



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# Bachelorarbeit

**Nils Feyerabend**

**Ein Agenten-basiertes Modell zur Simulation von  
Flugzeugevakuierungen**

*Fakultät Technik und Informatik  
Studiendepartment Informatik*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Computer Science*

Nils Feyerabend

**Ein Agenten-basiertes Modell zur Simulation von  
Flugzeugevakuierungen**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Bachelor of Science Angewandte Informatik  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Thiel-Clemen  
Zweitgutachter: Prof. Dr. Sarstedt

Eingereicht am: 14. November 2013

**Nils Feyerabend**

**Thema der Arbeit**

Ein Agenten-basiertes Modell zur Simulation von Flugzeugevakuierungen

**Stichworte**

Multi-Agent, Flugzeugevakuierung, Agentenmodellierung, Walk

**Kurzzusammenfassung**

Das Ziel der Arbeit ist es ein agenten-basiertes Modell zur Evakuierung von Flugzeugen zu erstellen. Bei der Modellierung soll das Verhalten der Passagiere im Vordergrund stehen. Es sollen die wichtigsten Verhaltensmuster der Passagiere von dem Modell erfasst werden. Ein Teil des Modells soll in dem Multi-Agenten Framework Walk umgesetzt werden.

**Nils Feyerabend**

**Title of the paper**

Agent-based model for commercial airplane evacuation

**Keywords**

Multiagents, Airplane Evacuation, Agent based modelling, Walk

**Abstract**

This work is about creating an agent based model for commercial airplane evacuation. The model is focused on human behavior during the evacuation. It should contain the most important human behaviors that can occur during an airplane evacuation. A specific part of the model is realized with the multi agent framework Walk.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Ziel der Arbeit . . . . .	2
1.3	Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Analyse</b>	<b>3</b>
2.1	Verhalten von Passagieren und Flugbegleitern . . . . .	3
2.1.1	Passagiere . . . . .	3
2.1.2	Verhaltensmuster im Flug CI-120 . . . . .	4
2.1.3	Gepäck . . . . .	6
2.1.4	Auswirkung von körperlichen Eigenschaften . . . . .	6
2.1.5	Probleme beim Abschnallen und Auswirkungen auf die Evakuierung . . . . .	6
2.1.6	Flugbegleiter . . . . .	7
2.2	Umgebung . . . . .	8
2.2.1	Zuverlässigkeit von Notausgänge . . . . .	8
2.2.2	Entfalten von Notrutschen . . . . .	8
2.2.3	Auswirkungen von Gefahren . . . . .	8
2.2.4	Auswirkungen von Panik . . . . .	8
2.2.5	Modell von Miyoshi . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Anforderungen</b>	<b>10</b>
3.1	Agenten . . . . .	10
3.1.1	Passagier . . . . .	11
3.1.2	Flugbegleiter . . . . .	11
3.1.3	Unterziele für Flugbegleiter und Passagiere . . . . .	12
3.2	Ausgrenzungen - Agenten allgemein . . . . .	12
3.2.1	Modellierung von Panik . . . . .	12
3.2.2	Verhalten von Passagieren in gefährlichen Situationen . . . . .	12
3.2.3	Modellierung von Verletzungen . . . . .	12
3.3	Flugbegleiter . . . . .	13
3.4	Umwelt . . . . .	13
3.4.1	Richtlinien für Notausgängen . . . . .	13
3.4.2	Notausgänge - Gesetzliche Vorgaben . . . . .	13
3.4.3	Positionierung der Ausgänge . . . . .	14
3.5	Zustand des Flugzeugs . . . . .	15

3.6	Use Case der Passagiere . . . . .	16
3.7	Use Case Flugbegleiter . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Konzeption</b>	<b>23</b>
4.1	Einleitung . . . . .	23
4.2	Umwelt . . . . .	23
4.2.1	Modellierung der Umwelt in Layern . . . . .	23
4.2.2	Passagierbereich . . . . .	24
4.2.3	Sitzreihen . . . . .	24
4.2.4	Notausgänge . . . . .	24
4.2.5	Notrutschen . . . . .	24
4.2.6	Gepäckablage . . . . .	25
4.2.7	Gefahren . . . . .	25
4.2.8	Rettungszone . . . . .	25
4.2.9	Agenten . . . . .	25
4.2.10	Sonstige Hindernisse . . . . .	26
4.3	Agenten . . . . .	26
4.3.1	Alter . . . . .	26
4.3.2	Altersverteilung . . . . .	26
4.3.3	Geschwindigkeit . . . . .	27
4.3.4	Ziele . . . . .	28
4.3.5	Gedächtnis . . . . .	29
4.3.6	Wahrnehmung . . . . .	30
4.3.7	Fachliches Datenmodell . . . . .	30
4.4	Allgemeine Aktionen . . . . .	30
4.4.1	Abschnallen . . . . .	30
4.4.2	Öffnen von Ausgängen . . . . .	32
4.5	Aktionen der Passagiere . . . . .	32
4.5.1	Retten von Gepäck . . . . .	32
4.5.2	Auswahl des Notausgangs . . . . .	34
4.5.3	Benutzen des Notausgangs . . . . .	34
4.5.4	Gemeinsame Flucht . . . . .	34
4.5.5	Modellierung der Gruppen . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Realisierung</b>	<b>36</b>
5.1	Beispielszenario . . . . .	36
5.1.1	Ablauf der Evakuierung . . . . .	36
5.1.2	Daten zum Ablauf . . . . .	36
5.2	Walk . . . . .	39
5.3	Features von Walk . . . . .	39
5.3.1	Wegfindung . . . . .	39
5.3.2	Zeit . . . . .	41
5.3.3	Umwelt . . . . .	41

5.3.4	Visualisierung . . . . .	42
5.3.5	Auswertung . . . . .	42
5.3.6	Fazit Walk . . . . .	42
5.4	Umfang des Prototypen . . . . .	42
5.4.1	Erweiterung an der Walkumwelt . . . . .	42
5.5	Erweiterung von Walk um neue Layer . . . . .	44
5.5.1	Rettungszone . . . . .	44
5.5.2	Gepäckzone . . . . .	44
5.6	Importierung des Szenarios . . . . .	44
5.6.1	Ausgeschlossene Teile des Passagierbereiches . . . . .	46
5.7	Abbildung der Agenten . . . . .	46
5.7.1	Fluchtwege der Agenten . . . . .	46
5.8	Modellierung der Agenten . . . . .	46
5.8.1	Aktionen die von Walk bereitgestellt wurden . . . . .	47
5.8.2	Rettung von Gepäck . . . . .	47
5.8.3	Durchquerung des Notausgangs . . . . .	48
5.8.4	Abschnallen . . . . .	49
5.8.5	Altersmodell . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Auswertung des Modells</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>55</b>
7.1	Bewertung des Modells . . . . .	55
7.1.1	Ideen zur Verbesserung der Agenten . . . . .	55
7.1.2	Ideen zur Verbesserung von Walk . . . . .	56
7.2	Zusammenfassung . . . . .	56

# 1 Einführung

## 1.1 Motivation

Bis jetzt muss für jeden neuen Flugzeugtyp oder bei größeren Änderungen der Innenausstattung eines alten Flugzeuges eine Evakuierungsübung unter bestimmten Bedingungen durchgeführt werden. Das Ziel der Übung ist, alle Passagiere eines voll besetzten Flugzeuges innerhalb von weniger als 90 Sekunden zu evakuieren. Damit soll gezeigt werden, dass im Notfall das Flugzeug zeitnah evakuiert werden kann. Dazu wird das Flugzeug bis zu seiner maximalen Kapazität mit freiwilligen Passagieren und Flugbegleitern besetzt. Die Übung findet in einer abgedunkelten Halle statt, damit während der Übung das Flugzeug nur vom Bodennotlicht des Flugzeuges beleuchtet wird. Um das Chaos einer Evakuierung zu simulieren und die Übung realitätsnäher zu gestalten, werden kleine Hindernisse in den Gängen verteilt und nur die Hälfte der Notausgänge benutzt.

Die Effizienz dieser Tests wird allerdings in der Wissenschaft angezweifelt. Ein Beispiel ist das Paper von [Miyoshi \*et al.\* \(2012\)](#), in dem ein Modell zur Flugzeugevakuierung unter Berücksichtigung von Passagieremotionen vorgestellt wird. Es wird behauptet dass diese Tests sehr teuer und nur sehr schwer wiederholbar sind, außerdem sollen es bei den Freiwilligen oft zu Verletzten kommen.

Ein billiger und ungefährlicher Ansatz, der auch in der Evakuierung von Gebäuden oder Schiffen eingesetzt wird, wäre eine computergestützte Flugzeugevakuierung, zum Beispiel mit Multiagenten. Mit einer Simulation hätte man die Möglichkeit eine Evakuierung beliebig oft zu wiederholen und auszuwerten. Mit den gewonnen Erkenntnissen könnte man die Wegflüsse der Passagiere optimieren, Staus vor den Notausgängen reduzieren und sogar einige entscheidende Sekunden oder sogar Minuten gewinnen, die für eine erfolgreiche Evakuierung entscheidend sein können. Des Weiteren kann man in der Simulation auch Szenarien untersuchen, die man mit realen Personen nicht durchspielen kann, wie z.B. eine Evakuierung im Fall eines Kabinenbrandes.

## 1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist die Erschaffung eines Modells, welches verschiedene Szenarien während der Evakuierung eines Passagierflugzeuges darstellen kann. Mit dem Modell sollen verschiedene Handlungen von Passagieren und Flugbegleitern abgebildet werden, welche die Dauer einer Evakuierung beeinflussen können. Zu den Szenarien sollen zunächst nur ungefährliche Evakuierungen gehören. Das Modell soll allerdings so konzipiert werden, dass dies einfach um neue Szenarien erweitert werden kann.

## 1.3 Aufbau der Arbeit

Im Kapitel Analyse wurden zunächst einige Evakuierungen aus der Vergangenheit untersucht um kritische Vorgänge und wichtige Faktoren für eine Flugzeugevakuierung zu identifizieren. Im folgenden Kapitel, Anforderungen, wurden entschieden welche der Vorgänge und Faktoren in das Modell einfließen und welche ausgegrenzt werden. Im Kapitel Konzeption wurde eine mögliche Modellierung vorgeschlagen. Im anschließenden Kapitel Realisierung wurde eine reale Evakuierung ausgewählt und in das Modell übertragen. Zur Umsetzung des Modells wurde das Agenten-Framework Walk genutzt, das auch in diesem Kapitel beschrieben wird. Im Kapitel Auswertung wurde das Modell unter einer bestimmten Parametrisierung getestet und mit dem Daten aus der realen Evakuierung verglichen. Im letzten Kapitel Ausblick wurden Ideen für mögliche Verbesserungen an dem Modell und an Walk gesammelt.



## 2 Analyse

In diesem Kapitel soll analysiert werden wie sich Passagiere während einer Evakuierung verhalten und welche Faktoren Einflüsse auf den Ausgang einer Evakuierung haben. Dazu wurden mehrere Auswertung von Flugzeugevakuierungen und Erfahrungsberichte von Passagieren herangezogen.

### 2.1 Verhalten von Passagieren und Flugbegleitern

#### 2.1.1 Passagiere

Um herauszufinden wie sich Passagiere bei einer nicht panischen Evakuierung verhalten, wurden die Berichte und Erfahrungen der Passagiere vom Flug CI-120 herangezogen. Die Informationen wurden von (Chang & Yang, 2011) gesammelt und ausgewertet. Die Evakuierung fand am 20.08.2007 statt. Bei dem Flugzeug handelte es sich um eine Boeing 737-800. Es waren 157 Passagiere und 8 Besatzungsmitglieder an Board. Evakuiert wurde über die 4 Hauptnotausgänge<sup>1</sup>. Das Flugzeug wurde wegen abnormaler Hitzeentwicklung nach der Landung evakuiert. Nach dem Landen des Flugzeuges fing ein Triebwerk an zu qualmen, geriet anschließend in Brand und explodierte letztendlich. Bei der Evakuierung haben alle Insassen des Flugzeuges überlebt. Laut dem offiziellen Bericht vom Japan Transport Safety Board (2009) hat die Evakuierung 2 Minuten und 28 Sekunden gedauert. Es wurde in Chang & Yang (2011) behauptet, dass keine Panik während der Evakuierung ausgebrochen ist.

In der Studie wurde auch das Verhalten der Passagiere untersucht. Aus den Beobachtungen geht hervor das sich das Verhalten der Passagiere grundsätzlich in drei Gruppen einordnen lässt. Die Gruppen lassen sich wie folgt zusammenfassen.

---

<sup>1</sup>Ausgänge an vorderen und hinteren Ende des Flugzeuges

## 2.1.2 Verhaltensmuster im Flug CI-120

### Gruppe 1

Diese Personengruppe wurde mit dem Stichwort altruism<sup>2</sup> beschrieben, sie analysiert zunächst die Lage und wählt aufgrund der Beobachtung eine Entscheidung. Ein wahrscheinliches Szenario ist das Personen, aus dieser Gruppe, zunächst prüfen welcher Notausgang am besten zu erreichen ist. Denkbare Faktoren wären Berücksichtigung der Distanz und die Dichte von anderen Personen zu einem Notausgang. Die Auswahl des Notausganges kann auch durch Anweisungen der Flugbegleiter beeinflusst werden. Als weiteres wichtiges Merkmal ist das diese Gruppe versucht Freunden, Bekannte, Familie und anderen Menschen, die sich in ihrer Nähe befinden zu helfen.

### Gruppe 2

Diese Gruppe wurde mit behavioral inaction<sup>3</sup> beschrieben, sie verlässt sich bei der Evakuierung auf andere Personen. Falls keine Anweisungen von Flugbegleitern kommen, folgen sie einer anderen Person zum Notausgang(z.B. aus der Gruppe 1). Es wurde auch beschrieben das Personen aus dieser Gruppe teilweise auf Hilfe bei dem durchqueren des Notausganges angewiesen waren.

### Gruppe 3

Diese Gruppe wurde mit dem Stichwort affiliation<sup>4</sup> beschrieben, diese Personen haben die Tendenz, den Notausgang als Fluchtweg zu benutzen, durch den sie das Flugzeug betreten haben. Falls der Weg versperrt, ist wird der nächst beste Ausgang in der Nähe des gewohnten Ausganges benutzt. Außerdem besteht diese Personengruppe meistens darauf ihr Handgepäck mitzunehmen.

Allerdings muss die Aussage über die Wahl der Ausgänge in für Gruppe 3 mit Vorsicht betrachtet werden. Aus der Studie von Galea & Owen (1998), in der von 1977 bis 1995 27 Evakuierungen ausgewertet wurden, geht hervor das 75% aller Passagiere den nächsten Notausgang benutzen. Von den 25% der Passagiere die nicht den nächsten Notausgang benutzten, haben 48% plausible Gründe angegeben. Die häufigst genannten Gründe waren, dass Flugbegleiter die

---

<sup>2</sup>Nächstenliebe

<sup>3</sup>Untätigkeit

<sup>4</sup>Zugehörigkeit

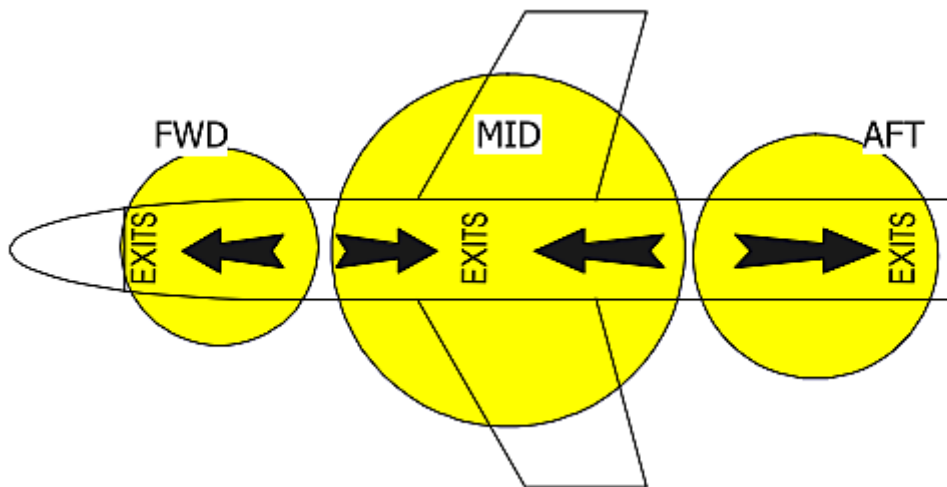


Abbildung 2.1: durchschnittliche Verteilung der Passagiere auf die Notausgänge, Quelle: (Galea & Owen, 1998)

Anweisungen erteilt haben einen anderen Notausgang zu benutzen, oder dass die Passagiere anderen Passagieren gefolgt sind.

Da in Chang & Yang (2011) allerdings keine Angaben gemacht wurden, wie sich die Personengruppen auf die Insassen des Flugzeuges verteilt haben kann es sein dass Gruppe 3 die 25% der Personen beschreibt die nicht den nächsten Notausgang nehmen.

Die Abbildung 2.1 zeigt die durchschnittliche Verteilung der Passagiere auf die Notausgänge, nach Galea & Owen (1998). Bei den untersuchten Flugzeugen handelte es sich um Modelle mit 6 Notausgängen. Die Flugzeuge wurden bei der Untersuchung in 3 Zonen unterteilt, es war mindestens ein Notausgang pro Zone verfügbar.

Es wird keine Aussage darüber getroffen ob die Personen aus Gruppe 1 und 2 auch darauf bestehen ihr Gepäck zu retten.

In der Befragung der Flugbegleiter von Chang & Yang (2011) haben diese angegeben, dass die Mitnahme von großen Gepäckstücken die Hauptursache für Verzögerungen bei der Evakuierung sind. Deswegen wird im nächsten Abschnitt dieses Thema noch genauer untersucht.

### 2.1.3 Gepäck

In der Untersuchung vom **National Transportation Safety Board (2000)** wurden 46 Flugzeu-gevakuiierungen zwischen 1997 und 1999 untersucht. Bei Interviews mit Flugbegleitern und Passagieren ist herausgekommen das die meisten Passagiere die Anweisung ihr Gepäck zurück zu lassen ignorieren, von den 419 befragten Passagieren haben grade einmal 6%(25) angegeben ihr Gepäck zurück gelassen zu haben. Auch im Interview mit dem **National Transportation Safety Board (2000)** haben die Flugbegleiter angegeben das die Mitnahme von Gepäck zu Verzögerung währen einer Evakuierung führt. Als besonders kritisch wurde beschrieben das große Gepäckstücke den Zugang zu den Notausgängen für andere Passagiere blockiert haben. Da fast alle Passagiere versuchen ihr Gepäck zu retten, wird vermutet das Personen aus Gruppe 1 & 2 größtenteils auch versuchen ihr Gepäck mit sich zu nehmen.

### 2.1.4 Auswirkung von körperlichen Eigenschaften

Eine Eigenschaft, die auch den Ausgang der Evakuierung beeinflussen kann, ist die Fitness der Insassen. Aus der Analyse des **National Transportation Safety Board (2000)** über die Zuverlässigkeit von Notausgängen wurde ersichtlich, das ältere und sehr junge Personen Schwierigkeiten hatten Notausgänge zu öffnen. Besonders das Öffnen der Ausgänge über den Tragflächen hat Schwierigkeiten bereitet. Es wurde auch berichtet das Personen die körperlich fit waren keine Probleme hatten die Notausgänge zu öffnen. Ein weiter Aspekt der Fitness ist die Agilität; eine Person, die nicht sehr beweglich ist, wird Schwierigkeiten haben einen alternativen Weg über die Sitzbänke zu wählen. Es wurde leider nicht berichtet, inwiefern sich Personen, die sich nur langsam bewegen können auf die Evakuierungsdauer auswirken. Es konnten auch leider keine andren Quellen gefunden werden die diese Frage beantwortet.

### 2.1.5 Probleme beim Abschnallen und Auswirkungen auf die Evakuierung

In der Analyse des **National Transportation Safety Board (2000)** wurde auch bekannt, dass es manchen Personen Schwierigkeiten bereiten kann ihren Sicherheitsgurt zu öffnen und sich vom Sitz zu lösen. Dies kann durch Verletzungen an den Händen oder durch äußere Einflüsse hervorgerufen werden. Als Beispiel für äußere Einflüsse wurde eine stark erhitze Metallschnalle angegeben. Das führt dazu das die betroffenen Personen erheblich länger brauchen ,oder sogar auf Hilfe angewiesen sind. Außerdem werden Passagiere die an der betroffenen Person vorbei müssen, bei ihrer Flucht behindert.

### 2.1.6 Flugbegleiter

Um den Einfluss von Flugbegleitern auf eine Evakuierung zu untersuchen wurde zunächst geprüft welche Aufgaben diese während einer Evakuierung haben. Als Quelle wurde eine Anleitung (Airbus, 2006) von Airbus an ihre Flugbegleiter verwendet, die eine kurze Übersicht mit Verhaltenstipps für Flugbegleiter bei einer ungeplanten Evakuierung am Boden gibt. Als zweite Quelle wurde der Bericht aus dem National Transportation Safety Board (2000) herangezogen. Die Airbus-Übersicht beschreibt hauptsächlich die Kommunikation der Flugbegleiter während der Evakuierung. Folgende Schritte werden beschrieben.

Im ersten Schritt muss die gesamte Besatzung informiert werden das evakuiert werden soll. Anschließend sollen die Passagiere über die Evakuierung informiert und vorbereitet werden.

In (Chang & Yang, 2011) und im National Transportation Safety Board (2000) wurde berichtet das der Informationsfluss an die Passagiere sehr unterschiedlich sein kann. In einer geplanten Evakuierung, in der viele Informationen an die Passagiere gegeben wurden, hat ein Großteil berichtet, dass sie sich währen der Evakuierung sicher gefühlt haben. Ein Gegenbeispiel ist der Flug CI-120 der in Chang & Yang (2011) beschrieben wurde. In diesem Szenario wurde der Kommunikationsfluss der Flugbegleiter als schlecht eingestuft. Was zu einer Verzögerung in der Evakuierung und zu einer Unsicherheit unter dem Fluggästen geführt hat. Eine weitere Aufgabe der Flugbegleiter ist sicherzustellen das nur sichere Notausgänge benutzt werden. Des Weiteren soll den Passagieren bei der Benutzung der Notrutschen assistiert werden. Außerdem sind die Flugbegleiter für die Sicherheitsunterweisung der Passagiere, vor dem Start, verantwortlich. Bei billig Airlines wurde die Unterweisung durch Videos ersetzt. Laut der Befragung des National Transportation Safety Board (2000) haben 25% der Passagiere die Sicherheitshinweise während der Evakuierung als hilfreich empfunden.

Aus Galea & Owen (1998) geht hervor das die Anweisungen der Flugbegleiter Auswirkungen auf die Auswahl der Notausgänge haben. Auch wenn ein Bericht aus dem (National Transportation Safety Board, 2000) zeigt, dass diese ab und zu ignoriert werden. In dem Beispiel haben zwei Fluggäste die Anweisungen der Flugbegleiter, nicht die Ausgänge über den Tragflächen zu benutzen, ignoriert. Obwohl die Tragflächen nicht für die Evakuierung abgesenkt waren sind die beiden Passagiere über den Notausgang auf diese gelangt und haben versucht von diesen auf den Boden zu springen. Das Resultat waren einige Knochenbrüche. Dieser Fall zeigt das die Flugbegleiter wohl eine wichtige Rolle in der Auswahl der Notausgänge spielen, aber das ihre Anweisungen auch von manchen Passagieren ignoriert werden.

## 2.2 Umgebung

### 2.2.1 Zuverlässigkeit von Notausgängen

In den Untersuchungen aus dem **National Transportation Safety Board (2000)** wurden auch Notausgänge untersucht. Es wurde berichtet, dass die Notausgänge zu 99% funktionstüchtig waren und geöffnet werden konnten. Nur in einem Fall, in dem der Rumpf des Flugzeuges durch die harte Landung stark verformt war, wurde berichtet, dass ein Notausgang nicht geöffnet werden konnte. Die Untersuchung der Evakuierungen hat außerdem auch ergeben, dass es unüblich ist, bei einer Evakuierung alle Notausgänge zu benutzen. Diese sind oft nicht benutzbar, da Feuer oder Rauch den Weg versperren.

### 2.2.2 Entfalten von Notrutschen

Ein weiterer Faktor, der eine Evakuierung beeinflussen kann, sind Notrutschen. In der Studie von (**National Transportation Safety Board, 2000**) wurden auch diese untersucht. In 7 von 19 (37%) untersuchten Evakuierungen gab es Probleme mit mindestens einer Notrutsche. In den meisten Fällen konnte sich die Notrutsche mit einer Verzögerung dennoch entfalten. Ein Beispiel war eine leere Gasflasche, die zum Ausfahren der Rutsche gebraucht wurde. Diese musste während der Evakuierung ausgetauscht werden, damit die Notrutsche funktionstüchtig war. In einem der berichteten Fälle konnte die Notrutsche nach dem Ausfahren nicht benutzt werden, dies war allerdings auf starke Winde auf der Landebahn zurückzuführen.

### 2.2.3 Auswirkungen von Gefahren

Gefahren bei einer Evakuierung, wie z.B. ein Kabinenbrand, kann verheerende Folgen haben. Die Position, Art und Größe spielt in der Evakuierung eine große Rolle. Allerdings wäre die Modellierung von realitätsnahen Verhalten von Gefahrenquellen an Board eines Flugzeuges eine eigene Bachelorarbeit für sich, deswegen werden in diesem Modell Gefahren nur vereinfacht dargestellt und das genaue Verhalten von diesen nicht untersucht. Viel interessanter ist, wie sich die Gefahrenquellen auf das Verhalten der Passagiere auswirken.

### 2.2.4 Auswirkungen von Panik

Das panische Verhalten von Menschen, während einer Flugzeugevakuierung, scheint sehr schlecht untersucht zu sein. Es wurden nicht ausreichend Informationen gefunden, um Aussagen darüber zu treffen, wie sich Menschen in so einer Situation verhalten könnten, dies gestaltet die Modellierung äußerst schwierig. Aufgrund der Schwierigkeiten, an Informationen zu gelangen

wurde untersucht wie andere agentenbasierte Modelle Panik modellieren. Ein Beispiel wäre das Modell von *Miyoshi et al. (2012)*.

### 2.2.5 Modell von Miyoshi

Im Modell von *Miyoshi et al. (2012)* wurde versucht die Auswirkungen von Panik und Stress auf das Verhalten der Passagiere abzubilden. In dem Modell bilden sich Warteschlangen vor den Notausgängen. In diesen kann es dazu kommen, dass ein Passagier panisch wird. Dies hängt von folgenden Faktoren ab.

- Dauer der Evakuierung
- Zeit die in einer Warteschlange für die Notausgänge verbracht wurde
- Zeit in der kein Notausgang gefunden wurde

Diese Werte der verschiedenen Einflussfaktoren werden addiert. Falls die addierten Werte einen bestimmten Wert überschreiten wird der Passagier panisch. Ein panischer Passagier versucht aus der Warteschlange auszubrechen und sich vorzudrängen, was in dem Modell das Vorankommen der gesamten Warteschlange verlangsamt. Auch wenn nicht belegt wurde woher die Formeln stammen die Panik beschreiben und ob das Verhalten der Passagiere realitätsnah ist, zeigt das Modell eine Möglichkeit Panik innerhalb einer Evakuierung zu beschreiben. Ob mit dieser Modellierung gute Ergebnisse erzielt werden können muss noch geprüft werden.

## 3 Anforderungen

In diesem Kapitel werden Anforderungen, die sich aus dem vorigen Kapitel ergeben haben, gesammelt. Am Ende des Kapitels soll klar sein welche Teile in das Modell einfließen und welche Ausgegrenzt werden.

### 3.1 Agenten

An allgemeine Agenten werden folgende Anforderungen gestellt.

- Die Flucht über die Notausgänge ist das Hauptziel von jedem Agenten.
- Neben dem Hauptziel soll jeder Agent auch in der Lage sein Unterziele zu entwickeln. Diese Ziele beschreiben Aufgaben, die der Agent zum Erreichen des Hauptzieles erfüllen muss oder will.
  - Unterziele können von den Agenten verworfen werden, falls sich diese als zu schwer oder nicht mehr zielführend herausstellen.
- Agenten sollen eine Physis haben, die sich auf seine Fortbewegungsgeschwindigkeit und auf die Ausführung von körperlichen Aktionen auswirkt.

Ein beispielhaftes Unterziel für einen Passagier wäre die Mitnahme von Gepäck. Eine User-story könnte wie folgt ablaufen.

Der Agent entscheidet am Anfang der Evakuierung das er sein Gepäckstück retten möchte. Da er sich jedoch gegen den Strom von flüchtenden Agenten zur Ablagefläche bewegen muss und nicht voran kommt, verwirft dieser das Ziel und versucht direkt zum Notausgang zu gelangen.

Jeder Agent soll eine Physis haben da im **National Transportation Safety Board (2000)** beobachtet wurde das diese Auswirkungen auf die Evakuierungszeit haben kann.



### 3.1.1 Passagier

Konkret werden an die Passagiere folgende Anforderungen gestellt.

- Ein Passagier hat das Hauptziel das Flugzeug über einen der Notausgänge zu verlassen.
- Ein Passagier kann folgende Unterziele entwickeln
  - das Retten von Gepäck
  - das gemeinsame Flüchten mit einem anderem Agenten

### Gepäck

Die Rettung von Gepäck wurde vom [National Transportation Safety Board \(2000\)](#) in Interviews mit Flugbegleitern als ein großes Kriterium für Verzögerungen identifiziert. Es wurde beschrieben das diese besonders hinderlich bei den Notausgängen waren. Passagiere mit großen Gepäckstücken haben in der Regel länger gebraucht um das Flugzeug über einen Notausgang zu verlassen. Das resultierte in Staus vor den Notausgängen und verzögerte die Evakuierung. Der Vorgang das Gepäck einzusammeln kann eine Evakuierung auch verlangsamen und sollte deswegen ebenfalls modelliert werden.

### Gemeinsames Flüchten

Dieses Verhalten wurde in [Chang & Yang \(2011\)](#) beschrieben und ist ein wesentlicher Teil der beschriebenen Gruppen. Durch die Modellierung soll das Modell etwas näher an die Realität rücken.

### 3.1.2 Flugbegleiter

Die Flugbegleiter sollen in diesem Modell nur einen kleinen Umfang ihrer Aufgaben wahrnehmen. Im Modell soll sie Passagiere bei den Notausgängen unterstützen. Sie sollen einen Notausgang zugeordnet bekommen und diesen öffnen, um den Weg für die Passagiere frei zu machen. Die Flugbegleiter sollen das Flugzeug erst verlassen, nachdem alle Passagiere evakuiert wurden oder sie ihr Leben durch eine Gefahrenquelle bedroht sehen.

Andere Aufgaben werden in diesem Modell nicht berücksichtigt, um welche Aufgaben es sich genau handelt wird im Kapitel Ausgrenzungen - Agenten beschrieben.

Die Modellierung der Flugbegleiter soll hauptsächlich zu einer höheren Immersion führen und das Konzept für evtl. spätere Erweiterungen offen halten.

#### 3.1.3 Unterziele für Flugbegleiter und Passagiere

Als zusätzliche Aktion für Passagiere und Flugbegleiter soll das Abschnallen vom Sitz modelliert werden. Diese Aktion soll verhindern das alle Passagiere gleichzeitig mit der Evakuierung beginnen. Diese Aktion soll die Immersion im Modell erhöhen.

### 3.2 Ausgrenzungen - Agenten allgemein

#### 3.2.1 Modellierung von Panik

Aufgrund von mangelnden Informationen soll keine Panik modelliert werden. Auch wenn das Modell von (Miyoshi *et al.*, 2012) einen möglichen Ansatz liefert, möchte ich dieses Verhaltensmuster nicht in das Modell aufnehmen, da mir der Ansatz nicht valide genug erscheint. Die Panik im Modell von Miyoshi *et al.* (2012) ist abhängig von der Dichte der Warteschlange und von der Länge der Wartezeit. Allerdings zeigt ein Beispiel aus der Realität das selbst bei zeitkritischen Evakuierungen keine Panik ausbrechen muss. Als Beispiel dient der Flug CI-120 aus dem Bericht des Japan Transport Safety Board (2009) und Chang & Yang (2011). Aus diesen geht hervor das während der Evakuierung keine Panik ausgebrochen ist, obwohl kurz nach dem Verlassen der letzten Person das Flugzeug in Flammen aufging. Deswegen scheint mir die Modellierung von Miyoshi *et al.* (2012) als zu ungenau und sie wird nicht in das hier entwickelte Modell aufgenommen.

#### 3.2.2 Verhalten von Passagieren in gefährlichen Situationen

Da auch so gut wie keine Informationen über das Verhalten von Personen bei einer direkten Konfrontation mit Gefahrenquellen gefunden wurde wird das Verhalten von Menschen unter diesen Umständen nicht modelliert werden.

#### 3.2.3 Modellierung von Verletzungen

Es soll kein System zur Modellierung von Verletzungen modelliert werden. Gefahren sollen wenn, nur als Platzhalter dargestellt werden und keine Auswirkungen für die Passagiere haben. Außerdem würde die Hinzunahme eines solchen Modells wahrscheinlich den engen Zeitrahmen der Arbeit übersteigen.

### 3.3 Flugbegleiter

Die Kommunikation zwischen den Flugbegleitern und den Passagieren wird nicht abgebildet. Ein Beispiel wäre die Informationsaufnahme der Passagiere durch die Sicherheitsunterweisung am Anfang von jedem Flug.

### 3.4 Umwelt

Die Umwelt des Modells soll sich auf die Passagierkabine und die Hilfsmittel zum Erreichen des Bodens beschränken. Dazu zählen Sitze, Notausgänge und Notrutschen. Außerdem zählen zu der Umgebung noch statische Hindernisse die z.B. Verengungen beim Erreichen der Notausgänge verursachen.

#### 3.4.1 Richtlinien für Notausgängen

Damit die Szenarien möglichst realitätsnah sind soll für die verschiedenen Konfigurationen von Sitzplätzen und Notausgängen folgende Sicherheitsbestimmung der FAA<sup>1</sup> gelten. Die Anforderungen stammen aus folgender Internetquelle [U.S. Government Printing Office \(2013\)](#). Die europäischen Vorgaben halten sich an die Amerikanischen, deswegen wurde diese als Richtlinien für das Flugzeugmodell genommen.

#### 3.4.2 Notausgänge - Gesetzliche Vorgaben

1. Es muss mehr als einen Notausgang pro Rumpffseite geben
2. Es gibt mehre Klassifizierungen von Notausgängen. Damit ein Notausgang einer bestimmten Klasse entspricht muss, er mindestens die in der Tabelle angegebenen Maße erfüllen.

Typ	Breite	Höhe
Typ I	60,96 cm / 24 inch	121,92 cm / 48 inch
Typ II	50,80 cm / 20 inch	111,76 cm / 44 inch
Typ III	50,80 cm / 20 inch	91,44 cm / 36 inch
Typ IV	48,26 cm / 19 inch	60,04 cm / 26 inch
Typ A	106,68 cm / 42 inches	182,88 cm / 72 inch

3. Ab der folgenden Menge von Passagieren müssen folgende Ausgangstypen an beiden Seiten des Rumpfes angebracht werden.

---

<sup>1</sup>Federal Aviation Administration

### 3 Anforderungen

---

Anzahl	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
1-9				1
10-19			1	
20-39		1	1	
40-79	1		1	
80-109	1		2	
110-139	2		1	
140-179	2		2	

4. Bei mehr als 179 Passagieren müssen auf beiden Seiten des Rumpfes zusätzliche Typen von Notausgängen angebracht werden.

Typ von Notausgang	Anzahl zusätzlicher Passagiere
Typ A	110
Typ I	45
Typ II	40
Typ III	35

5. Für Flugzeuge mit mehr als 299 Passagieren dürfen nur Typ A oder Typ I Notausgänge verwendet werden. Für jedes Paar von Typ A Notausgängen dürfen 110 Sitze und für jedes Paar von Typ I Notausgängen 45 Sitze hinzugefügt werden.
6. Jeder Ausgang der sich nicht über den Tragflächen befindet und sich bei ausgefahrenem Fahrwerk 182,88 cm (6 Fuß) oder höher über den Boden befindet, muss die Passagiere dabei unterstützen den Boden zu erreichen (z.B. Notrutschen).
7. Jeder Notausgang muss innerhalb von 10 Sekunden gänzlich zu öffnen sein.

#### 3.4.3 Positionierung der Ausgänge

8. Notausgänge müssen sinnvoll auf die umliegenden Sitzplätze verteilt werden, so dass ein effizientes Verhältnis von Notausgängen und Sitzplätzen besteht.
9. Alle Ausgänge müssen symmetrisch in Größe und Position zu einander sein. D.h. wenn auf einer Außenseite des Flugzeuges ein Notausgang von Typ I angebracht wurde muss parallel auf der anderen Seite auch ein Typ I Notausgang verbaut werden.
10. Es muss einen Weg von jedem Hauptdurchgang zu einem Typ I, II oder A Ausgang geben.

11. Jeder Weg zu einem Typ A Ausgang muss frei von Hindernissen und 91,44 cm (36 inch) breit sein.
12. Jeder Weg zu einem Typ I oder II Ausgang muss frei von Hindernissen und 80,8 cm (20 inch) breit sein.
13. Solange es nicht zwei oder mehrere Hauptdurchgänge gibt, muss jeder Typ A Ausgang so platziert werden das er von Passagieren aus dem hinteren und vorderen Teil des Flugzeuges erreichbar ist.
14. Fall es zwei oder mehrere Hauptdurchgänge gibt, muss es zwischen jedem Gang einen hindernisfreien Verbindungsgang von mindestens 80,8 cm (20 inch) geben. Folgende Bedingungen gelten außerdem für die Verbindungsgänge.
  - Es muss ein Verbindungsgang geben der direkt zu einem Typ A Ausgang führt.
  - Es muss ein Verbindungsgang geben der direkt zu einem Typ I, II oder III Ausgang führt. Dies gilt nicht falls zwei Typ III Ausgänge zwischen drei Sitzreihen angebracht sind, in diesem Fall reicht ein Verbindungsgang der zu den Sitzreihen führt.
15. Für jeden Typ III oder IV Ausgang muss folgendes sichergestellt werden.
  - Es muss einen Zugang vom nächsten Hauptdurchgang zu diesem Typ III oder IV Ausgang geben.

Es gilt für jeden Typ III Ausgang bei einer Konfiguration von 60 oder mehr Passagieren zusätzlich folgendes.

- Falls die Sitzreihe aus 2 Sitzen besteht muss es einen hindernisfreien Durchgang von 25,40 cm (10 inch) zu diesem Ausgang geben.
- Falls die Sitzreihe aus drei Sitzen besteht muss es einen hindernisfreien Durchgang von 50,80 cm (20 inch) geben.
- Für zwei Typ III Ausgänge nebeneinander ist es ausreichend, wenn es zu jeden Ausgang einen 15,24 cm (6 inch) breiten, hindernisfreien Durchgang gibt.

### 3.5 Zustand des Flugzeugs

Da der Fokus des Modells mehr auf dem Verhalten der Agenten liegt soll zunächst das Modell einfach gehalten werden. Deswegen wird im Modell die Annahme getroffen das es keine strukturellen Schäden am Flugzeug gibt, die eine Evakuierung beeinflussen würden. Dazu

zählen nicht nur Schäden am Rumpf des Flugzeuges sondern auch an der Innenausstattung wie Sitzen oder den Gepäckfächern. Dazu zählen auch Gegenstände, die von Agenten weggeräumt werden müssen, um zu einem Notausgang zu erreichen.

### **3.6 Use Case der Passagiere**

Aus den Anforderungen und aus der Analyse wurden folgende Use Cases für Passagiere extrahiert.

### 3 Anforderungen

<b>Name</b>	U0 - Passagier flieht aus dem Flugzeug
<b>Beschreibung</b>	Das Hauptziel eines jeden Passagiers ist es das Flugzeug zu verlassen. Dazu muss der Passagier einen Route zu einer Rettungszone wählen und versuchen diese zu erreichen
<b>Akteure</b>	Passagier
<b>Vorbedingungen</b>	-
<b>Nachbedingungen</b>	Der Passagier hat das Flugzeug verlassen und ist evakuiert
<b>Standardablauf</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Der Passagier entscheidet sich für eine Fluchtroute.</li><li>2. Der Passagier entscheidet sich ob er sein Gepäck retten möchte und ob er mit einem anderen Passagier zusammen fliehen möchte.</li><li>3. Der Passagier schnallt sich ab.</li><li>4. Falls der Passagier nicht alleine flüchten möchte(siehe U3)</li><li>5. Falls der Passagier sein Gepäck retten möchte (siehe U2).</li><li>6. Der Passagier bewegt sich zum nächsten Notausgang</li><li>7. Der Passagier benutzt den Notausgang (siehe U1).</li><li>8. Der Passagier erreicht über die Notrutsche den Boden.</li><li>9. Der Passagier geht zur Rettungszone.</li><li>10. Der Passagier ist gerettet.</li></ol>

### 3 Anforderungen

---

<b>Name</b>	U1 - Passagier flieht durch einen Notausgang
<b>Beschreibung</b>	Ein Passagier ist an einem Notausgang angekommen und will diesen durchqueren, um über die Notrutsche das Flugzeug zu verlassen.
<b>Akteure</b>	Passagier
<b>Vorbedingungen</b>	Der Passagier ist an einem Notausgang angekommen.
<b>Nachbedingungen</b>	Der Passagier hat den Notausgang durchquert und befindet sich auf der Notrutsche
<b>Standardablauf</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Der Passagier kommt an dem Notausgang an.</li><li>2. Der Passagier prüft, ob der Notausgang geöffnet ist.</li><li>3. Falls dies nicht der Fall ist öffnet der Passagier den Notausgang(siehe Aktion Notausgang öffnen).</li><li>4. Der Passagier überprüft ob er ein Gepäckstück vom Typ groß bei sich trägt.</li><li>5. Falls dies der Fall ist muss der Passagier das Gepäckstück durch den Ausgang hieven. Dieser Vorgang dauert einige Zeit und blockiert andere Passagiere die auch durch den Ausgang wollen.</li><li>6. Der Passagier begibt sich durch den Notausgang auf die Notrutsche.</li></ol>



### 3 Anforderungen

---

<b>Name</b>	U2 - Passagier versucht sein Gepäck zu retten
<b>Beschreibung</b>	Ein Passagier hat sich entschieden sein Gepäck zu retten
<b>Akteure</b>	Passagier
<b>Vorbedingungen</b>	Der Passagier hat sich dafür entschieden sein Gepäck zu retten
<b>Nachbedingungen</b>	Der Passagier hat sein Gepäck bei sich oder sich dafür entschieden diese Aktion abzubrechen
<b>Standardablauf</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Der Passagier hat den Wunsch entwickelt sein Gepäck zu retten.</li><li>2. Der Passagier geht zu der Gepäckablage in der sich sein Gepäck befindet<ol style="list-style-type: none"><li>a. Falls der Passagier zu große Schwierigkeiten hat, das Gepäckfach zu erreichen bricht er den Vorgang ab und geht direkt zum Notausgang.</li><li>b. Falls der Passagier das Gepäckfach erreicht nimmt der das Gepäck aus dem Gepäckfach.</li></ol></li><li>3. Der Passagier mach sich auf den Weg zum nächsten Notausgang.</li></ol>

### 3 Anforderungen

<b>Name</b>	U3 - Ein Passagier möchte mit einem anderen Passagier zusammen fliehen
<b>Beschreibung</b>	Ein Passagier trifft die Entscheidung das er mit einem anderen Passagier flüchten möchte.
<b>Akteure</b>	Passagier, anderer Passagier
<b>Vorbedingungen</b>	-
<b>Nachbedingungen</b>	Es erscheint ein Notausgang im Sichtbereich des Passagier
<b>Standardablauf</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Der Passagier entscheidet sich dafür mit einen anderen Passagier zu fliehen.</li><li>2. Der Passagier wählt einen anderen Passagier im Sichtbereich aus, mit dem er fliehen möchte.</li><li>3. Falls sich der Passagier sich zusätzlich dafür entschieden hat sein Gepäck zu retten teilt er das dem anderen Passagier mit mit.<ol style="list-style-type: none"><li>a. Der andere Passagier stimmt sich mit dem Passagier ab.</li><li>b. Falls sich beide dafür entschieden haben ihr Gepäck zu retten einigen sich die Passagiere welches Gepäck zuerst eingesammelt werden soll.</li><li>c. die Passagiere führen nacheinander die Rettung ihres Gepäcks durch(siehe U2) durch. Der nicht ausführende Passagier folgt dem ausführenden Passagier.</li><li>d. Falls sich die Passagiere nicht ihr Gepäck retten möchten fliehen sie direkt zum Notausgang.</li></ol></li></ol>

- 4. Der Passagier folgt dem anderen Passagier, solange bis er einen Notausgang sieht.
- 4. Falls der Passagier einen Notausgang sieht, versucht er über diesen zu flüchten(siehe U1).

### **3.7 Use Case Flugbegleiter**

Aus den Anforderungen und aus der Analyse konnte folgender Use Case für Flugbegleiter extrahiert werden.

### 3 Anforderungen

<b>Name</b>	U4 - Ein Flugbegleiter unterstützt Passagiere bei der Benutzung eines Notausganges
<b>Beschreibung</b>	Ein Flugbegleiter begibt sich zu dem ihm zugeordneten Notausgang, öffnet diesen und stellt sicher das alle Passagiere das Flugzeug verlassen haben.
<b>Akteure</b>	Passagier, andere Agent
<b>Vorbedingungen</b>	-
<b>Nachbedingungen</b>	Alle Passagiere im Sichtbereich des Flugbegleiters haben das Flugzeug verlassen.
<b>Standardablauf</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Der Flugbegleiter schnallt sich von seinem Sitz ab.</li><li>2. Der Flugbegleiter begibt sich zu dem ihm zugeordneten Notausgang.</li><li>3. Der Flugbegleiter prüft, ob der Notausgang geschlossen ist.</li><li>4. Falls der Notausgang geschlossen ist öffnet der Flugbegleiter den Notausgang.</li><li>5. Der Flugbegleiter versucht sich so zu positionieren das er den Passagieren nicht den Weg versperrt.</li><li>6. Der Flugbegleiter wartet bis alle Passagiere das Flugzeug verlassen haben.</li><li>7. Der Flugbegleiter flieht selbst über den Notausgang aus dem Flugzeug.</li><li>8. Der Flugbegleiter begibt sich zur Rettungszone.</li><li>9. Der Flugbegleiter ist gerettet.</li></ol>

# 4 Konzeption

## 4.1 Einleitung

In diesem Kapitel soll ein Konzept entwickelt werden mit dem die Anforderungen aus dem Analyseteil umgesetzt werden können. Dazu soll erst beschrieben werden wie die Umwelt der Agenten abgebildet werden kann und wie die Agenten diese wahrnehmen. Im nächsten Abschnitt wird beschrieben wie die Agenten modelliert werden und welche Aktionen sie durchführen können.

## 4.2 Umwelt

### 4.2.1 Modellierung der Umwelt in Layern

Die Umwelt soll in mehrere Layer unterteilt werden. Ein Layer soll ein Spielbrett abbilden, dieses Spielbrett kann von einem Modell verändert werden oder einfach nur Informationen bereitstellen. Die Idee stammt aus der Walk-Implementierung von [Münchow \(2012\)](#) und baut auf der Arbeit von [Thiel \(2013\)](#) auf. In dieser wurden verschiedene Objekte, hauptsächlich für die Wahrnehmung der Agenten, auf unterschiedlichen Layern dargestellt. Dieses Konzept bietet den Vorteil das die Modelle hinter den Layern austauschbar sind, solange sie sich an die Repräsentation der Layer halten. Für das Modell, das hier entwickelt werden soll, ergeben sich folgende Layer.

- Sitzreihen
- Notausgänge
- Notrutschen
- Gepäckablage
- Agenten
- Hindernisse

- Rettungszone

### 4.2.2 Passagierbereich

Der Passagierbereich fasst mehre Layer zusammen und stellt den für die Simulation relevanten Teil des Flugzeuges dar, er besteht aus folgenden Layern.

- Sitzreihen
- Notausgängen
- Notrutschen
- Gepäckablagen
- Außenwänden des Flugzeuges
- sonstige Hindernisse

### 4.2.3 Sitzreihen

Sitzreihen bestehen aus 2 bis 3 Sitzen. Sie können nach den Vorgaben der FAA im Flugzeug verteilt werden. In der Regel haben die Sitzreihen in der ersten Klasse 2 Sitze und die Reihen in der Economyklasse 3 Sitze. Sitze sollten in einem eigenen Layer abgebildet werden, damit die Agenten diese als Sitze identifizieren können und in bestimmten Fällen eine alternative Route zu den Ausgängen über die Sitzreihen planen können. Der Fall das die Agenten über die Sitzreihen fliehen ist noch nicht in einem Use Case dokumentiert, dieses Layer soll für evtl. Erweiterungen aber schon geplant werden.

### 4.2.4 Notausgänge

Die Notausgänge liegen auch auf einem eigenen Layer, damit sie von den Agenten wahrgenommen werden können. Die Notausgänge halten Informationen darüber, ob sie geöffnet oder geschlossen sind. Diese Information kann von Agenten abgefragt werden.

### 4.2.5 Notrutschen

Die Notrutschen dient dazu Flugbegleiter und Passagiere auf den Boden zu befördern. Wie steil diese sind und mit welcher Geschwindigkeit diese den Passagier auf den Boden befördern wird in der Notrutsche selbst über einen Geschwindigkeitsfaktor abgebildet. Diese bekommen

die Agenten auf ihre Geschwindigkeit multipliziert. Das Gewicht des Agenten ist neben anderen Faktoren natürlich auch für die Beschleunigung interessant, allerdings wird die Annahme getroffen, dass eine korrekte Abbildung der Beschleunigung den Ausgang der Simulation nicht groß beeinflusst und wird deswegen vereinfacht dargestellt.

Rutschgeschwindigkeit = Eintrittsgeschwindigkeit des Agenten \* Beschleunigungsfaktor

### 4.2.6 Gepäckablage

Die Gepäckablage wird auch in einem eigenen Layer dargestellt, diese markiert den Raum in dem Agenten an ihr Gepäck kommen können. Damit die Agenten die Ablage einfach finden können liegt diese auch in einem eigenem Layer.

### 4.2.7 Gefahren

Gefahren werden hier nur als ein statisches Feld repräsentiert. Diese liegen wiederum auf einem eigenen Layer, damit sie von den Agenten wahrgenommen werden können. Die Agenten versuchen unter allen Umständen diese Felder zu vermeiden.

Das Konzept für die Gefahren ist an dieser Stelle einfach gehalten, da in der Analyse davon abgesehen wurde dieses Feld genauer zu untersuchen. Dieser Teil des Modells soll als Platzhalter dienen und falls der Teil des Modells verbessert wird ausgetauscht werden.

### 4.2.8 Rettungszone

Vor dem Start der Simulation soll mindestens eine Rettungszone außerhalb des Flugzeuges definiert werden. Diese beschreibt eine sichere Zone. Jeder Agent bekommt eine Zone zugeordnet und wählt innerhalb dieser einen zufälligen Wegpunkt aus. Sobald der Agent diesen Wegpunkt erreicht gilt er als gerettet und verlässt die Simulation.

### 4.2.9 Agenten

Da die Agenten auch einen Teil der Umwelt ausmachen, werden diese auch auf einem eigenen Layer repräsentiert. Das Layer stellt die Position der Agenten dar.

#### 4.2.10 Sonstige Hindernisse

Unter diesem Abschnitt werden alle Objekte zusammengefasst die zwar den Aktionsraum der Agenten beeinflussen, aber in ihrer Funktionalität nicht wichtig für die Evakuierung sind. Ein Beispiel wären die WCs in manchen Boing 737-800 Designs, die auf dem Weg zu den Notausgängen liegen und den Weg verengen. Siehe Abbildung 5.1. Auch die Außenwände des Flugzeuges sollen auf diesem Layer platziert werden.

### 4.3 Agenten

In diesem Abschnitt soll beschrieben werden wie die Anforderungen, an die Agenten, aus Kapitel 3 umgesetzt werden. Der Fokus liegt dabei auf der Modellierung von Zielen, Wahrnehmung und die physische Eigenschaften von Agenten.

#### 4.3.1 Alter

In der Bachelorarbeit von Redel (2012) wurde ein Modell zur Abbildung der Physiologie von Agenten erstellt. In diesem wurde unter anderem der Einfluss des Alters auf die Physis von Menschen untersucht. Das Alter ist besonders interessant, da im National Transportation Safety Board (2000) beobachtet wurde, dass ältere Menschen Probleme hatten Notausgänge zu öffnen. Aus dem Modell von Redel (2012) geht hervor, dass sich das Alter auch auf die Bewegungsgeschwindigkeit auswirkt. Diese Erkenntnis soll auch in das Modell einfließen und soll auch auf bestimmte Aktionen der Agenten Einfluss haben. Auf welche Aktionen das Alter Einfluss hat ist im Abschnitt Aktionen, in diesem Kapitel beschrieben.

#### 4.3.2 Altersverteilung

Falls keine genauen Altersdaten vorliegen soll die Zuordnung Alter und Agent über eine Normalverteilung erfolgen. Die Formel wurde in der Arbeit von Redel (2012) verwendet und sieht wie folgt aus.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

$\mu$  gibt den Mittelwert an.

$\sigma$  gibt die Standardabweichung an.

Die Formel stammt aus den RiMEA Richtlinien und wurde von Redel (2012) so beschrieben, dass sie gleichermaßen für beide Geschlechter gilt. Sie beschreibt Personen von 10 bis 85 Jahren,



die größte Altersgruppe beschreibt der Mittelwert. Die Altersverteilung sieht nach RiMEA wie folgt aus. Der Mittelwert ist in diesem Fall 50 und die Standardabweichung hat den Wert von 20. Diese Verteilung kann für alle Szenarien genutzt werden in der keine andere Verteilung angegeben ist.

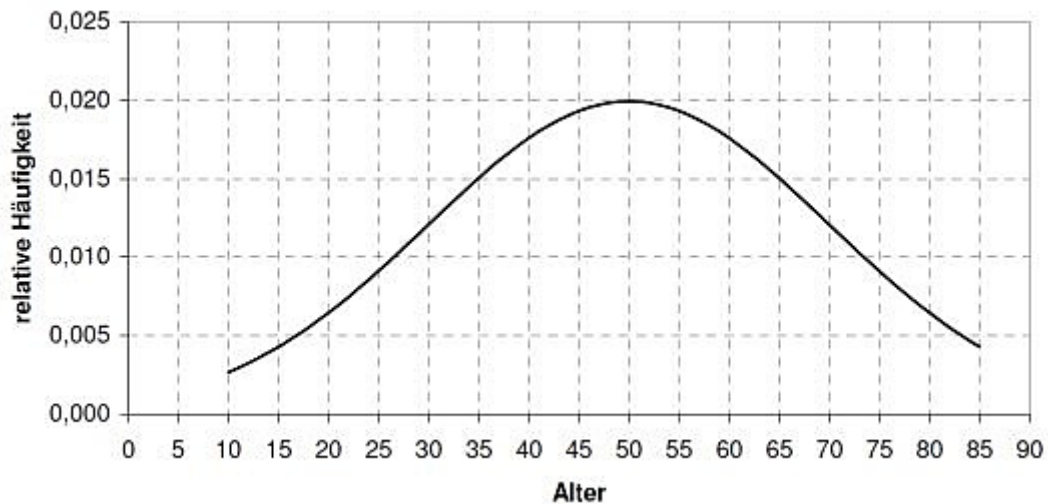


Abbildung 4.1: Altersverteilung der Passagiere, Quelle: (Redel, 2012)

Falls Daten für die genauere Altersverteilung vorliegen kann entweder die Formel angepasst werden oder es muss für jeden Agent das Alter explizit angegeben werden.

Das Alter dient im Modell als Indikator dafür, ob ein Agent eine bestimmte Aktion ausführen kann. Außerdem soll, da sich das Alter auf die Fortbewegungsrates auswirkt, auch untersucht werden wie sich langsamere Agenten auf die Evakuierung auswirken.

### 4.3.3 Geschwindigkeit

Dieser Wert beschreibt wie schnell sich ein Agent in der Simulation bewegen kann. Dieser Wert soll vom Alter und Gewicht des Agenten abhängig sein. Die Idee stammt aus der Bachelorarbeit von Redel (2012). Dieser hat dort von den oben genannten Abhängigkeiten die maximale Bewegungsgeschwindigkeit der Agenten ermittelt. Die Werte setzen sich nach Redel (2012) wie folgt zusammen.

Altersbereich	Min	Max
10 bis 20 Jahre	1,18 m/s	1,61 m/s
21 bis 50 Jahre	1,41 m/s	1,61 m/s
über 50	0,68 m/s	1,41 m/s

**Redel (2012)** Recherchen haben auch ergeben das Männer zu 10,9% schneller laufen als Frauen. Diese 10,9% werden weiblichen Agenten von ihrer maximalen Geschwindigkeit abgezogen. Rennen wurde im Modell von **Redel (2012)** mit der fünffachen Geschwindigkeit modelliert.

### 4.3.4 Ziele

Jeder Agent hat zu Beginn der Simulation ein Hauptziel. Dies ist es das Flugzeug zu verlassen. Neben dem Hauptziel gibt es noch Unterziele die der Agent vor dem Verlassen des Flugzeuges erfüllen möchte oder muss. Einen sehr gute Idee, wie man Ziele modellieren kann, liefert **Münchow (2012)**. In seiner Arbeit beschreibt er Erweiterungen an Walk, ein Multiagentenframework der HAW-Hamburg. Die Ziele in seinem Modell sind an zwei an Bedingungen geknüpft. Zu einem ist das die Drop-Condition, diese ist erfüllt sobald das Ziel als nicht mehr erfüllbar oder zweckmäßig erscheint. Die zweite Bedingung ist die Achieve-Condition, diese ist erfüllt sobald das Ziel erreicht wurde. Die Bedingungen werden in zwei Arten von Zielen verwendet das AchiveGoal und das MaintainGoal, diese lassen sich wie folgt beschreiben.

#### **AchieveGoal**

Dies sind Ziele, bei dem die beiden Conditons äquivalent sind. Dieses Ziel ist nützlich um Notwendige Bedingungen zu modellieren, z.B. das Abschnallen vom Sitz.

#### **MaintainGoal**

Dies sind Ziele, die solange verfolgt werden bis die Bedingung zum Verwerfen des Ziels erfüllt ist(Drop-Condition). Falls die Bedingung zum Erreichen des Ziels nicht mehr erfüllt ist, werden Aktionen eingeleitet um diese wieder zu erfüllen(Achieve-Condition).

Ein Beispiel für ein MaintainGoal wäre das ein Agent einem anderem Agenten, in einem bestimmten Abstand, folgen möchte. Eine mögliche Modellierung mit diesem Typ von Ziel wäre, das sobald der Abstand über- oder unterschritten wird die Achieve-Condition verletzt ist. Das führt dazu das der Agent seine Geschwindigkeit anpasst um den aktuellen Abstand zum Ziel zu verringern oder zu erhöhen.

Außerdem wird ein Ziel mit einer Priorität verknüpft, nach dem dieses ausgewählt wird. Im Gedächtnis des Agenten werden die verschiedenen Ziele verwaltet.

### 4.3.5 Gedächtnis

Jeder Agent verwaltet in einem Gedächtnis seine Ziele und speichert Informationen über die Umwelt. Anhand der gespeicherten Informationen evaluiert der Agent seine Ziele und wählt passend zu den aufgenommenen Informationen eine Aktion aus. Die Informationen können auch dazu führen, dass der Agent sein aktuelles Ziel verwirft, da dieses z.B. als nicht mehr machbar erscheint. Das Konzept wie man ein Agenten-Gedächtnis modellieren kann liefert die Projektarbeit von Münchow (2012). Er unterteilt das Gedächtnis der Agenten in ein prozedurales und ein deklaratives Gedächtnis. Die beiden Gedächtnisse wurden in seiner Arbeit wie folgt beschrieben.

#### prozedurales Gedächtnis

Das prozedurale Gedächtnis verknüpft Pläne mit einem Ziel. Ein Ziel enthält Informationen, wann es erfüllt ist (Achieve-Condition) und wann es nicht mehr sinnvoll ist dieses zu verfolgen (Drop-Condition). Ein Plan enthält eine Abfolge von Aktionen, es kann zu jeder Zeit geprüft werden ob der Plan in der aktuellen Situation ausführbar ist. Es kommt auf den Plan an, ob die Aktionen eine feste Reihenfolge haben oder dynamisch von der Situation abhängen. Eine Aktion kann optional eine Vor- und eine Erfolgs-Bedingung haben. Diese können vor dem Ausführen der Aktion überprüft werden.

#### deklaratives Gedächtnis

Im deklarativen Gedächtnis verwaltet ein Agent sein Wissen über die Umwelt. Dieses Wissen wird wie folgt verwaltet.

Das Wissen über die Umwelt wird in Beliefs gespeichert. Ein Belief speichert zusätzlich noch wie sicher der Agent über die Information ist. Dies geschieht über einen Confidence-Wert.

Die Beliefbase ist als Wissensbasis beschrieben. Über diese kann man auf Beliefs zugreifen. Diese können hier auch als persistent markiert werden. Falls dies der Fall ist sinkt der Confidence-Wert eines Beliefs nicht über die Zeit. Sonst sinkt der Wert pro Wahrnehmungsphase, sobald der Wert 0 erreicht wird dieser aus der Beliefbase entfernt.

Das Memory an sich dient als Wrapper für die Beliefbase und ist ein einfacher Zugriffspunkt für wichtige Informationen wie die Position von Hindernissen oder anderen Agenten.

### **Fazit**

Dieses Konzept sieht sehr vielversprechend aus, besonders die Aufteilung des Gedächtnisses in Faktenwissen und Verwaltung von Plänen bietet eine sehr schöne fachliche Trennung, das Konzept soll später in der Realisierung übernommen werden.

### **4.3.6 Wahrnehmung**

Der Wahrnehmungsbereich der Agenten soll durch einen beschränkten Bereich dargestellt werden. Die beschriebene Lösung, aus dem Projektbericht von Münchow (2012), bietet einen guten Ansatz. Der Sichtbereich wird mit einem Kreis beschrieben, der um einen einstellbaren Vektor in Richtung der Bewegungsrichtung verschoben wird. Der Agent kann über den Sensor seine Gesamte Umwelt wahrnehmen. Des weiteren werden den verschiedenen Objekten Layern zugeordnet, durch diese können sie einfach gefiltert werden.

### **4.3.7 Fachliches Datenmodell**

Aus dem Konzept ergibt sich folgendes Datenmodell (Abbildung 4.2). Die Aktionen zwischen den verschiedenen Entitäten werden in dem folgenden Abschnitt beschrieben.

## **4.4 Allgemeine Aktionen**

In diesem Abschnitt sollen Konzepte hinter den Aktionen beschrieben werden, die für Flugbegleiter und Passagiere gleichermaßen gelten und beide Typen von Agenten ausführen können.

### **4.4.1 Abschnallen**

Es wurde im Kapitel Analyse beschrieben das es nicht immer einfach ist sich vom Sitz zu lösen. Im Modell ist es vorgesehen, dass alle Passagiere und Flugbegleiter am Anfang der Simulation angeschnallt sind und sich zunächst abschnallen müssen, um mit der Evakuierung zu beginnen. Die Aktion soll zunächst so dargestellt werden, dass das Abschnallen keine größeren Probleme bereitet und eine zufällige Zeit dauert. Die Zeit ist mit einer oberen und unteren Grenze einstellbar.

## 4 Konzeption

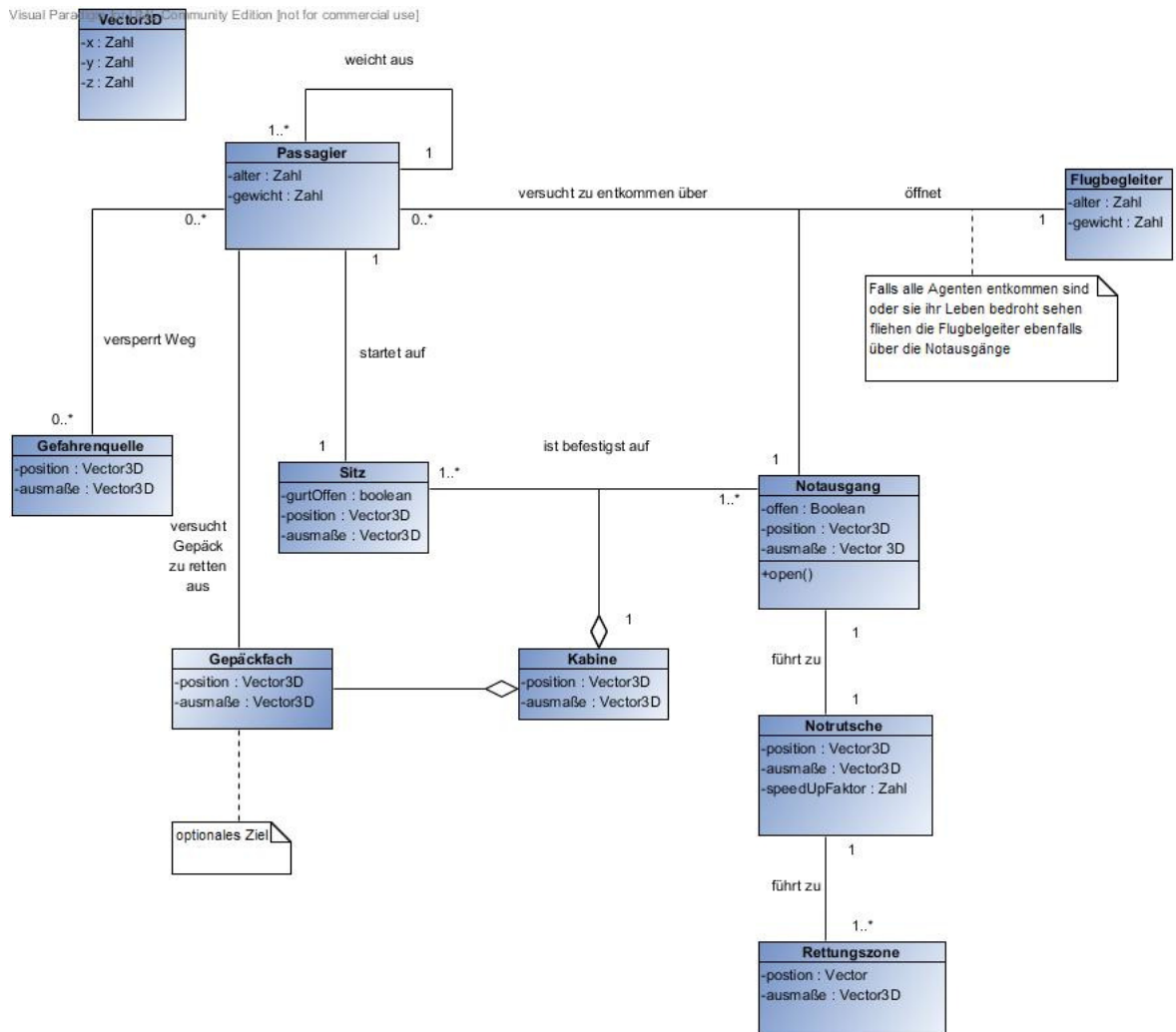


Abbildung 4.2: fachliches Datenmodell

Falls das Modell später um ein Schadensmodell für Agenten erweitert wird, wäre es sinnvoll diese Aktion zu erweitern. Eine Möglichkeit wäre das Verletzungen an den Händen den Prozess erheblich verlangsamen.

### 4.4.2 Öffnen von Ausgängen

Bevor ein Agent sich durch einen Notausgang begeben kann muss dieser natürlich geöffnet sein. Falls der Ausgang nicht offen ist, muss dieser von dem Agenten geöffnet werden. Wie im [National Transportation Safety Board \(2000\)](#) beschrieben ist kann dies je nach Person unterschiedlich lange dauern. Es kann sogar sein das die Person es nicht schafft den Ausgang zu öffnen.

Ob ein Agent es schafft den Notausgang zu öffnen, soll vom Alter und einem Zufallswert abhängig sein. Zuerst soll geprüft werden, ob der Agent ein gewisses Alter überschritten hat. Falls dies der Fall ist soll per Zufall entschieden werden, ob der Agent es schafft die Tür zu öffnen. Ab welchem Alter ein Agent Probleme bekommen soll und wie wahrscheinlich es ist das er die Tür öffnen kann, soll einstellbar sein.

Falls der Agent es nicht schafft die Tür zu öffnen, versucht er zur Seite zu gehen und einen anderen Agenten die Tür öffnen zu lassen. Diese Idee entspringt auch der Beobachtung des [National Transportation Safety Board \(2000\)](#).

## 4.5 Aktionen der Passagiere

In diesem Abschnitt werden die Konzepte hinter den Aktionen der Passagiere beschrieben.

### 4.5.1 Retten von Gepäck

Wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben kann die Mitnahme von Gepäck den Ablauf einer Evakuierung verzögern. Ob ein Agent sein Gepäck retten möchte wird von einem Zufallswert bestimmt, dieser ist vor dem Starten der Simulation einstellbar. Während des Versuchs sein Gepäck zu retten durchläuft der Agent mehre Phasen, die in [Abbildung 4.3](#) zu sehen sind.

Zu Beginn der Simulation entscheidet sich der Agent, ob er sein Gepäck überhaupt retten möchte. Falls dies der Fall ist begibt sich der Agent zur nächsten Gepäckablage. Es wird davon ausgegangen das Passagiere ihr Gepäck in der Nähe ihres Sitzplatzes verstauen. Außerdem wird angenommen das es für das Modell nicht interessant ist in welcher Gepäckablage genau der Agent sein Gepäck verstaut hat. Deswegen wird einfach die nächste Ablage und nicht eine bestimmte ausgewählt. In der ersten prototypischen Implementierung des Konzeptes hat sich

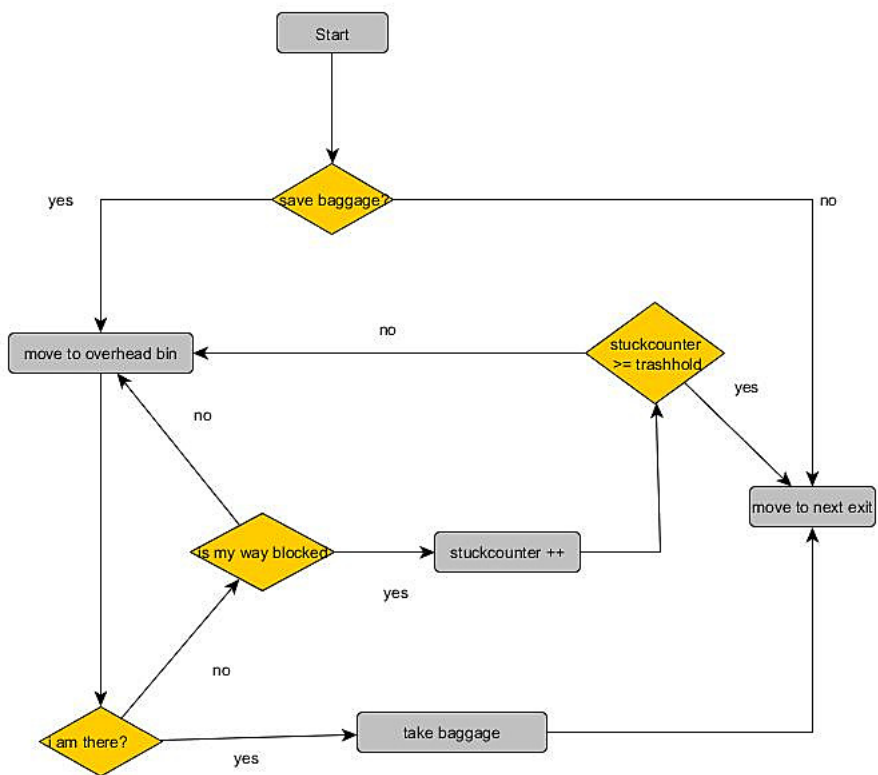


Abbildung 4.3: Entscheidungsbaum beim Retten von Gepäck

gezeigt das die Agenten oft versuchen sich gegen den Strom von Flüchtenden anzukämpfen. Dies hatte den Effekt, das der Agent, der versucht sein Gepäck zu retten, den Weg für viele andere Agenten versperrt. Die Beharrlichkeit, wie lange dieser versuchte die Gepäckablage zu erreichen wirkte unnatürlich.

Als Lösung für das Problem kann der über den Aufwand zum Erreichen der Gepäckablage reflektieren. Dazu wird der Abstand der aktuellen Position mit der Letzten verglichen. Wenn der Abstand zu klein ist wird ein Zähler hochgezählt. Wenn der Zähler einem bestimmten Wert überschreitet bricht der Agent seinen Plan zur Gepäckrettung ab und flüchtet zum nächsten Ausgang. Der Schwellenwert, wann der Agent die Aktion abbricht soll wieder zufällig aus einem Zahlenraum ausgewählt werden. Die obere und untere Grenze dieses Zahlenraumes soll einstellbar sein.

### 4.5.2 Auswahl des Notausgangs

Wie im Kapitel Analyse beschrieben geht aus [Galea et al. \(1996\)](#) hervor das fast alle Agenten den nächst gelegenen Notausgang wählen. Welcher Notausgang ausgewählt wird soll über die Route zur Rettungszone geschehen. Der Agent nimmt einfach den ersten Notausgang im Sichtbereich. Falls sich ein Stau vor dem Notausgang gebildet hat und ein anderer Notausgang in der Nähe frei ist soll dieser von den Agenten am Ende der Schlange gewählt werden, bis ungefähr eine gleichmäßige Verteilung erreicht wurde.

### 4.5.3 Benutzen des Notausgangs

In der Analyse von [Chang & Yang \(2011\)](#) geht hervor das Passagiere mit großen Gepäckstücken den Weg zu den Notausgängen kurzzeitig versperrt und somit die Evakuierung verzögert haben. Im Modell soll das Verhalten wie folgt dargestellt werden. Passagiere mit großen Gepäckstücken müssen kurz warten, bevor sie den Notausgang durchqueren. Das soll den anderen Agenten den Weg versperren und das beobachtete Verhalten abbilden. Die Wartezeit soll durch eine obere und untere Grenze beschrieben werden und soll zufällig aus diesem Bereich ausgewählt werden.

### 4.5.4 Gemeinsame Flucht

Das Ziel dieser Aktion ist das gemeinsame Flüchten von Agenten zu modellieren. Es wird die Annahme getroffen, das in diesem Detailgrad der Modellierung, die wirkliche Beziehung zwischen den Agenten nicht interessant sind. Die Aktion soll wie folgt abgebildet werden. Ein Agent der mit einem anderen zusammen fliehen möchte wird als Follower bezeichnet. Der



Follower wählt einen anderen Agenten in seinem Sichtfeld aus. Agenten die in seiner Nähe werden bevorzugt. Dies hat den Grund das die Annahme getroffen wurde das Personen die sich kennen oft zusammen sitzen und wahrscheinlich auch zusammen evakuieren möchten. Der ausgewählte Agent wird als Leader bezeichnet. Um zu verhindern das ein Leader einem seiner Follower folgt und die Agenten sich nicht bewegen, fragt ein Follower seinem ausgewählten Leader ob er jemanden folgt. Der Leader gibt daraufhin dem Follower die ID des Agenten zurück, dem er folgt oder null falls er niemanden folgt. Falls die ID nicht die eigene ist folgt der Follower dem Leader. Falls der Follower seine ID zurückbekommt übernimmt er die Führung und sucht einen Weg zu einem Ausgang.

### 4.5.5 Modellierung der Gruppen

Die Gruppen die im Kapitel Analyse beschrieben sind sollen auch in das Modell einfließen. Dabei soll den Agenten allerdings kein festes Schema vorgegeben werden, sondern die Agenten sollen die Gruppen über ihre Entscheidungen abbilden.

# 5 Realisierung

In diesem Kapitel sollen Teile des Konzeptes prototypisch implementiert werden. Dazu soll ein Szenario aus der Realität ausgewählt werden, in dem beispielhaft ausgewählte Aktionen aus dem Konzept umgesetzt werden. Zur Modellierung des Szenario wird das Agentenframework Walk verwendet. Eine genauere Beschreibung welche Aktionen ausgewählt und wie diese umgesetzt wurden folgt im Laufe des Kapitels. Außerdem wird auch Walk näher vorgestellt.

## 5.1 Beispielszenario

Als Beispielszenario wurde der Flug CI-120 ausgewählt. Dieser wurde ausgewählt weil ich mich schon näher mit diesem in der Analysephase beschäftigt habe und weil eine gute Auswertung von [Japan Transport Safety Board \(2009\)](#) und [Chang & Yang \(2011\)](#) vorliegt.

### 5.1.1 Ablauf der Evakuierung

Der Ablauf der Evakuierung wurde schon im Kapitel Analyse beschrieben und wird hier deswegen nicht wiederholt. Wichtig ist zusätzlich zu erwähnen, dass die Evakuierung laut [Chang & Yang \(2011\)](#) von den Passagieren und nicht den Flugbegleitern ausgelöst wurde. Es gab wohl eine Durchsage von seitens der Besatzung, dass Evakuiert werden soll, diese war allerdings unverständlich und es gab keine Reaktion auf die Durchsage aufseiten der Passagiere.

### 5.1.2 Daten zum Ablauf

Aus dem Bericht vom [Japan Transport Safety Board \(2009\)](#) geht hervor dass es 2 Minuten und 28 Sekunden gedauert hat bis die letzte Person das Flugzeug verlassen hat. Es wurde die Flucht der meistens Passagiere aufgezeichnet; nur die Flucht von 28 Passagieren konnte nicht aufgenommen werden, da die Kameras gegen Ende der Evakuierung ausgefallen sind. Die Tabelle 5.1.2 zeigt wie viele Personen durch welche Notausgang geflüchtet sind. Zu den geflüchteten Personen zählen auch die Flugbegleiter, die Tabelle stammt aus ([Japan Transport Safety Board, 2009](#)). Es geht aus dem Bericht auch hervor dass die Overwingexits<sup>1</sup> nicht benutzt wurden. Alle Insas-

---

<sup>1</sup>Notausgang über den Tragflächen

## 5 Realisierung

---

Ort	1R	1L	3R	3L	Cockpit	Unbekannt	Insgesamt
Personen	31	30	46	30	2	26	165

sen haben die Evakuierung überlebt. Bei dem Flugzeug handelte es sich um eine Boeing 737-800.

Die Konfiguration des Innenraums, der Boeing 737, wurde in [Japan Transport Safety Board \(2009\)](#) abgebildet und ist hier [Abbildung 5.1](#) zusehen.

Figure 14 Cabin Assignment

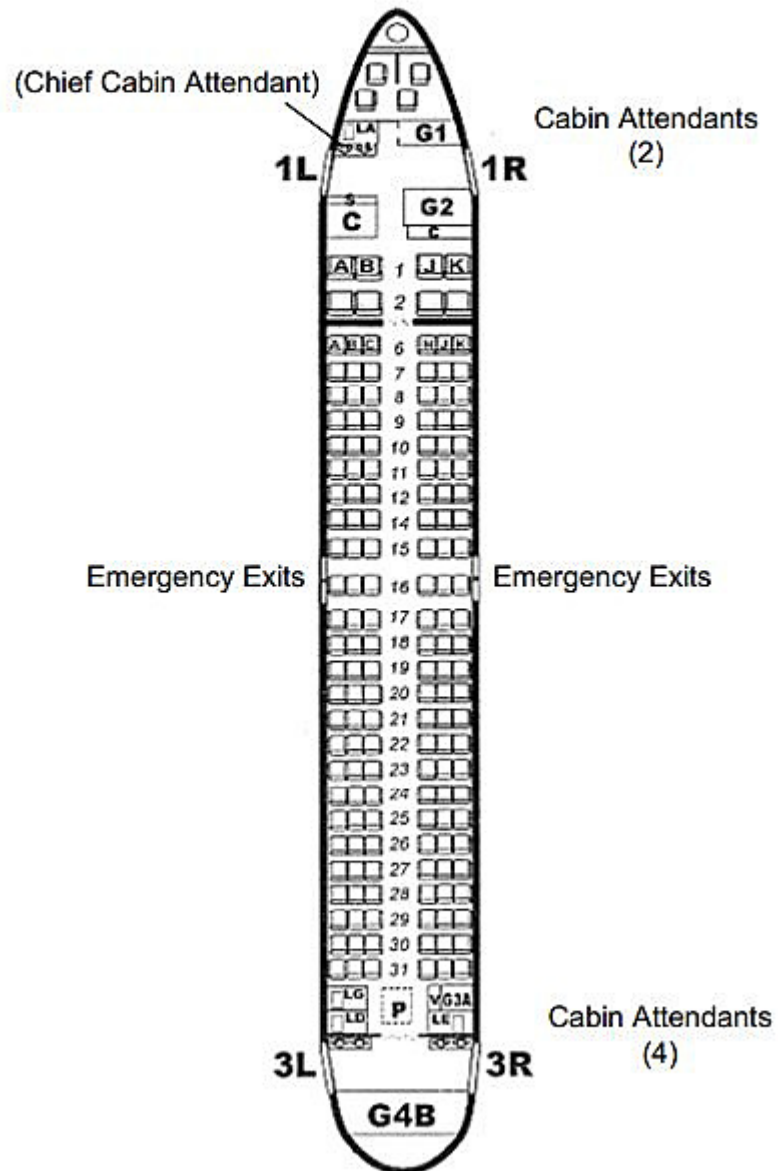


Abbildung 5.1: Skizze der Boeing 737 vom Flug CI-120, Quelle: (Japan Transport Safety Board, 2009)

## 5.2 Walk

An der Hochschule für Angewandte Wissenschaften - Hamburg existiert bereits ein Framework für Multiagenten namens Walk. Dieses wurde hauptsächlich von [Thiel \(2013\)](#) entwickelt, um Algorithmen zur Verteilung von Agenten zu testen. Das Framework wurde später von [Münchow \(2012\)](#) um Modular Agenten erweitert. Bei den Modular Agenten handelt es sich um eine erweiterbare Modellierung der Agenten, die einfach um neue Denkschritte ergänzt werden kann. Diese werden für die Modellierung der Passagiere benutzt und im späteren Verlauf der Arbeit noch genauer vorgestellt.

## 5.3 Features von Walk

Das Framework wurde für Fußgängersimulationen mit dem Schwerpunkt Bevölkerungsschutz entwickelt. Ein besonderes Alleinstellungsmerkmal von Walk ist das Distributed Environment. Durch dieses lässt sich ein Szenario verteilt ausführen. Durch eine geschickte Verteilung konnten bis zu 700.000 Agenten in Echtzeit dargestellt werden. Da allerdings in unserem Modell nur 157 Agenten simuliert werden sollen, ist dieser Aspekt nicht sehr interessant für das hier entwickelte Modell, da davon ausgegangen wird, dass keine Verteilung der Simulation notwendig ist. Viel interessanter sind die im Kapitel Konzeption erwähnten Erweiterungen aus [Münchow \(2012\)](#). Diese bieten ein Skelett für BDI-Agenten<sup>2</sup>, die sich sehr gut zur Umsetzungen des Konzeptes eignen.

Walk bietet außerdem schon eine Lösung für die Wegfindung, das Zeitmanagement und Kollisionsvermeidung von Agenten mit anderen Objekten an. Ein weiteres Feature von Walk ist das man Szenarien selber definieren kann und es gibt auch schon einfache Möglichkeiten Daten für eine Auswertung zu generieren.

### 5.3.1 Wegfindung

Die Wegfindung wird im Bericht von [Münchow \(2012\)](#) beschrieben. Der Algorithmus ist in zwei Phasen unterteilt; eine globale und eine lokale Phase.

---

<sup>2</sup>Belief Desire Intention Architektur

Mit der globalen Wegfindung soll der kürzeste Weg zum Ziel gefunden werden. Die lokale Wegfindung dient zur Kollisionsvermeidung mit anderen Agenten und soll den Bewegungsablauf im Nahbereich realitätsnäher gestalten.

### **globale Wegfindung**

Bevor der Ablauf der globalen Phase erklärt wird, muss zunächst darauf hingewiesen werden, dass in Walk jeder Agent einen Zielwegpunkt hat. In der globalen Phase wird zu diesem Wegpunkt ein Pfad berechnet. Dazu wird einmal am Anfang der Simulation die Welt in einen Graphen zerlegt. In dem Graph werden alle Eckpunkte von Hindernissen als Knoten dargestellt. Zwischen Eckpunkten mit einer direkten Verbindung wird eine Kante in den Graphen gezeichnet. Mit einem A\* Algorithmus wird anschließend der kürzeste Weg zum Wegpunkt gefunden.

### **lokale Wegfindung**

Die lokale Phase wird über Potentialfelder abgebildet. Diese entsprechen einem gierigen Suchverfahren, es wird aus einer lokalen Sicht immer das Feld mit der besten Bewertung ausgewählt. In Walk wird der Wert der Felder durch andere Agenten negativ beeinflusst, so dass Agenten einander ausweichen. Außerdem haben Felder hinter dem Agenten einen negativen Wert. Dies soll dazu führen dass ein Agent nicht dazu neigt einen Schritt zurück zu gehen. Diese Modellierung ist meiner Meinung nach sehr sinnvoll, da genau dieses Verhalten in [Helbing et al. \(2001\)](#) beobachtet wurde. In diesem Paper wurde unter anderem das Bewegungsverhalten von Personen auf öffentlichen Plätzen beobachtet.

### **Bewertung**

Die Aufteilung der Wegfindung in zwei Phasen ist laut [Torrens et al. \(2012\)](#) sehr sinnvoll. In diesem Paper wurden mehrere Wegfindungsalgorithmen gegenübergestellt. Da die Agenten in der globalen Phase mehr Informationen haben als sie sehen können wird als unkritisch befunden. Beim Betreten des Flugzeuges bekommen die Fluggäste schon einen Überblick über die Position der Ausgänge, außerdem bekommen sie in der Sicherheitsunterweisung noch einmal Informationen über die Lage der Notausgänge. Die Potenzialfelder in der Kollisionsvermeidung scheinen auch geeignet zu sein, laut [Torrens et al. \(2012\)](#) können damit gute Ergebnisse erzielt werden.

### 5.3.2 Zeit

Die Zeit in Walk wird in [Thiel \(2013\)](#) als getaktet beschrieben. Mit der Lamporzeit wird sichergestellt, dass selbst wenn das System verteilt läuft die Knoten getaktet sind. Eine Einschränkung, die aus performance technischen Gründen getroffen wurde ist, dass im Falle einer verteilten Ausführung die Agenten während eines Taktes nicht synchron sind. Dies wurde allerdings von [Thiel \(2013\)](#) als unkritisch bewertet, da die Takte sehr kurz sind (40ms). Außerdem gibt es eine Fehlerbehandlung falls durch den kurzen asynchronen Zeitraum ein Fehler entstanden ist.

### 5.3.3 Umwelt

In Walk ist es zurzeit nur möglich Simulationen in einer 2D Welt zu erstellen. Die Maße der Objekte sind zwar in 3 Dimensionen angeben, allerdings ist die Achse für die Tiefe immer 0. Das Fehlen der 3. Dimension stellt für die Umsetzung des Flugzeugmodells kein großes Problem dar. Schon bestehende Simulationen in Walk mit ähnlichen Aufgaben haben gezeigt, dass sich mit einer 2D Welt gute Ergebnisse erzielen lassen. In [\(Münchow, 2012\)](#) wurde ein Kino mit Walk evakuiert und die Ergebnisse wichen im Mittel nur um wenige Sekunden von der Realität ab.

Außerdem bietet Walk an, die Umwelt in Layern zu unterteilen. Ein Layer kann als Spielbrett für einen bestimmten Aufgabenbereich verstanden werden, der von einem äußeren Modell manipuliert werden kann. Ein Modell kann im einfachsten Fall nur Informationen auf einem Layer bereit stellen. Ein Vorteil von diesem Konzept ist, dass jeder Layer einzeln von den Agenten wahrgenommen werden kann. Dieses Konzept ist besonders spannend für die Modellierung von Notrutschen, Sitzbänken oder anderen Gegenständen die im Modell eine besondere Rolle haben, da diese über das Konzept einfach in das Framework eingefügt und von den Agenten als diese wahrgenommen werden können.

### Bewertung

Ich denke dass eine zweidimensionale Repräsentation der Welt die Qualität der Simulation nicht negativ beeinflusst. Diese These wird auch von Stefan Münchows guten Ergebnissen bestätigt. Außerdem scheint die Welt einfach um neue Konzepte erweiterbar zu sein, was diese sehr attraktiv macht. Allerdings hat die Qualität der Agenten einen viel größeren Einfluss auf die Ergebnisse der Simulation. Wie gut sich Agenten in Walk abbilden lassen wird in einem späteren Abschnitt untersucht.

### 5.3.4 Visualisierung

Walk bietet eine einfache Visualisierung mit der eine Szenario gut dargestellt werden kann. Diese bietet jedoch keine besonderen Methoden zur Auswertung des Modells. Die Visualisierung in Walk bietet keine besonderen Features und ist zweckmäßig.

### 5.3.5 Auswertung

Jede in Walk durchgeführte Simulation gibt am Ende eine Gesamtdauer der Evakuierung aus. Neben diesem Wert ist es auch möglich Messareale zu definieren. Ein Areal deckt einen bestimmten Bereich der Evakuierung ab und kann folgende Daten aufzeichnen.

- Personendichte im Areal
- durchschnittliche Bewegungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt T
- Gesamtanzahl der Agenten, die das Areal durchquert haben

### 5.3.6 Fazit Walk

Die Bewertung der einzelnen Komponenten war größtenteils positiv, Walk wurde für geeignet befunden das Szenario umzusetzen.

## 5.4 Umfang des Prototypen

Aus zeitlichen Gründen kann leider nicht das ganze Modell umgesetzt werden, deswegen sollen nur folgende Konzepte umgesetzt werden.

- Die Auswirkungen von Alter auf die Physis.
- Das Abschnallen von Sitzen.
- Die Mitnahme von Gepäck.
- Die Auswirkungen von großen Gepäckstücken beim Benutzen der Notausgänge.

### 5.4.1 Erweiterung an der Walkumwelt

Zur Umsetzung des Modells wurden Erweiterungen an der Umwelt vorgenommen. Konkret wurde diese um eine Gepäckzone erweitert. Diese soll modellieren von wo Agenten auf ein Gepäckfach zugreifen können.



Die Umwelt wird in Walk durch ein Distributed Virtual Environment beschrieben, kurz DVE. Das Datenmodell, das aus (Thiel, 2013) stammt, zeigt wie die Umwelt in Walk dargestellt wird (Abbildung 5.2).

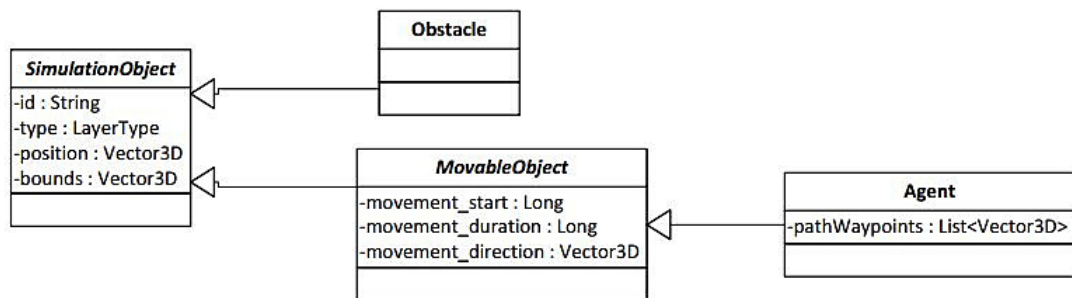


Abbildung 5.2: Datenmodell des Distributed Virtual Environment in Walk Quelle: (Thiel, 2013)

### Simulation Object

Jeder Gegenstand oder Agent in Walk ist zunächst ein `SimulationObject` und hat damit eine Position und eine Ausdehnung, außerdem wird jedem Objekt einem Layer zugeordnet.

### MovableObject

Mit der Erweiterung `MovableObject` werden sich bewegende Objekte beschrieben. Die aktuelle Position wird durch einen Vektor von Startzeitpunkt, Länge und Richtung der Bewegung angegeben. Falls die Position des Objektes benötigt wird, kann vom Startpunkt, der Startzeit und der Richtung die aktuelle Position des Agenten interpoliert werden.

### Obstacle

Obstacle dient als Markierung für ein Objekt und sorgt dafür das dieses als Hindernis betrachtet wird und in die Wegfindung mit einfließt.

### Agenten

Die Klasse `Agent` dient laut Thiel (2013), wie die Klasse `Obstacle` als Schnittstelle für spätere Erweiterungen. Es wurde nicht beschrieben welchen Zweck die Liste von Waypoints hat, ich gehe allerdings davon aus das diese den Weg eines Agenten zu seinem Ziel beschreibt.

## 5.5 Erweiterung von Walk um neue Layer

### 5.5.1 Rettungszone

Die Problematik, dass jeder Agent in Walk einen festen Zielpunkt braucht lässt sich gut mit der Idee der Rettungszone vereinbaren, diese sollen über die Zielwegpunkte modelliert werden. Diese Wegpunkte werden am unterem Ende der Notrutschen platziert. Allerdings muss jedem Agenten eine Rettungszone zugeordnet werden, dies schränkt die Agenten sehr stark in ihrer Entscheidung ein und sollte so schnell wie möglich verbessert werden. Zur ersten Umsetzung des Modells soll dieser Tradeoff allerdings eingegangen werden, da ein Umbau vom Walk sehr arbeitsintensiv ist und den Zeitrahmen der Arbeit übersteigen würde.

### 5.5.2 Gepäckzone

Um den Agenten zu ermöglichen ihr Gepäck zu retten wurde zunächst die Umwelt um eine Zone erweitert, von der aus Agenten Zugriff auf ein Gepäckfach haben. Dazu wurde das DVE um ein neues Layer erweitert, auf dem sich Objekte vom Typ SimulationObjekt befinden. Die Zone hat damit eine spatial explizite Angabe und ein eigenes Layer, über den die Agenten diese eindeutig identifizieren können.

Wenn eine Gepäckzone im Sichtbereich des Agenten auftaucht und dieser sein Gepäck mitnehmen möchte, wird eine zufällige Position in der Zone ausgewählt, von dort nimmt der Agent sein Gepäck auf. Bei der Definition des Szenarios sollten die Zonen nicht zu groß gewählt werden, da die Modellierung einer Gepäckzone als Zugriffspunkt zu nur einem Gepäckfach gedacht ist.

## 5.6 Importierung des Szenarios

Es sollen nur für das Modell relevante Flugzeugteile in Walk dargestellt werden. Dazu zählt der Passagierbereich mit Sitzreihen, Notausgängen, Notrutschen und Gepäckfächern. Es wird angenommen dass andere Teile des Flugzeuges, wie die Tragflächen oder das Cockpit keine Relevanz für die Evakuierung haben. Aus dem Cockpit ist zwar der Pilot mit seinem Copiloten geflüchtet, das Verhalten von diesen beiden Personen wird allerdings nicht durch das Modell abgebildet und deswegen müssen sie von der Simulation ausgeschlossen werden.

### Notausgänge

Bei den Notausgängen musste ein Abstrich gemacht werden. Diese wurden nur als Markierung, auf dem Boden dargestellt und lassen sich noch nicht öffnen oder schließen. Die Modellierung von richtigen Türen, hätte zu große Änderungen mit sich gezogen. In Abbildung 5.6 wird gezeigt wie das Flugzeuges in Walk dargestellt wird. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen abgebildeten Komponenten folgt im Laufe des Abschnitts.

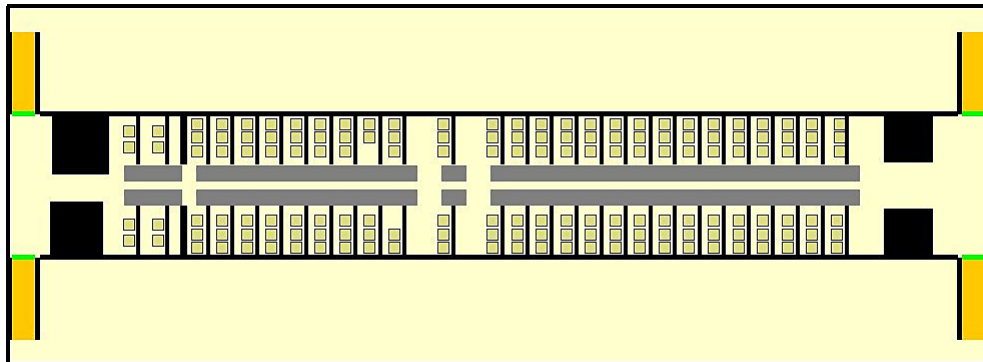


Abbildung 5.3: Umsetzung des Szenarios in Walk

### Sitzreihen

Von den Sitzreihen wurden lediglich die Rückenlehne als Hindernis modelliert, da die Sitzflächen fehlen haben die Agenten zwischen den Sitzreihen zwar etwas mehr Bewegungsfreiheit, es wird jedoch die Annahme getroffen, dass dies den Ausgang der Evakuierung nicht maßgeblich beeinflusst. Die Sitzreihen wurde als schwarze Striche dargestellt.

### Gepäckzone

Die grauen Flächen im Modell sollen die Zugangspunkte zu den Gepäckfächern darstellen, von dort aus können Agenten ihr Gepäck aufnehmen.

### Notausgänge

Die Notausgänge sind in der hier beschriebenen Version immer geöffnet, da es leider erhebliche Probleme für die Wegfindung bereitet hat diese geschlossen zu modellieren. Für die Validierung der Fluggäste sollte dies keine große Rolle spielen, da die Hauptnotausgänge normalerweise von den Flugbegleitern geöffnet werden. Die Ausgänge werden im Modell als grüne Fläche dargestellt.

### **Notrutschen**

Zur Umsetzung der Notrutschen wurden, die schon vorhandenen Treppen erweitert. Anstatt das diese einen Agenten verlangsamten, beschleunigen sie nun diesen. Ein Nachteil bei dieser Modellierung ist das Agenten theoretisch auch die Notrutschen wieder hoch gehen könnten, was in der Realität nicht der Fall ist.

#### **5.6.1 Ausgeschlossene Teile des Passagierbereiches**

##### **OverwingExit**

Die Overwingexits, wurden absichtlich nicht modelliert, da sie während der realen Evakuierung des Flugs CI-120 nicht benutzt wurden.

### **5.7 Abbildung der Agenten**

Von den 165 Personen, die laut dem Bericht vom [Japan Transport Safety Board \(2009\)](#) das Flugzeug verlassen haben, wurden 157 simuliert. Bei den fehlenden 8 Personen handelte es sich um 6 Flugbegleiter sowie den Piloten und Copiloten.

#### **5.7.1 Fluchtwege der Agenten**

Als Ziel für die einzelnen Agenten wurden vier Wegpunkte am Ende der Notrutschen platziert. Diese wurden zur Veranschaulichung nach Notausgänge in [Abbildung 5.1](#) benannt. Dem Wegpunkt 1R wurden 34 Agenten zugeordnet, 1L 33, 3R 46 und 3L 42. Die 26 Personen, die nicht bei der Flucht aufgezeichnet werden konnten wurden auf die Notausgänge verteilt, was zu den abweichenden Werten von [Tabelle 5.1.2](#) führt. Bei der Zuordnung von unbekanntem Passagieren zu einem Notausgang wurde hauptsächlich die Sitzposition des Passagiers berücksichtigt, in zweiter Instanz wurde auch darauf geachtet das die Verteilung auf die Notausgänge gleichmäßig ist.

### **5.8 Modellierung der Agenten**

Zur Umsetzung der Agenten wurden die Modular Agentens aus [Münchow \(2012\)](#) erweitert. Dazu wurde das Gedächtnis der Agenten, das im Kapitel Konzept - Gedächtnis beschrieben wurde, um neue Ziele, Pläne und Aktionen erweitert.

### 5.8.1 Aktionen die von Walk bereitgestellt wurden

Folgende Aktionen und Pläne wurden bereits von Walk bereitgestellt und zur Umsetzung verwendet.

#### **MoveToPlan**

Das Ziel des Planes ist das der Agent einen bestimmten Wegpunkt erreicht. Ein Wegpunkt gilt als erreicht sobald der Agent einen bestimmten Radius um den Wegpunkt betritt. Hinter diesem Plan verbergen sich allerdings noch einige kompliziertere Algorithmen zur Wegfindung und Kollisionsvermeidung. Da diese bereits zum Framework gehören, möchte ich an dieser Stelle absehen sie genauer zu beschreiben.

#### **MoveTowardsAction**

Diese Aktion wird von dem MoveToPlan verwendet und entscheidet mit welcher Geschwindigkeit sich der Agent bewegt und in welche Richtung er anderen Agenten ausweicht.

#### **DestroySelfAction**

Diese Aktion nimmt den Agenten aus der Simulation. Im Modell wurde diese so benutzt, das sie aufgerufen wird sobald der Agent das Flugzeug verlassen hat und als evakuiert gilt.

### 5.8.2 Rettung von Gepäck

Die Rettung des Gepäcks wurde wie folgt modelliert.

#### **Goal**

Das Ziel wurde als AchieveGoal abgebildet. Es wird solange verfolgt bis der Agent sein Gepäckstück aufgenommen hat, oder sich aufgrund von Schwierigkeiten entschieden hat den Vorgang abubrechen.

#### **Plan**

Der Plan bildet zum größten Teil die konzeptionelle Idee aus Abschnitt 4.3 ab. Die Abweichung zum Diagramm besteht darin, das sich der Agent bereits vor der Generierung des Plans dazu entschieden hat sein Gepäck zu retten.

### **Aktions**

Es wurde die MoveTowardsAktion verwendet, um die beiden möglichen Ziele anzusteuern. Falls die Gepäckzone erreicht wurde wird die PickupBaggageAction ausgeführt. Falls sich der Agent entscheidet das es zu schwer ist die Gepäckzone zu erreichen wird die CancelBaggagePickUpAction benutzt.

### **PickupBaggageAction**

Diese Aktion hat das Ziel, das der ausführende Agent ein Gepäckstück aus der Gepäckablage genommen hat und bei sich trägt. Das öffnen des Gepäckfachs und das Herausnehmen wurde als warten modelliert. Die minimale und maximale Wartezeit ist einstellbar. Nach der Wartezeit wird zufällig, entschieden ob der Agent ein großes oder kleines Gepäckstück aufgenommen hat. Anschließend merkt sich der Agent in zwei Flags das er ein Gepäckstück bei sich trägt und ob dieses groß ist. Das Flag HaveBaggage führt dazu, das PickupBaggageGoal erfüllt ist.

### **CancelBaggagePickUpAction**

Diese Aktion wird ausgeführt sobald der Agent der Meinung ist, dass es zu schwer ist sich gegen die anderen Agenten zur Gepäckzone durchzukämpfen. Die Aktion führt dazu das sich der Agent, im Flag CancelBaggageGoal merkt das er das Ziel, sein Gepäck zu retten, aufgeben hat. Wenn das Flag gesetzt wurde gilt das PickupBaggageGoal als abgeschlossen.

### **5.8.3 Durchquerung des Notausgangs**

Das Hindurchgehen durch einen Notausgang wurde wie folgt modelliert.

### **Goal**

Dieses Ziel wird verfolgt, sobald ein Notausgang im Sichtradius des Agenten auftaucht. Das Ziel wurde als AchieveGoal definiert und gilt als abgeschlossen sobald der Agent das Flag hasPassedExit gesetzt hat. Agenten mit großen Gepäckstücken brauchen länger um den Ausgang zu durchqueren. Agenten ohne oder nur mit kleinem Gepäck haben keine Probleme den Ausgang zu durchqueren.

### **Plan**

Um das Ziel zu erreichen verfolgt der Agent folgenden Plan. Es wird ein zufälliger Punkt, der im Bereich des Ausgangs liegt ausgewählt. Der Agent bewegt sich solange auf dem Punkt zu

bis er einen gewissen Abstand zum ausgewählten Punkt hat. Ist der Punkt erreicht wird die PassExitAction ausgeführt. Zum Erreichen dieses Punktes wird der MoveToPlan verwendet.

### **Aktions**

#### **PassExitAction**

Diese Aktion überprüft zuerst, ob der Agent ein großes Gepäckstück bei sich trägt. Falls dies so ist muss der Agent eine bestimmte Zeit warten. Dies soll die Schwierigkeiten bei der Benutzung des Notausganges mit schwerem Gepäck darstellen, die im ([National Transportation Safety Board, 2000](#)) beschrieben wurden. Sofern der Agent kein großes Gepäckstück bei sich trägt kann er den Notausgang sofort durchqueren. Bei der Durchquerung wird das hasPassedExit Flag gesetzt, was zur Erfüllung des oben angegebenen Ziels führt.

#### **5.8.4 Abschnallen**

Das Abschnallen vom Sitz wurde wie folgt modelliert. Das Ziel wurde als AchieveGoal modelliert es. Gilt als erfüllt, sobald der Agent seinen Sicherheitsgurt gelöst hat und aufgestanden ist. Die Aktion wird erneut über einen Timer abgebildet.

#### **5.8.5 Altersmodell**

Leider lagen in keinem der Berichte genaue Daten zu dem Alter der Passagiere vor, deswegen wurde für die Zuteilung von Alter und Passagier die Normalverteilung aus dem Kapitel 4.3.2 genommen. Alle Passagiere bekommen ein Alter zwischen 10 und 85 zugeordnet. Die Abhängigkeit der Geschwindigkeit vom Alter wurde so modelliert, dass jeder eine Basisgeschwindigkeit hat. Zu dieser Geschwindigkeit wird ein Faktor hinzugezählt, der von der Altersklasse des Agenten abhängig ist. Die Altersklassen orientieren sich an dem Model von [Redel \(2012\)](#) und geben einen Faktor für Agenten von 1-10, von 11-20 bis zu Agenten an die älter als 70 Jahren sind an.

## 6 Auswertung des Modells

Zur Validierung des Modells wurden 10 Durchläufe mit dem im vorherigen Kapitel beschriebenen Modell durchgeführt. Es soll untersucht werden, ob die Evaluierungsdauer mit der Dauer des realen Szenarios übereinstimmt.

Die Zeiten müssen jedoch vorsichtig betrachtet werden, in [Chang & Yang \(2011\)](#) wurde berichtet, dass in der mittleren Sektion des Flugzeuges ein Passagier mit körperlicher Beeinträchtigung untergebracht war. Dieser war auf die Hilfe von anderen angewiesen, um zu entkommen. Interviewte Fluggäste berichteten außerdem von einem 8 Jahre alten Jungen, der nicht bei seiner Familie saß und ebenfalls die Evakuierung verzögert hat. Diese beiden Fälle werden nicht in dem Modell abgebildet. Es ist unklar, wie lange die Evakuierung durch die oben genannten Personen verzögert wurde, oder ob die dadurch ausgelösten Ereignisse überhaupt Relevanz für die Evaluierungsdauer haben. Es wird vermutet, dass die beiden Personen eine Auswirkung auf die Evaluierungsdauer hatten.

Für die 10 Testläufe wurden die Parameter aus [Tabelle 6](#) verwendet. Einige Variablen wurden aus Übersichtsgründen zusammengefasst.

Die [Abbildung 6.1](#) zeigt die 9. Evakuierungen bei 0, 15, 30, 45 und 60 Sekunden. [Abbildung 6.2](#) zeigt die selbe Evakuierung zu Sekunde 75, 90, 105 und 120.

Die 10 simulierten Evakuierungen haben im Mittel 2 Minuten und 3 Sekunden gedauert, im Vergleich dazu hat die Reale 2 Minuten und 28 Sekunden gedauert. Diese Abweichung der Werte kann mehrere Gründe haben. Zuerst wurden einige Parameter für die Dauer der Aktion geschätzt, da keine Referenzdaten gefunden wurden, zum Anderen wurde im Modell keine soziale Interaktion zwischen den Agenten modelliert. Durch diese fehlende Modellierung



<b>Parameter</b>	<b>Wert</b>	<b>Beschreibung</b>
StuckedInExit	3-12 Sekunden	Zeit die ein Agent, mit einem großem Gepäckstück den Notausgang versperrt.
BaggagePickUpTime	8-20 Sekunden	Zeit die ein Agent braucht, um sein Gepäck aus der Gepäckablage zu nehmen.
ReleaseSetBeltTime	4-8 Sekunden	Zeit die ein Agent zum Abschnallen braucht.
BaggagePickUpProbability	96%	Wahrscheinlichkeit das ein Agent sein Gepäck retten möchte.
ViewRange	1.3	Sichtradius des Agenten
BigBaggageProbability	25%	Wahrscheinlichkeit das der Agent ein großes Gepäckstück aufhebt.
CancelBaggagePickUp	100	Anzahl der Aktionphasen in der ein Agent nicht voran kommt, bis er aufgibt sein Gepäck zu retten.
Basisgeschwindigkeit	1.6	Basisgeschwindigkeit jedes Agenten.
Altersfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klasse Faktor</li> <li>• 1-10 0.9</li> <li>• 11-20 1.2</li> <li>• 21-30 1.11</li> <li>• 31-40 1.09</li> <li>• 41-50 1.05</li> <li>• 51-60 0.95</li> <li>• 61-70 0.70</li> </ul>	Die Faktoren die auf den Basiswert der Agenten multipliziert werden

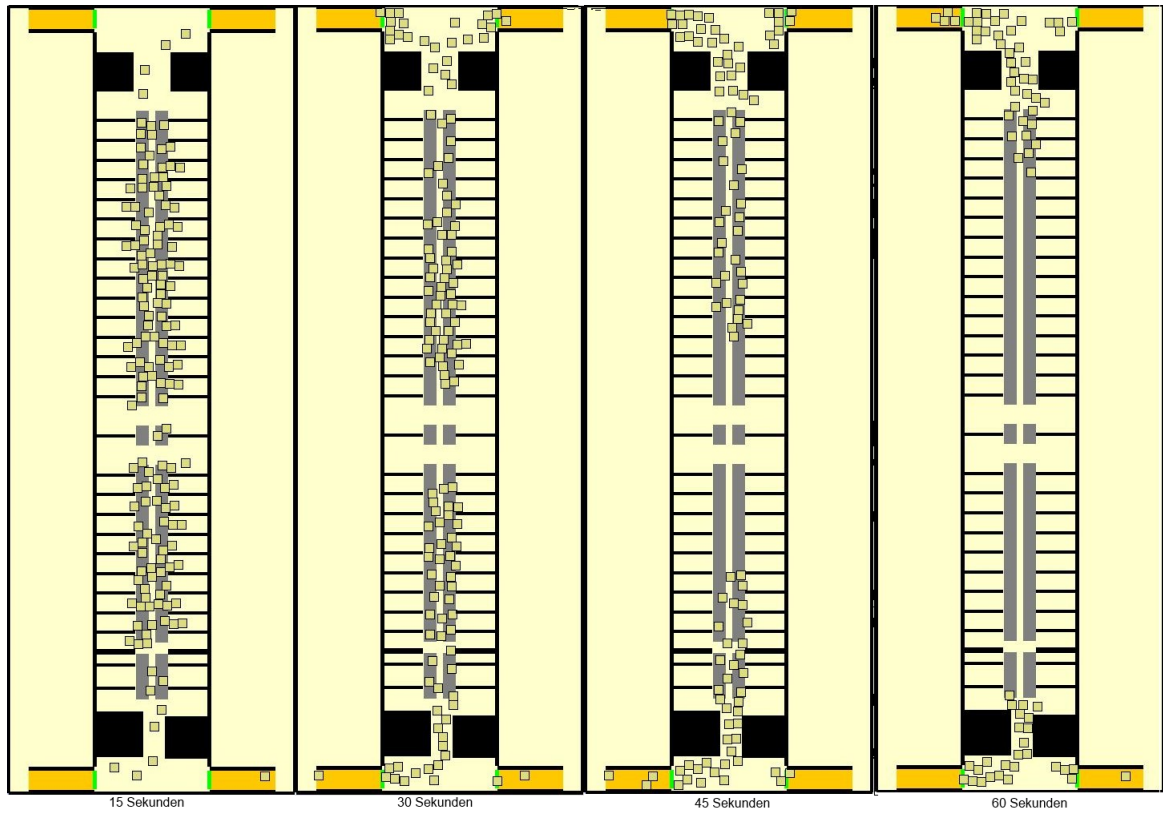


Abbildung 6.1: Simulationslauf 9 bei 15, 30, 45 und 60 Sekunden

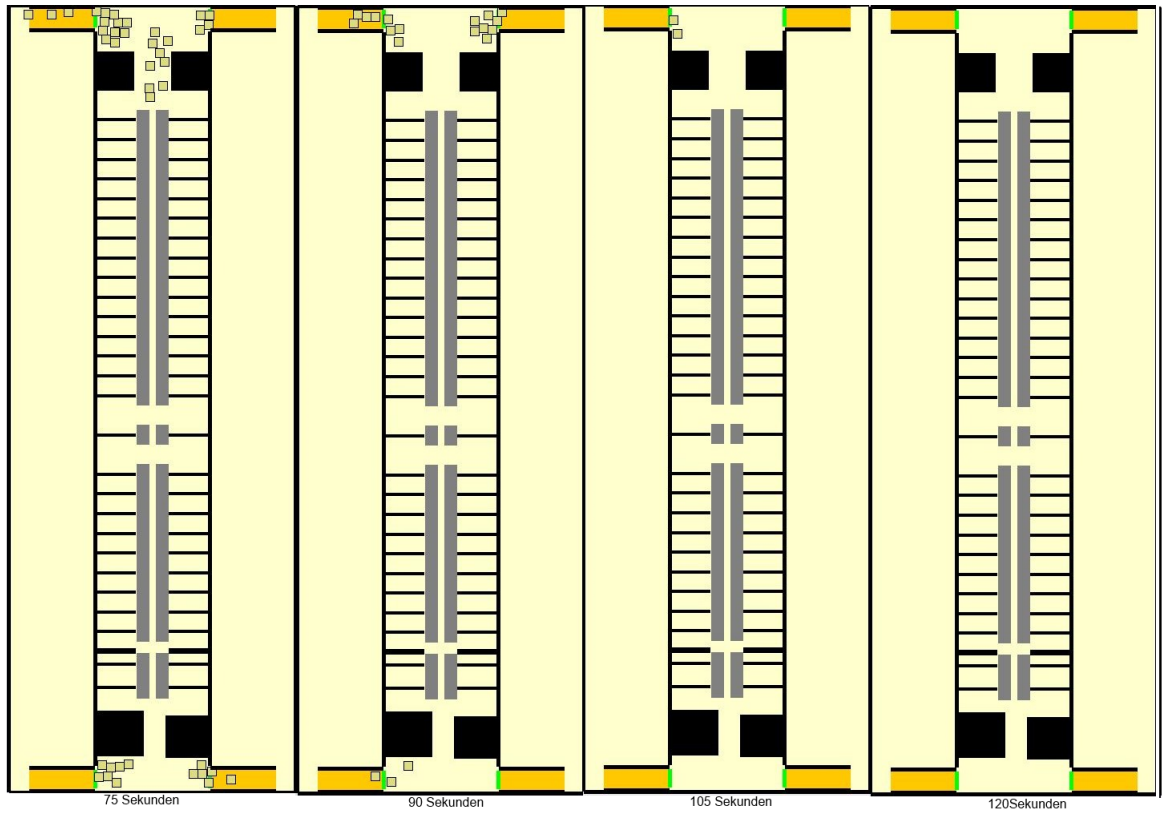


Abbildung 6.2: Simulationslauf 9 bei 75, 90, 105 und 130 Sekunden

<b>Durchlauf</b>	<b>Dauer der Evakuierung</b>
1	1 Minute 57 Sekunden
2	1 Minute 59 Sekunden
3	2 Minute 17 Sekunden
4	1 Minute 50 Sekunden
5	2 Minute 02 Sekunden
6	2 Minute 06 Sekunden
7	2 Minute 10 Sekunden
8	1 Minute 55 Sekunden
9	1 Minute 55 Sekunden
10	2 Minute 22 Sekunden

konnten die beiden in [Chang & Yang \(2011\)](#) erwähnten Ereignisse nicht dargestellt werden. Die Dauer der einzelnen Durchläufe wird in [Tabelle 6](#) noch einmal dokumentiert.

# 7 Ausblick

## 7.1 Bewertung des Modells

Mit dem umgesetzten Teil des Modell konnte schon eine gute Annäherung an die Realität erreicht werden, allerdings muss noch untersucht werden wie sich das gesamte Modell verhält. Das umgesetzte Teilmodell weicht noch zu stark von der Realität ab, um Daten zur Auswertung einer realen Evakuierung zu liefern. Deswegen sollen in diesem Kapitel Ideen gesammelt werden, an welchen Stellen das Modell zukünftig noch verbessert werden kann. Nichtsdestotrotz hat die Umsetzung des Teilkonzeptes gezeigt das mit dem Modell gute Ergebnisse erzielt werden können und es ein Schritt in die richtige Richtung ist.

### 7.1.1 Ideen zur Verbesserung der Agenten

Eine sinnvolle Erweiterung wäre die Einführung eines sozialen Kontextes zwischen den Agenten. Die Befragungen der Passagiere des Flugs CI-120 aus [Chang & Yang \(2011\)](#) haben gezeigt, das Passagiere, die alleine gereist sind, es schwerer fanden zu evakuieren. Außerdem wurde dort auch beschrieben, dass ein 8 jähriger Junge, der nach seiner Familie gesucht hat, die Evakuierung aufgehalten hat. Eine mögliche Abbildung des zweiten Problems wäre die Definition eines sozialen Kontextes zwischen Passagieren. Dieser könnte zum Beispiel so abgebildet werden, dass bestimmte Agenten Beziehungen untereinander haben und dass diese Beziehungen zu bestimmten Verhaltensweisen führen würden. Ein Beispiel wäre die Beziehung Elternteil, Kind. Ein mögliches Verhalten bei dieser Beziehung wäre, dass die Eltern nicht ohne ihr Kind flüchten wollen und falls dieses aus ihrem Sichtbereich verschwindet, würden sie erst ihr Kind suchen, bevor sie weiter evakuieren.

Die Abbildung eines Hilfesystems für Agenten, die nicht alleine flüchten können wäre, auch sinnvoll und würde einen der Gründe die Abweichung des Beispielszenarios abbilden. In [Chang & Yang \(2011\)](#) wurde von der beeinträchtigten Person berichtet, dass sie Angst hatte zurück gelassen zu werden und nicht sofort Hilfe erhielten. Deswegen sollte bei der Modellierung untersucht werden, welche Ursachen es hatte, dass dieser Person nicht sofort geholfen wurde.

Es sollte außerdem untersucht werden welche Bedingungen gelten müssen, damit ein Fluggast einem anderen, fremden Fluggast hilft und wie die Reaktionen der Flugbegleiter aussehen.

Eine sinnvolle Erweiterung an der Umwelt wäre, Schäden oder Fehlfunktionen an Bestandteilen des Flugzeuges abzubilden, die Auswirkungen auf die Evakuierung haben. Mögliche Komponenten liefert bereits der Analyseteil der Arbeit. Ein Beispiel wären die Notrutschen, die laut dem Report vom [National Transportation Safety Board \(2000\)](#) in 19 Fällen zu 37% nicht sofort funktionstüchtig waren. Eine spannende Erweiterung im Verhalten wäre eine entsprechende Reaktion der Flugbegleiter und Fluggäste auf unerwartete Fehlfunktionen und eine realistische Umverteilung der Fluggäste auf die übrigen Notausgänge.

### 7.1.2 Ideen zur Verbesserung von Walk

Ein Szenarioeditor wäre eine sinnvolle Erweiterung für Walk. Bis jetzt müssen die einzelnen Szenarien über 3D Vektoren beschrieben werden. Bei dieser Beschreibung fällt es schwer ein Szenario besonders genau zu beschreiben, da man nicht sofort Feedback dazu erhält, wie sich eine Änderung auswirkt. Selbst kleine Änderungen im Szenario können sehr aufwendig werden, da man unter Umständen das gesamte Szenario anpassen muss. Ein lose gekoppelter Editor, der ein erstelltes Szenario in eine Walk-interne Repräsentation übersetzt, wäre meiner Meinung nach die beste Lösung.

Bis jetzt ist es in Walk nicht vorgesehen, dass Agenten mit Gegenständen aus ihrer Umwelt interagieren. Für eine weiterführende Modellierung einer Flugzeugevakuierung ist dies allerdings notwendig. Zum Beispiel wäre dies für das Öffnen eines Notausgangs und das Entfalten einer Notrutsche sinnvoll.

## 7.2 Zusammenfassung

Das Ziel der Arbeit war es ein Konzept zur Flugzeugevakuierung mit Multiagenten zu entwickeln. Dazu wurden zunächst Vorfälle aus der Vergangenheit untersucht und ausgewertet. Als eine der Hauptursachen für Verzögerungen wurde die Mitnahme von Gepäck identifiziert. Aus den Erkenntnissen wurden Anforderungen an ein zunächst einfaches Agentenmodell erstellt. Anschließend wurde versucht Teile des Modells anhand des Fluges CI-120 abzubilden. Es konnten mit dem Umgesetzten zwar gute Ergebnisse erzielt werden, allerdings war die Abweichung von der Realität noch zu groß um das Modell zur Untersuchung von Evakuierungen oder zum Austesten von neuen Innenraumkonfigurationen zu verwenden.

# Literaturverzeichnis

- Airbus. 2006. *Flight Operations Briefing Notes*. Tech. rept. Airbus.
- Chang, YH, & Yang, HH. 2011 (May). *Cabin safety and emergency evacuation: Passenger experience of flight CI-120 accident*.
- Galea, ER, & Owen, M. 1998. *A Database of Human Experience In Evacuation Derived from Air Accident Reports*. Tech. rept. University of Greenwich, London.
- Galea, ER, Owen, M, & Lawrence, PJ. 1996. *Computer modelling of human behaviour in aircraft fire accidents*.
- Helbing, Dirk, Molnár, Péter, Farkas, Illés J, & Bolay, Kai. 2001. Self-organizing pedestrian movement. *Environment and Planning B: Planning and Design*, **28**(3), 361–383.
- Japan Transport Safety Board. 2009. *AIRCRAFT ACCIDENT INVESTIGATION REPORT*. Tech. rept. Japan Transport Safety Board.
- Miyoshi, Tetsuya, Nakayasu, Hidetoshi, Ueno, Yuki, & Patterson, Patrick. 2012. An emergency aircraft evacuation simulation considering passenger emotions. *Computers & Industrial Engineering*, **62**(3), 746–754.
- Münchow, Stefan. 2012. *Das Agentenframework der WALK-Fußgängersimulation*.
- National Transportation Safety Board. 2000. *Safety Study - Emergency Evacuation of Commercial Airplanes*. Tech. rept. National Transportation Safety Board Public.
- Redel, Tommy. 2012. *Bachelorarbeit*. Ph.D. thesis, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg.
- Thiel, Christian. 2013. *Masterarbeit Christian Thiel Analyse von Partitionierungen und partieller Synchronisation in stark verteilten multiagentenbasierten Fußgängersimulationen*. Master Thesis, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg.

Torrens, Paul M., Nara, Atsushi, Li, Xun, Zhu, Haojie, Griffin, William a., & Brown, Scott B. 2012. An extensible simulation environment and movement metrics for testing walking behavior in agent-based models. *Computers, Environment and Urban Systems*, **36**(1), 1–17.

U.S. Government Printing Office. 2013. *AIRWORTHINESS STANDARDS: TRANSPORT CATEGORY AIRPLANES*.



*Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.*

Hamburg, 14. November 2013

---

Nils Feyerabend