränkt Mobil Stufe 1 | 0,28                      | 0,64 | 0,29    | 0,49 |
| Männer, älter als 50 und eingeschränkt Mobil Stufe 2 | 0,33                      | 0,55 | 0,25    | 0,41 |
| Demographische Gruppe – Crew                         | Gehgeschwindigkeit in m/s |      |         |      |
|  | Aufwärts                  |      | Abwärts |      |
|  | Min.                      | Max. | Min.    | Max. |
| Frauen   | 0,56                      | 0,94 | 0,47    | 0,79 |
| Männer   | 0,76                      | 1,26 | 0,5     | 0,84 |

Diese Zeiten wiederum sind je nach Uhrzeit abhängig und betragen tagsüber 0 bis 300 Sekunden und nachts zwischen 400 und 700 Sekunden.

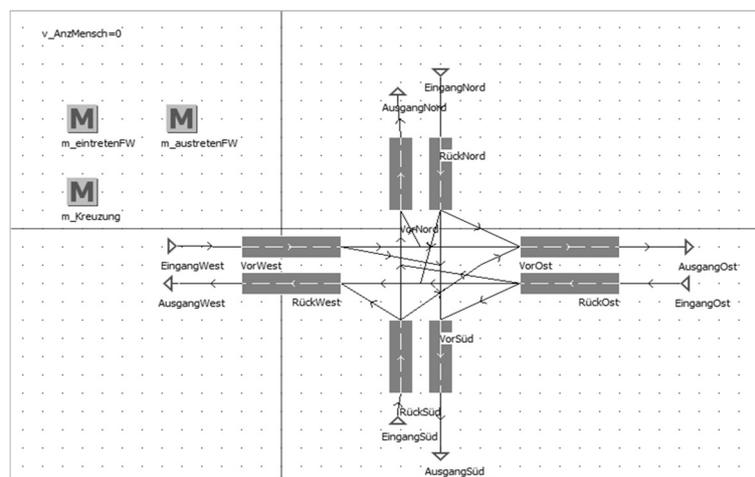
### 3.2 Simulationsmodell

Als Simulationstool wurde wie bereits erwähnt Plant Simulation verwendet. Hierbei wurde in einem ersten Versuch der Grundriss eines Schiffsdecks zunächst mittels Unternetzwerken in mehrere Zellen aufgeteilt (siehe Abb. 2). Eine Zelle entspricht dabei der wissenschaftlich ermittelten Standfläche einer Person im dichten Gedränge von  $0,16 \text{ m}^2$  und kann somit auch nur von jeweils einem Passagier zu einem bestimmten Zeitpunkt betreten werden.



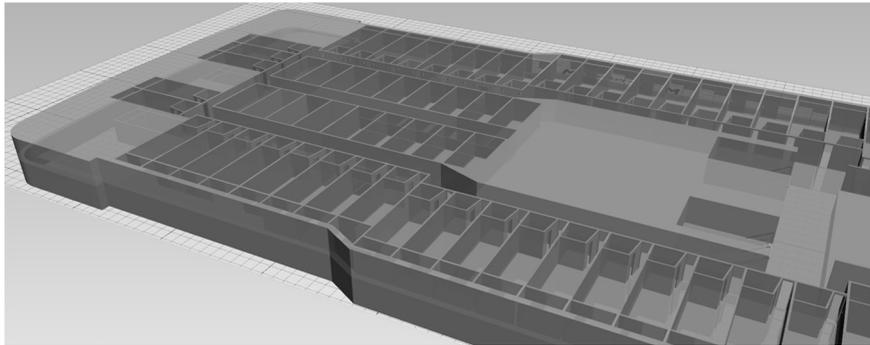
**Abbildung 2:** Darstellung des Schiffdeckes mit Unternetzwerken als Zellen

Eine Zelle ist dabei wie in Abbildung 3 dargestellt aufgebaut. Die Wege in den Zellen stellen deren Begrenzung dar. Die Uhrzeit, an dem der Alarm beginnt, wird hierbei von der Simulation ausgewürfelt. Über Zufallskomponenten werden beim Austritt der Personen Parameter, wie z. B. Alter, Geschwindigkeit und Geschlecht, automatisch bestimmt und übergeben. Ziel ist es, die durchschnittliche Zeitdauer und Spitzen zu ermitteln und Engpässe an bestimmten Stellen im Schiff zu identifizieren.



**Abbildung 3:** Darstellung des Aufbaus einer Zelle in Plant Simulation

Mit dem neuen Release für Plant Simulation sind Werker nicht mehr an Fußwege gebunden und können sich nun frei im Raum bewegen. Zu den neuen Funktionen gehört außerdem das automatische Erkennen von Hindernissen (Maschinen und Objekte) und benutzerdefinierten Sperrflächen. Zudem werden die Geschwindigkeiten der Werker bei Benutzung von Treppen automatisch angepasst. Für den zweiten Versuch der Evakuierungssimulation wurde daraufhin zunächst ein 3D-Schiffsmodell entwickelt. Die 3D-Decksmodelle wurden mit dem 3D-Tool SketchUp (Trimble 2017) entwickelt und in Plant Simulation importiert. Abbildung 4 zeigt das erstellte 3D-Decksmodell, welches für die Evakuierungssimulation verwendet wurde.



*Abbildung 4: 3D-Schiffsdeck für die Evakuierungssimulation in Plant Simulation*

Die Uhrzeit des Alarms und die gewählten Parameter sind gemäß des ursprünglichen Modells generiert worden. Mittels Sperrflächen wurde der Grundriss des Decks nachmodelliert und somit Fluchtwege für die Passagiere vorgegeben. In dem simulierten Szenario wurde eine bestimmte Anzahl von Passagieren aus ihren Kabinen zu einem Evakuierungsplatz auf ein höher gelegenes Deck geschickt und hierbei die Zeitdauer für die Evakuierung gemessen. Die individuell gemessenen Zeiten sind dabei in einer Tabelle für den jeweiligen Passagier abgespeichert worden. Zudem ist eine Detaillierung der Wartezeiten, die bedingt durch Staus vor Treppen oder durch Engpässe aufgetreten sind, vorgenommen worden. Gruppendynamische Ereignisse wie z. B. das Verhalten bei plötzlichem Auftreten von Hindernissen sind durch Methoden realisiert worden. Bedingt dadurch, dass die exakte Position der Passagiere in einem bestimmten Zeitintervall abgefragt wurde, konnte bei Auftreten eines Hindernisses den Passagieren ein neues Ziel zugeordnet und somit verhindert werden, dass die Passagiere durch das Hindernis hindurch laufen. Mobilitätseingeschränkte Passagiere, wie z. B. Rollstuhlfahrer, wurden in der Simulation durch entsprechende Grafiken und angepasste Geschwindigkeiten dargestellt.

Da die mobilitätseingeschränkten Personen im Wesentlichen nur durch eine geringere Geschwindigkeit abgebildet wurden, ist eine zusätzliche Untersuchung des Raumbedarfs eines Rollstuhlfahrers anhand eines 3D-Modells in der VR betrachtet worden. Hierzu wurden Schiffskabinen und Fluchtwege genauer untersucht.

#### **4      Barrierefreiheit auf Kreuzfahrtschiffen**

Für die barrierefreie Gestaltung an Bord gibt es keine einheitlich verpflichtenden Vorschriften. Gemäß Richtlinie 2009/45/EG (2009) muss lediglich gewährleistet sein, dass mobilitätseingeschränkte Personen gefahrlos Fahrgastschiffe betreten können. Zudem gibt es auf internationaler Ebene Richtlinien wie beispielsweise ECE/TRANS/SC.3/188 (2010) der United Nation oder den Code of Practice der kanadischen Behörde. Dort finden sich beispielsweise Vorgaben für die Gestaltung von Fluren, Aufzügen und Waschräume. Beim Vergleich der Richtlinien zeigen sich gewisse Parallelen zu den deutschen DIN-Normen. Da die Richtlinien einen eher empfehlenden Charakter haben und es keine einheitlichen Vorschriften zum barrierefreien Bauen an Bord gibt, ist es notwendig die Barrierefreiheit im Hinblick auf ein Evakuierungsszenario zu untersuchen. Hier kann die 3D-Simulation und Visualisierung in Kombination mit VR ihre Stärken ausspielen.

#### 4.1 Einsatz virtueller Schiffsmodelle in der VR-Corner-CAVE

Die erstellten 3D-Modelle sind in dem VR-Corner-CAVE-System des Fachbereichs Seefahrt getestet worden. Das VR-System besteht aus zwei Seitenprojektionen in den Größenabmessungen von 3,60 m Breite und 2,0 m Höhe und einer Bodenprojektion in der gleichen Dimension. Die Projektoren haben jeweils eine Full HD Auflösung von 1920\*1080 Pixel. Die VR-Corner-CAVE verfügt über ein markerbasiertes Tracking-System, bestehend aus drei Infrarotkameras zur Positionsbestimmung und einer 3D-Brille zur blickpunktabhängigen Bildgenerierung. Für die Steuerung in der Szene wird ein Flystick oder alternativ ein Xbox-Controller verwendet.

Für die Untersuchung der Barrierefreiheit und den Raumbedarf von mobilitätseingeschränkten Personen auf Kreuzfahrtschiffen während einer Evakuierung wurden zunächst 3D-Modelle erstellt, die besondere Anforderungen im Hinblick auf die Barrierefreiheit aufweisen. Für die Untersuchung wurde exemplarisch eine einzelne Kabine und Fluchtwege des Kreuzfahrtriesen „Norwegian Escape“ modelliert. Für die Erstellung der dreidimensionalen Modelle wurde auf die Software SketchUp (Trimble 2017) zurückgegriffen. Sie hat den Vorteil, dass bereits nach kurzer Einarbeitungszeit sehr anschauliche 3D-Modelle erstellt werden können. Da bei der Erstellung der 3D-Modelle nicht auf Originalpläne zurückgegriffen werden konnte, wurden die auf der Norwegian Cruise Line Webseite veröffentlichten Skizzen verwendet. Das Interieur wurde über die Onlinebibliothek „3D-Warehouse“ von SketchUp in das Modell eingepflegt.

*Beispiel Fluchtweg:* Die Fluchtwege wurden gemäß DIN-Normen und IMO-Richtlinien gestaltet, entsprechende Maße wurden eingehalten. Anschließend wurde das Modell mittels VR auf Barrierefreiheit und Engpässe untersucht. Abbildung 5 zeigt einen Rollstuhlfahrer bei der Benutzung eines Fluchtweges im Brandfall.



**Abbildung 5:** Darstellung eines Rollstuhlfahrers bei der Benutzung eines Fluchtweges in SketchUp

## 4.2 Praktische Erfahrungswerte

Die Nutzbarkeit der virtuellen Schiffsmodelle beruht auf Erfahrungen von Studierenden in mehreren Vorlesungen. Diverse Testszenarien wurden in der VR-Corner-CAVE durchgespielt und anschließend über einen Fragebogen ausgewertet. Infolge des hohen „Immersionsgrades“, Eintauchen in das virtuelle Modell, konnten sich die Studierenden einen realitätsnahen Überblick der Räumlichkeiten verschaffen und sich besser in die Rolle des Rollstuhlfahrers hineinversetzen. Die Steuerung in der Szene wurde mit einem Flystick durchgeführt. Hier hat sich gezeigt, dass sich der Nutzer zunächst an die Steuerung des Flysticks gewöhnen muss, bis eine sichere Handhabung gewährleistet ist. Ebenfalls sind bei wenigen Nutzern Symptome der Simulatorkrankheit „Simulator Sickness“, wie z. B. Übelkeit und Unwohlsein, aufgetreten.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Evakuierungssimulation anhand eines 3D-Simulationsmodells und die anschließende Betrachtung und Untersuchung der Barrierefreiheit und Engpässe mittels VR eine zusätzliche Unterstützung im Bewertungsprozess und Analyse bei der Evakuierung von Kreuzfahrtschiffen bietet. Es hat sich gezeigt, dass das Eintauchen in die virtuelle Welt die Wahrnehmung des Betrachters verstärkt und die Beurteilung der Simulationsergebnisse aus völlig neuen Blickwinkeln ermöglicht. So wird dem Nutzer die Möglichkeit gegeben, sich in die Rolle des Passagiers einzufühlen und die Szene aus dessen Sicht zu erleben. Zudem kann die Analyse der Barrierefreiheit mittels VR bereits in der Planungs- und Entwicklungsphase eingesetzt werden und somit zu einer Früherkennung von Problemen beitragen, was wiederum zu einer Vermeidung von hohen Umbaukosten im Nachhinein führt. Abschließend ist zu sagen, dass die barrierefreie Gestaltung mittels VR ein Zugewinn im Konstruktionsprozess von Kreuzfahrtschiffen ist und zur Kostenreduzierung durch Vermeidung von nachträglichen Änderungen beiträgt. Zur weiteren Steigerung des Immersionsgrades kann die Interaktion mit Gegenständen im Modell führen. Für zukünftige Untersuchungen ist beispielsweise das Greifen von Gegenständen für die Analyse von Erreichbarkeiten anzustreben.

## Literatur

- 2009/45/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Mai 2009 über Sicherheitsvorschriften und -normen für Fahrgastschiffe, Amtsblatt der Europäischen Union L 163/1 2009.
- AnyLogic Europe: Fallbeispiele. [http://www.anylogic.de/case-studies/?TAGS=pedestrian-traffic-flows&NUMBER\\_TAGS=278](http://www.anylogic.de/case-studies/?TAGS=pedestrian-traffic-flows&NUMBER_TAGS=278). Letzter Zugriff am 25.07.2017.
- Beste, D.; Friedl, C.; Kälke, M.; Kürten, L.; Müllges, K.: Maritime Erfolgsgeschichten – Forschung für Schifffahrt und Meerestechnik. (Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich, Hrsg.). Bonn: Brandt GmbH 2012.
- Bles, W.; Nooy, S.; Boer, L. C.: Influence of Ship Listing and Ship Motion on Walking Speed. In: Schreckenberg, M.; Sharma, S.D. (Hrsg.): Pedestrian and evacuation dynamics. Berlin, New York: Springer 2002, S. 437-452.

- Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B.: Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Berlin, Heidelberg: Springer 2013.
- Dörr: Das Fahrgastschiff für behinderte Mitbürger. Das Schiff für den Passagier. In: Wietasch, K.W. (Hrsg.): Duisburger Kolloquium Schiffstechnik/Meerestechnik, Duisburg 1989, S. 45-60.
- ECE/TRANS/SC.3/188, Guidelines for passenger vessels also suited for carrying persons with reduced mobility. New York and Geneva: United Nations 2010.
- Hahne, J. (Hrsg.): Handbuch Schiffssicherheit: Erkennen, Bewerten, Entscheiden, Handeln. Hamburg: Seehafen-Verlag 2012.
- INCONTROL Simulation Solutions: Crowd Management. <http://www.incontrolsim.de/application-area/crowd-management/#cruise-ships>.  
Letzter Zugriff am 25.07.2017.
- Klußmann, J.: Fachvortrag: Evakuierungssimulation auf Kreuzfahrtschiffen mittels Virtual Reality. VR/AR-Symposium - Augmented und Virtual Reality im Produktlebenszyklus. Heidelberg 2017, S. 5-7.
- Klußmann, J.; Krauth, J.; Splanemann, R.: Simulation - Spielerei oder zukunftsweisende Technik? *wt-Produktion und Management* 86 (1996)7/8, S. 361-366.
- Lukas, U. von; Schulte, G.; Hayka, H.; Scheller, M.; Wolf, A.: InViS - Integrierter Virtueller Schiffbau. In: Lukas, U. von (Hrsg.): Zentrum für Graphische Datenverarbeitung e. V. (ZGDV): Integrierter Virtueller Schiffbau. Workshop: Dokumentation zum Workshop. Stuttgart: Fraunhofer IRB, 2005, 14 S.
- MSC.1/Circ.1238, Guidelines for evacuation analysis for the new and existing passenger ships. IMO: London 2007.
- Schmitz, M.; Wenzel, S.: Die 3D-Visualisierung in der ereignisdiskreten Simulation – Stellenwert und Entwicklungstendenzen. In: Dangelmaier, W.; Laroque, C.; Klaas, A. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik 2013. Paderborn: W.V. Westfalia Druck GmbH 2013, S. 373-383.
- Siemens AG: Plant Simulation. <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml>. Letzter Zugriff am 25.07.2017.
- SOLAS: Consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, and its protocol of 1988: articles, annexes and certificates; incorporating all amendments in effect from 1 July 2014. International Maritime Organization. London: IMO 2014.
- Steinhauer, D.: Simulation im Schiffbau – Unterstützung von Werftplanung, Produktionsplanung und Produktentwicklung bei der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft. In: Wenzel, S. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik. Tagungsband zur 12. ASIM-Fachtagung (2006). San Diego: SCS Publishing House e. V., S. 1-14.
- Steinhauer, D.: STS Library for Complex Assembly and Logistics – New Version 10.1. Fachvortrag: 3rd Tecnomatix Plant Simulation Worldwide User Conference 2016. Stuttgart 2016, S. 3-6.
- TraffGo HT GmbH: AENEAS. <http://www.traffgo-ht.com/de/pedestrians/products/aeneas/index.html>. Letzter Zugriff am 25.07.2017.
- Trimble Navigation Ltd.: SketchUP. <https://www.sketchup.com/de>. Letzter Zugriff am 25.07.2017.